

国外计算机科学教材系列

高速网络

TCP/IP 和 ATM 的设计原理

HIGH-SPEED NETWORKS

TCP/IP AND ATM DESIGN PRINCIPLES

[美] William Stallings 著

齐望东 薛卫娟 傅麒麟 胡谷雨 译
谢希仁校



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
URL: <http://www.phei.com.cn>



PRENTICE HALL 出版公司

国外计算机科学教材系列

高速网络

TCP/IP 和 ATM 的设计原理

HIGH-SPEED NETWORKS

TCP/IP AND ATM DESIGN PRINCIPLES

William Stallings 著

齐望东 薛卫娟 傅麒麟 胡谷雨 译

谢希仁 校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

高速网络现在不仅是局域网而且也是广域网市场的主角。本书主要讨论两类网络的设计问题：使用 IP 和 TCP/IP 协议栈的互连网与 ATM 网络。全书共七个部分，包括协议与网络基础，高速网络，性能建模和估计，端系统业务管理，网络业务量管理，互连网选路，压缩。

本书适于高年级本科生和研究生使用，亦可供对高速网络领域感兴趣的专业人员作为基本参考书。

©1998 by Prentice-Hall, Inc.

本书中文简体版由电子工业出版社和美国 Prentice-Hall 出版公司合作出版。未经许可，不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

高速网络 TCP/IP 和 ATM 的设计原理/(美) 斯多林斯(Stallings.W.)著：

齐望东等译 - 北京：电子工业出版社，1999.10

(国外计算机科学教材系列)ISBN 7 - 5053 - 5447 - 7

I. 高... II. ①斯... ②齐... III. ①计算机网络-通信协议，TCP/IP

②计算机通信-数字传输系统，ATM IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 63451 号

丛 书 名： 国外计算机科学教材系列

书 名： 高速网络 TCP/IP 和 ATM 的设计原理

原 书 名： **HIGH-SPEED NETWORKS TCP/IP and ATM design principles**

著 者： [美] William Stallings

译 校 者： 齐望东 薛卫娟 傅麒麟 胡谷雨 谢希仁

责任编辑： 陆伯雄

印 刷 者： 北京天竺颖华印刷厂

出版发行： 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

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： 30.5 字数： 715 千字

版 次： 1999 年 12 月第 1 版 1999 年 12 月第 1 次印刷

印 数： 8000 册

定 价： 48.00 元

书 号： ISBN 7-5053-5447-7/TP · 2743

著作权合同登记号 图字：01-1999-1312

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，请向购买书店调换。

若书店售缺，请与本社发行部联系调换。电话 68279077

出版说明

计算机科学的迅速发展是 20 世纪科学发展史上最伟大的事件之一。从 1946 年第一台笨重而体积庞大的计算机的发明至今, 仅仅半个多世纪, 计算机已经变得小巧无比却又能力非凡。它的应用已经渗透到了社会的各个方面, 成为当今所谓的信息社会的最显著的特征。

处于世纪之交科技进步的大潮中, 我国正在加强计算机科学的高等教育, 着眼于为下一世纪培养高素质的计算机人才, 以适应信息社会加速度发展的需要。当前, 全国各类高等院校已经或计划在各专业基础课程规划中增加计算机科学的课程内容, 而作为与计算机科学密切相关的计算机、通信、信息等专业, 更是在酝酿着教学的全面革新, 以期规划出一整套面向 21 世纪的、具有中国高校计算机教育特色的课程计划和教材体系。值此, 我们不妨借鉴并引进国外具有先进性、实用性和权威性的大学计算机教材, 洋为中用, 以更好地服务于国内的高校教育。

美国 Prentice Hall 出版公司是享誉世界的高校教材出版商, 自 1913 年公司成立以来, 即致力于教育图书的出版。它所出版的计算机教材在美国为众多大学所采用, 其中有不少是专业领域中的经典名著。许多蜚声世界的教授学者成为该公司的资深作者, 如: 道格拉斯·科默(Douglas Comer), 安德鲁·坦尼伯姆(Andrew Tanenbaum), 威廉·斯大林(William Stallings)……几十年来, 他们的著作教育了一批批不同肤色的莘莘学子, 使这些教材同时也成为全人类的共同财富。

为了保证本系列教材翻译出版的质量, 电子工业出版社和 Prentice Hall 出版公司共同约请北京地区的清华大学、北京大学、北京航空航天大学, 上海地区的上海交通大学、复旦大学, 南京地区的南京大学、解放军通信工程学院等全国著名的高等院校的教学第一线的几十位教师参加翻译工作。这中间有正在讲授同类教材的年轻教师和博士, 有积累了几十年教学经验的教授和博士生导师, 还有我国著名的计算机科学家。他们的辛勤劳动保证了本系列丛书得以高质量地出版面世。

如此大规模地引进计算机科学系列教材, 在我们还是第一次。除缺乏经验之外, 还由于我们对计算机科学的发展, 对中国高校计算机教育特点认识的不足, 致使在选题确定、翻译、出版等工作中, 肯定存在许多遗憾和不足之处, 恳请广大师生和其他读者提出批评、建议。

电子工业出版社

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

Prentice Hall 出版公司

URL:<http://www.prenhall.com>

译者的话

发现的艺术不在于寻找新的风景，而在于用新的眼光观察同一片风景。

马塞尔·普鲁斯特，《追忆似水年华》

在当今的高速网络领域，一个人要获得技术进展的全局观念殊非易事。这个领域是如此广泛，以致于一个人可能精通 TCP/IP 协议，但对于网络通信量的自相似特性却是一个门外汉；他可能对 ATM 网络很熟悉，但对视频压缩技术却了解甚少。能够用非常有限的篇幅对高速网络作出全面清楚的论述同时又综述有关最新进展的论著尚不多见。

William Stallings 教授以其《高速网络》一书填补了这个空缺。

本书的论题包括了所有与高速网络相关的重要技术。一般来说，处理如此广泛的论题难免可能会深度不够或论述欠准确。Stallings 教授解决这个问题的办法是使所有的讨论都围绕一个中心，即如何设计建造一个能够高效地提供多种服务的综合高速网络。凭借自己在网络技术上的深湛知识，他对于材料进行了大刀阔斧地取舍。他对于一些核心技术（如 TCP 的流量与拥塞控制）不惜笔墨进行了详尽的分析，而对于其他的一些技术则只作简要的概括。对于所有的重要论题，Stallings 教授都在推荐读物里给出了精选的经典文献和代表最新成果的论文，使得读者可根据需要做进一步的深入研究。对于即使只需要简要了解的内容，他都请有关专家审阅其文稿，从而保证内容的准确无误。用中国画大师黄宾虹论画的语言讲，这可谓是“密处可以走马，而疏处不让透风。”

本书最大的特点就是对于技术的论述非常清晰。本书的译者在计算机网络领域都做了多年的科研和教学工作，对于本书中的许多内容还比较熟悉，但读了 Stallings 这本书，对于这些内容又获得了更清楚的理解。我们认为这本书在论述上的优点有以下几个方面。首先，作者本人从发表研究进展的原始论文中直接取材，准确地把握了论题的实质。其次，作者善于使用图表直观地说明复杂的问题，有的图表设计得相当精妙（例如，关于快速重传和快速恢复的图 10.14）。此外，作者在运用数学公式时十分重视讲清其物理实质，并尽量附上直观的说明。总之，本书作为处理复杂技术问题的著作具有难得的可读性。

本书的另一个显著特点就是作者特别重视新的研究进展。作者研究了大量最新的论文，并对这些论文的结论以及意义做出了准确的概述。作者还将其文稿送给各个相关领域活跃的研究专家审阅，保证了其论述的权威性。

从事高速网络研究的人可从这本书中找到所研究的问题在本领域中的作用和地位，而对于某个方面有兴趣的人则可从作者给出的综述开始自己的工作。

本书的一个缺点是一些公式的符号往往正体字和斜体字混用，我们在翻译时不便全部进行统一。请读者在阅读时注意。

本书的译者是：第 1 至 10 章，齐望东副教授（博士）和薛卫娟工程师；第 11 至 12 章，谢希仁教授；第 13 至 15 章，胡谷雨教授（博士）；第 16 至 18 章，傅麒麟教授。全书由谢希仁教授校阅。

原书的一些错误已在翻译过程中改正。对于在作者的勘误表中没有列出的错误，我们都曾用电子邮件和作者进行过联系。限于水平，翻译不妥或错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

译者

1999年9月于解放军理工大学，南京。

序

在当今发展迅速的连网和电信领域，要在一本书里找到对所有重要的技术和概念的权威论述实非易事。这样一本书应该完备周详，它应该对整个领域作出清楚、直观的综述，同时又应该对各种具体技术作出深入、易懂的解释。

我一直认为写成这样一本书是不可能的。但你恐怕想不到 Bill Stallings 竟做成了这件事。在本书中，你将会找到与这一宽阔又重要的论题相关的几乎每个方面的权威解释。他用流畅的语言和推销员般的手法解释了从自相似到 ATM 业务量管理在内的所有论题。在此过程中同时又保持了一个学者在技术上的深度和高标准。

他对于精确性以及技术细节的关注无与伦比，他的处理总是恢宏深邃发人深思。

你从打开这本书的那一刻开始就会珍视并使用它。不管是用作实际工作者的参考书，还是作为学生的教材，抑或用于加强专门技术人员的素养，本书都在一卷之内既提供了知识又提供了洞察力。我想你完全可以信赖与欣赏它。

我希望我已经对本书作出恰当的评价。但不管怎样，无论有没有我的这篇序言。这本坚实的著作都会自己开口说话。

Stephen M Walters 博士
曾任 ATM 论坛总裁、董事长
Bellcore 公司首席科学家

前 言

本书旨在帮助读者从纷繁交织的事件中辨识出关键的和重大的决策。从头到尾我都尽自己所能忠实地解释过去发生的事件及其发生的背景。

——温斯顿·丘吉尔(Winston Churchill)《世界危机》(*The World Crisis*)

背景

高速网络现在不仅主宰着局域网市场，而且也主宰了广域网市场。广域网市场出现了两种相关的趋势。公众及专用数据网络已经从几十到几百千比特每秒速率的分组交换网络发展到高达 2 Mbps 的帧中继网络，现在则向 155 Mbps 或更高速率的异步传递方式 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 网络发展。而因特网和公司专用互连网的数据速率也急剧上升。其中 1996 年建成的 155 Mbps 的因特网主干网是一个值得纪念的里程碑。

在许多年的时间里，最常见的局域网是 10 Mbps 的共享以太网。后来出现了交换式以太网。它能为每一个端系统提供 10 Mbps 的专用带宽。然后是 100 Mbps 的快速以太网和现在的吉比特以太网。与此同时，具有 25 Mbps 和 155 Mbps 的 ATM 局域网也发展起来了。

这些高速网络的迅速发展促进了新型应用的发展，而后者的普及又反过来推动了高速网络的进步。其中最关键的推动力量来自于静止图像和活动图像数据的广泛使用和万维网(World Wide Web)的普及。

目标

包括吉比特网络在内的高速网络是本书讨论的焦点。我们将主要讨论两类网络的设计问题：其中包括使用网际协议 IP (Internet Protocol) 与 TCP/IP 协议栈的互连网与 ATM 网络。这两类连网技术是高速网络领域两种主要的技术，它们之间有许多设计方法是一样的。

本书的目标是为这一领域的发展提供一个最新的概述。网络设计者所面临的中心问题是如何支持多媒体和实时业务，如何进行拥塞控制以及如何对不同的应用提供各自所需的不同的服务质量 QoS (Quality of Service)。

读者对象

本书既可供学生使用也可供专业人员使用。对于高速连网领域感兴趣的专业人员可将本书作为基本参考书作自修之用。

作为教材，本书适于高年级本科生和研究生使用。本书讨论了许多高深的论题，同时也对所需要的基本论题进行了简要的讨论。在第一、第二部分之后的各部分是相互独立的。如果作一个较短的课程教材，可以选取较少的部分。各部分之间的教学次序可以随

意安排。

本书篇幅安排

本书共分七个部分：

1. 协议与网络基础：对基本原理进行了一个简短概述。包括 TCP/IP、网络互连、分组交换等内容。网络拥塞是本书一直关心的一个关键问题。在这里我们也进行了介绍。

2. 高速网络：对 ATM 网络和高速局域网进行了概述。

3. 性能建模和估计：对业务流建立合适的模型，对于网络设计、配置以及网络业务的提供都很重要。这一部分对于用排队分析方法对于吞吐量、时延以及缓存需求进行建模提供了一个入门性介绍。越来越多的证据表明高速网络上的许多业务呈现出自相似特性，对此传统的排队分析无法凑效。自相似业务的特性以及建模方法在这一部分做了讨论。

4. 端系统业务管理：讨论 TCP 用来提高吞吐量以及控制拥塞所用的端到端性能参数与技术。实时传输的问题也有所涉及。

5. 网络业务量管理：在一个互连网或 ATM 网络中有许多用来控制拥塞以及为活动应用提供所需 QoS 的技术。这一部分对上述技术作了一个综述。

6. 互连网选路：论述了选路的各种主要方式，包括距离矢量法、链路状态法以及路径矢量法。讨论了多投选路、资源预留以及 IP 交换。

7. 压缩：介绍了无损失和有损失两类压缩技术。另外，本书还包括一个范围广泛的名词术语集解、一个经常用到的缩略语词表以及一个参考书目索引。每一章都包括有习题、推荐的进一步的阅读材料以及相关的万维网站地址。

*供教师和学生使用的因特网服务

*本书有一个万维网页可为教师和学生提供帮助。这个网页即包括了相关网站的地址链接、以 PDF (Adobe Acrobat) 格式提供的书中插图的透明片、连有本书互连网邮件表的登记信息。该网页在 <http://www.shore.net/~ws/HsNet.html>。

因特网上开了一个邮件表以供使用本书的教师之间以及与本书作者之间交换信息、建议和问题。

书中打印错误或其它错误一经发现，本书的勘误表就可以在下列地址得到：
<http://www.shore.net/~ws>。

致谢

本书受到本领域大量专家学者的审阅，他们慷慨地花费了许多时间以自己的专长使本书受益非浅。下列人士审阅了本书初稿的全部或一部分：Trondheim 工程学院的 Ketil Albertsen, Cisco 公司的 Chase Bailey, DePaul 大学的 Michael S. Borella, 衣阿华州的 Doug Jacobson, 密西根州立大学的 Matthew Mutka, George Mason 大学的 J. Mar Pullen, 科罗拉多州立大学的 Pradip Srimani, 加利福尼亚大学圣克鲁兹分校的 Anujan Varma, Bellcore 公司的 Stephen Walters。

另外，我还有幸得到各个专题领域的权威人物为我审阅各个专题章节。其中包括：自相似业务量由南昆士兰大学的 Ron Addie、劳伦斯伯克利实验室的 Vern Paxson、休斯研究实验室的 Bo Ryu 和 AT&T 实验室研究部的 Walter Willinger 审阅；TCP 拥塞控制由劳伦斯

伯克利实验室的 Sally Floyd、Mckinsey 公司的 Janey Hoe 审阅；互连网拥塞控制及 ISA 由 Cisco 公司的 Fred Baker 和 David Isacoff 审阅；ATM 拥塞和业务量控制由 Cisco 公司的 Chien Fang 和俄亥俄州立大学的 Rohit Goyal 审阅，互连网选路与多投由南加州大学的 Deborah Estrin、Ascend 公司的 David D. Ward 审阅；IP 交换由 Ipsilon 公司的 Larry Lang 审阅。压缩由 Brigham Young 大学的 Michael R. Bastian、Picture Tel 公司的 Wilson C. Chung 和北伊利诺大学的 Nasir Memon 审阅；分形压缩由 Iterated 系统公司的 Michael Barnsley 和滑铁卢大学的 Edward R. Vrscay 审阅。

我还要感谢为本书编写习题的南加州大学 Ahmul A-G Helmy 和滑铁卢大学的 Franklin Mendivil。

有如此之多的协助，在本书中完全由我自己完成的工作就不多了。然而我可以很自豪地说我自己一个人选取了本书各章节前的全部引语。

(使用本书中文版作为教材授课的教师，请联络 Prentice Hall 公司北京代表处，电子邮件地址为：ssbj@bupt.edu.cn，通信地址为：北京西三环北路 19 号外研社大厦 2205 室，邮编 100081。目前教师指导书仅能免费提供英文版。)

目 录

第 1 章 引论	1
1.1 连网简史	2
1.2 高速度与服务质量的需要	8
1.3 先进的 TCP/IP 及 ATM 网络	11
1.4 本书概要	13
附录 1A 因特网与万维网资源	15
第 2 章 协议与 TCP/IP 协议族	19
2.1 协议体系结构是必需的	19
2.2 TCP/IP 协议的体系结构	20
2.3 OSI 协议体系结构	28
2.4 网络互连	29
2.5 推荐读物	33
2.6 习题	35
第 3 章 数据网络	36
3.1 分组交换网络	36
3.2 X.25	42
3.3 帧中继网络	45
3.4 数据网络和互连网中的拥塞	50
3.5 推荐读物	59
3.6 习题	60
第 4 章 异步传输模式	65
4.1 ATM 协议体系结构	65
4.2 ATM 的逻辑连接	66
4.3 ATM 信元	70
4.4 ATM 的服务类别	74
4.5 ATM 适配层	77
4.6 推荐读物	84
4.7 习题	85

第 5 章 高速局域网	88
5.1 快速以太网和吉比特以太网	88
5.2 ATM 局域网	99
5.3 推荐读物	102
5.4 习题	102
第 6 章 概率论和随机过程概述	107
6.1 概率	107
6.2 随机变量	111
6.3 随机过程	115
6.4 推荐读物	123
6.5 习题	124
第 7 章 排队分析	126
7.1 队列的行为——一个简单的实例	126
7.2 进行排队分析的必要性	129
7.3 排队模型	130
7.4 单服务员排队	135
7.5 多服务员排队	138
7.6 实例	139
7.7 带优先级的排队	142
7.8 排队网络	143
7.9 其他排队模型	147
7.10 估计模型参数	147
7.11 推荐读物	150
7.12 习题	151
第 8 章 自相似通信量	154
8.1 自相似性	154
8.2 自相似数据通信量	157
8.3 自相似性的性能含义	168
8.4 自相似数据通信量的建模和估计	171
8.5 推荐读物	173
8.6 习题	174
附录 8A Hurst 自相似参数	175
第 9 章 链路级流量及差错控制	179
9.1 流量及差错控制的必要性	179

9.2	链路控制机制.....	182
9.3	ARQ 的性能	189
9.4	推荐读物.....	198
9.5	习题.....	199
第 10 章	运输协议.....	201
10.1	传输控制协议.....	201
10.2	TCP 拥塞控制	213
10.3	在 ATM 之上运行 TCP 的性能.....	227
10.4	实时运输协议.....	236
10.5	推荐读物.....	248
10.6	习题.....	249
第 11 章	互连网的通信量管理.....	253
11.1	网际协议	253
11.2	IPv6	258
11.3	综合服务体系结构	266
11.4	排队规则	272
11.5	随机早期检测	280
11.6	推荐读物	286
11.7	习题	287
第 12 章	ATM 网络中的通信量和拥塞控制.....	290
12.1	ATM 通信量和拥塞控制的需求	290
12.2	ATM 的通信量相关属性	294
12.3	通信量管理框架	298
12.4	通信量控制.....	299
12.5	ABR 通信量管理.....	309
12.6	推荐读物.....	318
12.7	习题.....	319
第 13 章	图论概述和最短路径.....	323
13.1	图论的基本概念.....	323
13.2	最短路径长度计算.....	330
13.3	推荐读物.....	335
13.4	习题.....	335
第 14 章	路由选择协议.....	339
14.1	互连网路由选择原理.....	339

14.2	距离向量协议: RIP.....	344
14.3	链路状态协议: OSPF.....	350
14.4	路径向量协议: BGP 和 IDRP.....	356
14.5	推荐读物.....	361
14.6	习题.....	362
第 15 章	高速和多媒体通信量的路由选择.....	363
15.1	多播.....	364
15.2	资源预约: RSVP.....	373
15.3	IP 交换.....	383
15.4	推荐读物.....	389
15.5	习题.....	390
第 16 章	信息论概要.....	393
16.1	信息和熵.....	393
16.2	编码.....	397
16.3	推荐读物.....	403
16.4	习题.....	403
第 17 章	无损压缩.....	405
17.1	游程长度编码技术.....	405
17.2	传真压缩.....	408
17.3	算术编码.....	413
17.4	字符串匹配算法.....	418
17.5	推荐读物.....	425
17.6	习题.....	425
第 18 章	有损压缩.....	427
18.1	离散余弦变换.....	427
18.2	JPEG 图像压缩.....	434
18.3	MPEG 视频压缩.....	442
18.4	分形图像压缩.....	446
18.5	推荐读物.....	460
18.6	习题.....	461
词汇表		463
英文缩写词		470

第 1 章 引论

如果读者想要理解这个故事和讲故事者的观点，他应该跟随作者的思路弄清楚各种主要事件的前因后果。他不仅应该熟悉在战争爆发时陆军和海军的情况，而且还应该熟悉此前发生的事件，他必须了解元帅们和将军们的情况，他必须研究海军和陆军的组织及其在海上和陆上的战略简况。他甚至不应该忽略战舰和大炮的设计性能；他必须了解现代国家的形成以及它们之间逐渐产生的对立状态。他必须把这种情况和各种政党之间微不足道但又不可避免的冲突以及各种政治力量和政治人物之间的相互作用联系起来。

——温斯顿·丘吉尔《世界危机》(*The World Crisis*)

这个领域的论题很广泛：从路由器或交换机上如何在队列中处理一个分组或信元这样的细节到为某一给定类型的业务量预留网络资源的通用技术；从对于一个数据流特性的定义到为减小网络负担而采用的压缩数据的方法。翻阅一下目录，我们可以看到本书共 18 章，所处理的就是这些论题以及其他相关论题。

我们要解决的主题是要在支持高速数据速率的网络上传送大量的有着不同业务质量要求的通信量。我们研究相关设计问题的两个平台是基于 IP 的互连网和 ATM 网络^①。

无论是互连网还是 ATM 网络领域都正在发生急剧的变化。就互连网而言，其承载的业务总量最近几年有了巨大的增长，同时业务成分也已经由以前的数据业务扩展到包括多媒体与实时业务的综合业务量。就 ATM 而言，其内在的高数据速率特性不仅吸引了话音和活动图像业务量，而且也吸引了越来越多的基于 TCP/IP 的突发数据业务量。对于有关专业技术人员来说，这种迅速的前所未有的变化在协议、拥塞控制和业务量特征分析与管理等方面都提出了许多有趣的设计问题。这本书就是为上述技术人员撰写的。

另一方面，企业信息系统主管或最终用户则关心的是网络应该满足各种应用的需求。虽然这不是一本供管理人员使用的书，更不是为最终用户而写的书，我们却可以通过简短地评述用户需求来说明应用对于高速网络及其业务量管理的要求。本章就是用来讨论用户需求的。

本章首先回顾基于 IP 的互连网和 ATM 网络的发展趋势。然后我们介绍几种促进高速、高容量保证服务质量 QoS 的网络出现和发展的因素。接着我们介绍基于 IP 的互连网和 ATM 网络所提供的服务种类。在这些叙述之后，本章最后将对全书的其余各章作一个简要介绍。

本章后面的附录列出了对于读者和教师可能有用的基于因特网和基于万维网的各种资源。

^① 我们用“基于 IP 的互连网”这一术语称呼任一由使用互连网协议 IP 的路由器连接并用 TCP/IP 协议族承载业务量的网络。ATM 网络则使用 ATM 及相关协议。

1.1 连网简史

最近几年间出现了许多为基于 IP 的互连网及 ATM 网络制定的协议或发展的技术。1.2 节中将对此作出简要评述。本节我们首先回顾一下促使上述发展的几个因素。

因特网和万维网的发展

在数据通信和计算机连网中所有协议和机制发展背后的最大推动力量是因特网的发展。因特网的发展又主要受到万维网 WWW(World Wide Web)的影响。可以肯定地说,无论何地何人,只要他使用过计算机,就不会对因特网及万维网的发展毫无所知。这两项技术以及由此而生发的应用,已经深刻地改变了各商业用户使用计算资源的方式以及个人用户使用个人计算机的方式。

因特网

今日的因特网可向上回溯到 ARPANET, 该网起初只不过是当时对于新的分组交换技术的实验网络(见表 1.1)。ARPANET 在 1969 年建成时只有四个分组交换结点, 连接了不过为数不多的几台主机和终端。连接各结点的链路速率起初也只有 50 kbps。ARPANET 受到美国国防部下属远景规划局的资助。其目的是想作为协同分布式计算所用的分组交换技术和协议研究的一个工具。

表 1.1 因特网演变的年代表

年	事件
1966	ARPA 分组交换进行实验
1969	ARPANET 的第一批结点运行
1972	分布式的电子邮件发明
1973	非美国的计算机连接到 ARPANET 上
1975	ARPANET 改为国防通信局领导
1980	TCP/IP 实验开始
1981	每 20 天增加一台新的主机
1983	TCP/IP 切换完成
1986	NSFnet 主干网创建
1990	ARPANET 退役
1991	Gopher 被采用
1991	WWW 发明
1992	Mosaic 被采用
1995	因特网主干网私有化
1996	OC-3 (155 Mbps)主干网建成

为 ARPANET 开发的一些早期应用有新的功能。最初两个重要应用是 TELNET 和 FTP。TELNET 为远端计算机终端提供了一个共同的语言。在 ARPANET 诞生的时候, 每个不同的计算机系统都需要一个不同的终端。TELNET 应用程序则提供了各种终端所共有的一部分功能。如果在每种计算机里边都编写运行一个支持“TELNET 终端”的软件, 那么一个终端就可以和所有类型的计算机进行交互。文件传送协议 FTP(File Transfer Protocol)拥有类似的一项开放功能, FTP 使得一个计算机可以通过网络向其他计算机透明

地传送文件。做到这一点并不像听上去那么简单，因为各种计算机字长不同，存储时的比特顺序不同并且字的格式也有所不同。

TELNET 和 FTP 固然很有用，但第一个真正受欢迎的 ARPANET 应用是电子邮件(E-mail)。电子邮件早在 ARPANET 出现之前就有，但只用于单个计算机系统。1972 年，BBN (Bolt Beranek and Newman)公司的 Ray Tomlinson 编写了第一个通过一个由多台计机构成的网络传递邮件的分布式邮件服务软件。到了 1973 年，ARPA 的一项研究发现就已经有四分之三的 ARPANET 业务量是电子邮件[HAFN96]。由于 E-mail 非常有用，ARPANET 因此吸引了更多的用户，从而促使 ARPANET 增加了更多的结点，连接结点的链路速率也提高了。这种趋势一直保持至今。

随着 ARPANET 的增长，它不仅吸引了政府部门和学校的研究人员的使用，而且吸引了美国国防部中负责实际军事任务的“行动人员”。网络配置和管理就和网络的可靠性与可用性一样变得很重要。因此，对 ARPANET 的控制权在 1975 年被从研究资助机构 ARPA 转到了国防通信局。

由于 ARPANET 中所用的分组交换技术应用得非常成功，因此 ARPA 就将同样的技术用到了战术无线电通信(分组无线电网 Packet Radio)与卫星通信(SATNET)。由于上述三种网络运行的通信环境差异很大，诸如最大分组长度这样的参数的合适取值也因网而异。面对综合这些不同网络的难题，ARPA 的 Vint Cerf 和 Bob Kahn 开始发展网络互连(internetworking)的方法和协议；网络互连意味着在任意的多个分组交换之间进行通信。他们在 1974 年 5 月发表了一篇描述他们实现传输控制协议方法的论文[CERF74]。他们的方案经过 ARPANET 同仁的改进和充实，其中包括欧洲网络如 Cyclades(法国)和 EIN 等参加者也作出了重要贡献，最终产生了 TCP 和 IP 协议，这两个协议又构成了后来的 TCP/IP 协议族的基础。TCP/IP 协议族为因特网奠定了基础，在因特网中 ARPANET 只是其中相互连接的网络之一。1982 年到 1983 年间，ARPANET 将其中的 NCP 协议全换成了 TCP/IP 协议。随后世界上许多其他网络也都使用这一技术连在一起。虽然如此，对 ARPANET 的使用仍然主要限制在 ARPA 的承包商之间。

ARPANET 和因特网技术非常有用，因此不应仅限于国防项目承包商范围使用。1980 到 1981 年，美国国家科学基金会 NSF(National Science Foundation)建立了 CSNET 网用于支持更多的其他计算机科学研究组织使用；1986 年，NSF 建立了 NSFNET 主干网以支持一般研究界的所有学科使用。最初 NSFNET 是用来连接 NSF 资助的全美六个超级计算机中心以及各中心到全国的超级计算机用户的。最后，NSF 用其主干网将全国各地区的分组交换网连了起来。1990 年 ARPANET 被关闭了。

万维网 WWW(World Wide Web)

1989 年春，欧洲原子核研究机构 CERN 的 Tim Berners-Lee 提出了一项旨在促进使用因特网进行国际研究发现交流的分布式超媒体技术。两年之后，使用 NeXT 计算机作为平台的一个原型 WWW 在 CERN 被开发出来。到 1991 年底，CERN 向不多的人员发布了一个基于文本的浏览器。而这种技术真正爆炸性的发展则是从第一个图形界面的浏览器 Mosaic 的开发而开始的。Mosaic 是由伊利诺大学 NCSA 中心的 Mark Andreasson 等人开发的。在很短时间内，就在因特网上散发出去了二百万份 Mosaic 的拷贝。短短几年之内，