

高等学校计算机科学与技术系列教材

# 网络规划与设计教程

杨雅辉 主编



高等教育出版社  
Higher Education Press



## 内容提要

本书从系统方法学和网络工程的角度探讨网络分析、规划和设计方面的问题,系统地介绍网络规划及逻辑设计流程中每个阶段的设计任务、内容、原则、方法、实践指导等。主要内容包括绪论、网络互连技术概述、网络规划与设计的相关工具、需求分析、流分析、技术选择、网络拓扑设计、网络编址和网络命名、路由设计、网络性能保障设计、网络管理设计、网络安全设计、案例分析。本书注重由浅入深、循序渐进,按照网络规划与设计的流程组织相关内容,使前后内容相互衔接、融合。另外,本书侧重理论与实践的结合,全书各主要章节对所讲述的设计内容、原则和方法辅有大量的设计实例,在本书的最后一章,通过给出贯穿全书的案例分析使读者深入领会网络规划与设计的理论知识和原则方法。

本书系统性强、内容丰富、结构紧凑合理、语言通俗易懂。

本书内容重视基本原理和系统方法,同时具有很强的工程性,可作为高等学校计算机及相关专业教材,也可供网络设计师、网络工程师、IT 技术管理人员等参考阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

网络规划与设计教程/杨雅辉主编. —北京:高等教育出版社,2008.6

ISBN 978-7-04-023962-1

I. 网… II. 杨… III. 计算机网络—高等学校—教材  
IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 067947 号

策划编辑 刘艳 责任编辑 焦建虹 封面设计 于文燕 责任绘图 朱静  
版式设计 王艳红 责任校对 胡晓琪 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印刷 煤炭工业出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16  
印张 21.5  
字数 480 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2008年6月第1版  
印次 2008年6月第1次印刷  
定价 26.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23962-00

# 前 言

网络是 IT 基础设施,随着 IT 技术的发展和应用的普及,网络建设方兴未艾,在广度和深度上不断扩展和加强,已渗透到各行各业和不同领域,从大型企业网到中小企业网、从电信网络到行业网络、从研究型网络到应用型网络,基于 IP 的网络部署和网络应用快速发展。网络建设始于网络规划与设计,同时,网络规划与设计也是网络建设过程中最重要的环节。良好的网络规划与设计是保证网络快速、稳定、安全运行的基础和关键。网络规划与设计的不完善和不合理会导致许多问题,例如,网络基础设施不能满足网络应用的需求,网络建设和运行成本过高,网络投资大于网络的收益,由于网络结构的不灵活性、可扩展性差而阻碍整个网络和网络业务的发展等。

开放式网络体系结构和网络协议的标准化使得在技术上实现网络互连并不难,但是规划和设计一个适应复杂环境、综合各种因素、满足用户需求的网络却不是一件容易的事情。有些情况是从无到有规划设计一个全新的网络,而有些时候则需要现有的网络基础设施里融进新的技术、扩展网络规模以适应网络上的新应用或业务发展。网络规划与设计必须满足用户的网络建设需求,没有一种网络规划与设计方案可以适合所有的网络。网络技术和网络应用发展日新月异,网络规划与设计方法和技术也越来越复杂,更新越来越快;网络设计工具往往功能单一而且很容易过时;网络协议的多样化和复杂化也增加了网络设计的技术难度和复杂性;在 Internet 时代,各种组织或企业不得不基于 IP 技术组建网络。尽管 IP 技术发展迅速,但 IP 网络固有的缺陷仍然使得构建高效、高性能、高安全、高可靠性的网络不能成为一件轻松、容易的事情。因此,网络规划与设计是一项高技术含量、高层次而且具有很强的工程性的工作。除了要求网络设计人员或网络工程师系统掌握网络互连的基础理论和相关技术外,还需要了解网络规划与设计流程,清楚流程中每一阶段的任务,掌握设计内容以及设计原则、设计方法等。除此之外,还需具有一定网络工程方面的实践经验。目前,网络规划与设计更多的是一门“艺术”,而不是一门“科学”,这意味着网络工程还不是一项具有严格方法学和系统方法的学科。相对软件设计和开发而言,网络规划、设计和开发则是一种非常粗放的生产活动,只是一种“工程实践”,要想成为一门科学还需要很长的路要走。这一领域中的原则和方法等很多还是停留在经验交流甚至口头传授的实践层面上,方法学和系统方法等理论还有待于总结和研究。本书旨在从系统方法学与网络工程实践相结合的角度探讨网络分析、规划和设计方面的问题。

本书是编者在多年的“网络规划与设计”教学内容和教学经验的基础上,参阅了国内外已有相关书籍和培训教材,并结合多年来积累的网络规划与设计工程实践经验编写而成的。本书尝

试从系统方法学和网络工程的角度探讨网络分析、规划和设计方面的问题,系统地介绍网络规划及逻辑设计流程中每个阶段的设计任务、内容、原则、方法、实践指导等。为了便于读者对设计内容的理解,本书在开始处概要介绍与网络设计相关的网络技术及相关工具。本书在内容组织上强调理论与实践相结合,注重对网络规划与设计过程的指导,在设计相关的章节中尽量包含设计实例,在本书的最后还给出了贯穿全书内容的案例分析。

本书适用于信息技术领域相关专业硕士课程或本科高年级课程。本书内容已在北京大学软件与微电子学院工程硕士研究生的课程中讲过多次,并取得较好的教学效果。

全书共分13章。第1章绪论是本书的背景介绍,概要介绍数据网发展及演化的过程及网络规划与设计相关的背景、概念及设计过程等。网络互连技术是充分理解本书的知识点、进行网络规划与设计的基础,为便于学生学习,本书在第2章概述了网络互连技术。对于已经学习和掌握网络互连技术的学生,第2章的学习可以从网络规划与设计角度帮助学生梳理和回顾一下网络互连技术的基础知识;对于那些没有系统地学习过网络互连技术的学生,通过第2章的学习可以了解和理解网络互连技术的一些基本概念和知识。第3章分类介绍网络规划与设计相关的工具,是本书的补充内容。第4章~第12章系统地介绍需求分析、流分析、技术选择、网络拓扑设计、网络编址和网络命名、路由设计、网络性能保障设计、网络管理设计、网络安全设计几个方面的内容,这9章涵盖了网络规划及逻辑设计流程中各阶段的设计任务、内容、原则、方法、实践指导等,是全书的主要知识点和内容。为便于设计案例内容的组织,本书集中在第13章介绍包括园区网、城域网和广域网在内的3个典型教学案例,这3个案例涵盖了全书的主要知识点,从组网(网络拓扑、地址规划和路由设计)、网络管理设计、网络安全设计、性能保障设计等方面给出并分析了设计方案。

在教学过程中如何使用本书给出以下建议:

- (1) 第4章~第12章是本书的重点内容。
- (2) 第2章和第3章作为教学可选内容,可根据学生的背景、可用课时数及课程目标等灵活选用。
- (3) 为便于组织,本书将贯穿全书主要知识点的案例集中在第13章。但在教学过程中,建议将第13章的案例内容分散到各相关章节加以讲解,可以获得更好的教学效果。
- (4) 可在本书重要内容的教学过程中,辅以课外设计题目的训练并结合互动式的教学方法,提高学生运用所学知识进行网络规划与设计的能力。

使用本书进行教学的学时安排建议为:第4章~第13章(32~36学时)、第1章~第3章(12~16学时,可选)。

本书由北京大学软件与微电子学院杨雅辉主编,确定本书的结构和大纲,并编写了其中的第1章、第5章、第6章、第7章、第10章和第13章;张英编写了第2章和第12章;夏敏和杨雅辉共同编写了第3章、第8章、第9章和第11章;徐晋晖和杨雅辉共同编写了第4章。全书由杨雅辉统稿。

在本书编写过程中,长期从事网络技术研究、大型网络规划与设计、网络模拟测评等工作的

中国科学院计算技术研究所张英研究员除参与编写本书的部分内容外,还审阅了全稿并提出了许多宝贵的修改意见。在此对张英的帮助表示衷心的感谢!

由于网络技术发展迅速,加之编者水平有限,书中难免出现不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2008年3月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数据网的发展及演化	1
1.1.1 数据网的发展历程	1
1.1.2 数据网发展的驱动力	4
1.1.3 IP 网络传输结构的演化	8
1.1.4 数据网的发展趋势	10
1.2 网络规划与设计概述	11
1.2.1 相关概念及本书范畴	11
1.2.2 影响网络设计的因素	12
1.2.3 网络设计过程	14
习题	16
第 2 章 网络互连技术概述	17
2.1 网络技术标准及标准化组织	17
2.1.1 网络技术标准	17
2.1.2 标准化组织	17
2.1.3 标准化过程	19
2.2 网络体系结构	20
2.2.1 网络分层的概念	20
2.2.2 开放系统互连参考模型	21
2.2.3 网络分类	23
2.3 局域网技术	24
2.3.1 局域网的概念	24
2.3.2 局域网协议及标准	25
2.3.3 以太网	27
2.3.4 环状局域网	33
2.3.5 无线局域网	35
2.4 广域网技术	38
2.4.1 广域网的概念	38
2.4.2 PSTN 公共电话交换网	40
2.4.3 ISDN	41
2.4.4 DDN 网络	42
2.4.5 ADSL 网络	45
2.4.6 X.25 网络	46
2.4.7 帧中继网络	47
2.4.8 ATM 网络	47
2.4.9 同步光网络	48
2.5 IP 网络技术	49
2.5.1 TCP/IP 网络协议栈	49
2.5.2 Internet/Intranet	52
2.5.3 IPv6	54
2.6 IP 网络互连与网络设备	56
2.6.1 局域网互连及设备	56
2.6.2 广域网互连及设备	59
习题	60
第 3 章 网络规划与设计的相关工具	62
3.1 测试和接口检测工具	62
3.2 协议分析仪	64
3.2.1 协议分析仪的功能	64
3.2.2 协议分析仪的实现方式	66
3.3 网络监测工具	67
3.4 网络管理工具及平台	70
3.5 网络仿真工具	73
3.5.1 网络模拟与网络仿真	73
3.5.2 网络仿真和网络规划与设计	73
3.5.3 网络仿真在网络规划与设计中的应用	74

3.5.4	网络仿真工具	76
3.6	网络设计辅助工具	80
	习题	81
<b>第4章</b>	<b>需求分析</b>	<b>82</b>
4.1	业务需求	83
4.1.1	业务需求收集	83
4.1.2	业务需求内容	84
4.1.3	确定网络设计目标和初始条件	86
4.2	用户需求	86
4.2.1	用户关注点	87
4.2.2	用户需求信息的收集	88
4.2.3	用户需求信息的整理	89
4.3	应用需求	90
4.3.1	服务类型	90
4.3.2	服务性能	91
4.3.3	应用类型	92
4.3.4	应用分组	95
4.3.5	应用信息收集、测量及分析	96
4.3.6	应用位置	100
4.4	计算设备需求	100
4.4.1	计算设备类型	101
4.4.2	计算设备性能特性	102
4.4.3	设备位置	103
4.5	网络需求	104
4.5.1	现有网络和迁移	104
4.5.2	网络管理需求	105
4.5.3	网络安全需求	106
4.5.4	网络冗余及灾难恢复需求	107
4.6	性能分析	108
4.6.1	RMA分析	108
4.6.2	延迟分析	111
4.6.3	容量分析	113
4.6.4	确定可预测和有保证的性能需求	114

4.7	需求的映射	115
	习题	116
<b>第5章</b>	<b>流分析</b>	<b>119</b>
5.1	流概念及特性	119
5.1.1	什么是流	119
5.1.2	流方向	120
5.1.3	流性能	122
5.1.4	流类型	122
5.2	流模式	124
5.2.1	对等模式	124
5.2.2	客户机/服务器模式	125
5.2.3	层次化客户机/服务器模式	127
5.2.4	分布式计算模式	128
5.3	流标识	131
5.3.1	标识一个特定的应用流	131
5.3.2	开发流模板	135
5.3.3	结合源和宿特性映射流	136
5.3.4	选择前N个应用流进行标识	138
5.4	流组合和流优先化	139
5.4.1	流组合	140
5.4.2	流优先化	142
5.4.3	流描述	143
5.5	流分析指导及实践	144
5.5.1	流分析步骤	144
5.5.2	流分析举例	144
	习题	151
<b>第6章</b>	<b>技术选择</b>	<b>153</b>
6.1	确定网络设计目标	153
6.2	开发技术评估标准	156
6.2.1	广播和非广播多路访问方法	157
6.2.2	技术功能和特性	159
6.2.3	性能升级路径	161

6.3	技术评估原则和约束	162	转换	213	
6.3.1	技术评估原则	162	8.2	编址原则及指导	215
6.3.2	技术评估约束	166	8.2.1	使用结构化编址模型	215
6.4	技术选择过程	167	8.2.2	地址的规划设计及管理	216
6.4.1	网络分段	167	8.2.3	编址的分布授权	216
6.4.2	黑箱方法	170	8.2.4	为终端系统使用动态 编址	217
6.4.3	技术选择	172	8.2.5	在内网环境中使用私有 地址	218
	习题	172	8.3	网络命名设计	219
<b>第7章</b>	<b>网络拓扑设计</b>	174	8.3.1	命名的分布授权	220
7.1	网络拓扑概述	174	8.3.2	分配名字的原则	220
7.1.1	拓扑结构分类	174	8.3.3	在IP环境中分配名字	221
7.1.2	拓扑结构与可靠性	178		习题	223
7.2	层次化网络拓扑设计	181	<b>第9章</b>	<b>路由设计</b>	225
7.2.1	平面结构的拓扑与层次化 拓扑	181	9.1	背景知识	225
7.2.2	网状拓扑与层次化网状 拓扑	182	9.1.1	路由基本原理	225
7.2.3	层次化设计的优势	184	9.1.2	路由算法	226
7.2.4	3层层次化模型	185	9.1.3	路由协议	227
7.2.5	层次化设计原则	187	9.2	路由机制	230
7.3	冗余网络拓扑设计	188	9.2.1	确定路由边界	230
7.3.1	冗余与网络性能	188	9.2.2	控制路由流	233
7.3.2	冗余设计	189	9.3	路由协议的选择和应用	236
7.4	模块化网络拓扑设计	190	9.3.1	选择路由协议的标准	236
7.4.1	企业组合网络模型	190	9.3.2	路由协议的应用	238
7.4.2	企业园区网拓扑设计	191		习题	243
7.4.3	企业边界拓扑设计	197	<b>第10章</b>	<b>网络性能保障设计</b>	244
	习题	201	10.1	性能保障设计目标	244
<b>第8章</b>	<b>网络编址和网络命名</b>	203	10.2	性能机制	245
8.1	编址机制	203	10.2.1	QoS	246
8.1.1	有类别的编址	203	10.2.2	优先化、流量管理、调度及 排队	248
8.1.2	子网划分	205	10.2.3	SLA	252
8.1.3	基于超网聚合的层次化 编址	211	10.2.4	策略	254
8.1.4	私有地址及网络地址		10.3	选择性能机制	254

819	10.3.1	评估及选择性能机制	255
819	10.3.2	制约关系	256
819		习题	257
<b>第 11 章 网络管理设计</b> 258			
819	11.1	背景知识	258
	11.1.1	组织模型	259
719	11.1.2	信息模型	260
	11.1.3	通信模型	262
819	11.1.4	功能模型	263
819	11.2	网络管理设计考虑	265
089	11.2.1	选择网络管理协议	265
089	11.2.2	确定带内/带外管理	
103		方式	269
899	11.2.3	明确网络管理结构	270
899	11.2.4	设计网络管理功能	273
899	11.2.5	测算网络管理流量	274
899	11.2.6	重新评估网络设计	278
899	11.3	网络管理建设规划	278
899	11.3.1	网络管理工具/产品	
009		分类	278
089	11.3.2	网络管理总体规划	280
889		习题	283
<b>第 12 章 网络安全设计</b> 284			
889	12.1	网络安全背景知识	284
889	12.1.1	网络安全的概念	284
819	12.1.2	安全框架	284
819	12.1.3	安全策略	285
819	12.1.4	安全服务和安全机制	288
819	12.2	网络安全设计	290
819	12.2.1	分析安全风险	290
819	12.2.2	制定安全策略	292
819	12.2.3	选择安全协议	293
819	12.2.4	设计安全机制	295
819	12.3	安全设计的影响	297
819	12.3.1	安全技术的目标	297

881	12.3.2	安全的网络拓扑	297
881		习题	298
<b>第 13 章 案例分析</b> 299			
881	13.1	广域网组网案例	299
881	13.1.1	背景及需求	299
081	13.1.2	网络拓扑设计	300
881	13.1.3	IP 地址分配	301
881	13.1.4	路由设计	302
881	13.2	城域网组网案例	303
881	13.2.1	背景及需求	303
881	13.2.2	网络拓扑设计	304
881	13.2.3	IP 地址规划及分配	307
881	13.2.4	路由设计	311
881	13.3	园区网组网案例	312
881	13.3.1	背景及需求	312
881	13.3.2	网络拓扑设计	314
881	13.3.3	IP 地址规划及分配	316
881	13.3.4	路由设计	318
881	13.4	网络管理设计案例	319
881	13.4.1	背景及需求	319
881	13.4.2	网络管理功能	319
881	13.4.3	网管系统解决方案	320
881	13.5	网络安全设计案例	324
881	13.5.1	背景及需求	324
881	13.5.2	安全设计原则	324
881	13.5.3	网络安全框架	325
881	13.5.4	安全解决方案	325
881	13.6	网络性能保障设计案例	327
881	13.6.1	背景及需求	327
881	13.6.2	性能保障解决方案	327
881	13.6.3	性能保障实现	328
881		习题	331
<b>参考文献</b> 332			

# 第1章

## 绪论

### 1.1 数据网的发展及演化

信息化是当今社会的一个重要特征，而信息化的基础是数据网。数据网是当今社会发展的重要推动力，它正在改变着人们的传统通信方式和通信工具：网络电话成为模拟电话的竞争对手；网络电视向传统模拟电视发起强大冲击；电子邮件有可能取代人们的手写书信。它正在改变传统社会的运行模式：网络与社会融合产生网络社会；网络与经济融合产生网络经济；网络与教育融合产生网上大学或远程教育；网络与投资融合产生网络投资。总之，网络的应用与发展已成为影响一个国家或地区政治、经济、军事、科学与文化发展的重要因素之一。

#### 1.1.1 数据网的发展历程

数据网的发展历史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紧密结合，相互促进，共同发展。从1946年世界上第一台电子数字计算机ENIAC诞生到现在的Internet空前发展，纵观数据网60多年的发展史，其演变过程大致可概括为4个阶段。

- 第1阶段：面向终端的计算机网络。
- 第2阶段：数据通信网络。
- 第3阶段：开放的标准化网络。
- 第4阶段：基于IP的新一代网络。

1.1.1 面向终端的计算机网络  
1946年，世界上第一台数字计算机问世，但当时计算机的数量非常少，且非常昂贵。由于当时的计算机大都采用批处理方式，用户使用计算机前首先要将程序和数据制成纸带或卡片，再送到计算中心进行处理。1954年，出现了一种被称为收发器(Transceiver)的终端，人们使用这种终端首次实现了将穿孔卡片上的数据通过电话线路发送到远地的计算机。此后，电传打字机

也作为远程终端和计算机相连,用户可以在远地的电传打字机上输入自己的程序,而计算机计算出来的结果也可以传送到远地的电传打字机上并打印出来,计算机网络的基本原型就这样诞生了。

由于当初的计算机是为批处理而设计的,因此当计算机和远程终端相连时,必须在计算机上增加一个接口,即线路控制器。随着远程终端数量的增加,为了避免一台计算机使用多个线路控制器,在 20 世纪 60 年代初期,出现了多重线路控制器(Multiple Line Controller)。它可以和多个远程终端相连接,构成面向终端的计算机通信网。有人将这种最简单的通信网称为第一代数据网络,该网络是以主机为中心的。

20 世纪 60 年代初期,美国航空公司投入使用的飞机票预订系统就是一种面向终端的远程联机系统,这个系统名为 SABRE,即 Semi-Automatic Business Research Environment,由一台计算机和遍布全美国的 2 000 多个终端组成。

在第一代数据网络中,人们利用通信线路、集中器、多路复用器和公用电话网等设备,将一台计算机与多台用户终端相连接,用户通过终端命令以交互的方式使用计算机系统,从而将单一计算机系统的各种资源分散到了每个用户手中。面向终端的计算机网络系统(分时系统)的成功,极大地刺激了用户使用计算机的热情,使计算机用户的数量迅速增加。但这种网络系统也存在着一些缺点:如果计算机的负荷较重,会导致系统响应时间过长,而且单机系统的可靠性一般较低,一旦计算机发生故障,将导致整个网络系统的瘫痪。

## 2. 数据通信网络

为了克服第一代数据网络的缺点,提高网络的可靠性和可用性,人们开始研究将多台计算机相互连接起来的方法。

人们首先想到能否借鉴电话系统中所采用的电路交换(Circuit Switching)思想。多年来,虽然电话交换机经过多次更新换代,从人工接续、步进制、纵横制直到现代的计算机程序控制,但是其本质始终未变,都是采用电路交换技术。从资源分配角度来看,电路交换是预先分配线路带宽的。用户在开始通话之前,先要通过拨号申请建立一条从发送端到接收端的物理通路。只有在此物理通路建立之后,双方才能通话。在通话过程中,用户始终占有从发送端到接收端的固定传输带宽。

电路交换本来是为电话通信而设计的,对于计算机网络来说,建立通路的呼叫过程太长,必须寻找新的适合于计算机通信的交换技术。1964 年 8 月,巴兰(Baran)在美国兰德(Rand)公司“论分布式通信”的研究报告中提到了存储转发的概念。1962—1965 年,美国国防部高级研究计划署(Advanced Research Projects Agency, ARPA)和英国的国家物理实验室(National Physics Laboratory, NPL)都在对新型的计算机通信技术进行研究。英国 NPL 的戴维斯(David)于 1966 年首次提出了“分组”(Packet)这一概念。到 1969 年 12 月,ARPA 的计算机分组交换网 ARPANET 投入运行。ARPANET 连接了美国加州大学洛杉矶分校、加州大学圣巴巴拉分校、斯坦福大学和犹他大学 4 个结点的计算机。ARPANET 的成功,标志着计算机网络的发展进入了一个新纪元。

ARPANET 的成功运行使计算机网络的概念发生了根本性的变化。早期的面向终端的计算机网络是以单个主机为中心的星状网,各终端通过电话网共享主机的硬件和软件资源。但分组交换网则以通信子网为中心,主机和终端都处在网络的边缘。主机和终端构成了用户资源子网。用户不仅共享通信子网的资源,而且还可共享用户资源子网的丰富硬件和软件资源。这种以资源子网为中心的计算机网络通常被称为第二代数据网络。

在第二代数据网络中,多台计算机通过通信子网构成一个有机的整体,既分散又统一,从而使整个系统的性能大大提高;原来单一主机的负载可以分散到全网的各个机器上,使得网络系统的响应速度加快;而且在这种系统中,单机故障也不会导致整个网络系统的全面瘫痪。

在网络中,相互通信的计算机必须高度协调工作,而这种“协调”是相当复杂的。为了降低网络设计的复杂性,早在当初设计 ARPANET 时就有专家提出了层次模型。分层设计方法可以将庞大而复杂的问题转化为若干较小且易于处理的子问题。1974 年 IBM 公司宣布了它研制的系统网络体系结构 SNA(System Network Architecture),它是按照分层的方法制定的。DEC 公司也在 20 世纪 70 年代末开发了自己的网络体系结构——数字网络体系结构(Digital Network Architecture,DNA)

### 3. 开放的标准化网络

有了网络体系结构,一个公司所生产的各种机器和网络设备就可以非常容易被连接起来。但由于各个公司的网络体系结构是各不相同的,因而不同公司之间的网络不能互连互通。针对上述情况,国际标准化组织(International Organization for Standardization,ISO)于 1977 年设立专门的机构研究解决上述问题,并于不久后提出了一个使各种计算机能够互连的标准框架——开放式系统互连参考模型(Open System Interconnection/Reference Model,OSI/RM),简称 OSI。OSI 模型是一个开放体系结构,它规定将网络分为 7 层,并规定每层的功能。OSI 参考模型的出现,意味着数据网络发展到第 3 代。参照 OSI 参考模型,先后出现和发展了多种网络技术,如 20 世纪 70 年代后期的 X.25 网络,80 年代出现的帧中继网络及 90 年代的 ATM 网络、Internet 等。

### 4. 基于 IP 的新一代网络

20 世纪 90 年代以来,相继进入了局域网(LAN)、广域网(WAN)和城域网(MAN)并起和互连的计算机网络时代。在企业内部,基于 IP 协议构建 Intranet(企业内网),Intranet 再通过安全访问机制连接到 Internet 上,发展成为基于 IP 协议的全球互连网络。Internet 是指全球范围内的计算机系统连网。可以说它是世界上最大的计算机网络,是一个将全球成千上万的计算机网络连接起来而形成的全球性计算机网络系统。它使得全球连网的计算机之间可以交换信息或共享资源。

目前世界上已有 150 多个国家和地区接入 Internet,Internet 上拥有不计其数的网络资源,用户可以从 Internet 上获得所需的信息。Internet 在我国的发展也非常迅速,已覆盖了 30 个省市的 200 多个城市以及 240 多所大专院校。

随着网络通信的发展,加上 Internet 自身具有的巨大经济潜力和美好前景,相信 Internet 将对推动世界经济、社会、科学和文化的发展起到不可估量的作用。

微电子技术和大规模集成电路技术、光通信技术和计算机技术的不断发展为网络技术的发展提供了有力的支持;而网络应用正迅速朝着高速化、实时化、智能化、集成化和多媒体化的方向不断深入,新型应用向计算机网络提出了挑战,以 IP 为核心的新一代网络正在形成和发展。

### 1.1.2 数据网发展的驱动力

#### 1. 技术驱动网络的发展

技术作为网络发展的一个驱动力体现为多种形式,包括满足网络高速性、实现网络的灵活性、提高网络效率、支持多种流量类型和支持全新的应用形式等。例如,光传输、光通信及光网络技术的发展促进了高速网络的发展,先后出现了 SONET/SDH 光传输网络、波分复用 WDM、密集波分复用 DWDM 网络甚至全光网络。从电路交换到包交换、从大块包交换到小粒度固定长度信元交换等交换技术的发展推动了灵活的数据网络的发展,先后出现了 X.25 包交换网络、帧中继网络和 ATM 网络等,其中 ATM 网络支持多种流量类型和灵活的多业务数据传输。随着高性能数字传输技术的发展,网络的底层传输可靠性大大增强,使得数据传输和网络交换协议得以简化,同时由于网络应用端系统的处理能力不断增强,很多差错控制、流控制及安全等功能可以由位于通信端系统的传输层以上实体执行。因此,网络交换技术越来越简单高效。例如,帧中继网络比 X.25 网络具有更高的执行效率和性能,IP 网络的网络层功能也很简单,具有较高的效率。另外,网络上的服务质量(QoS)保障技术得到不断发展,以适应和支持语音、视频等全新网络应用,例如,ATM 网络技术是针对多业务数据传输而设计的网络,有完善的 QoS 机制对多种类型的应用提供相应级别的服务质量保障。IP 技术原本不提供服务质量保障设施,只是尽力传递、交付数据包。但近年来为满足 IP 网络之上各种应用的需求,基于 IP 的服务质量保障技术不断发展,出现了 IntServ(Integrated Service)、DiffServ(Differentiated Service)、多协议标签交换 MPLS(Multiple Protocol Label Switch)等 QoS 技术。

理解网络技术的应用前景及用户选择该技术的短期/长期利益,必须首先理解技术演化规律。

#### (1) 网络技术演化的 S 曲线

如果将随时间发展变化的技术成熟度演化过程展示在平面坐标系上,则技术演化呈现 S 曲线的变化规律,如图 1.1 所示。图中水平方向表示时间,垂直方向表示技术的成熟度(或市场占有率)。图中示例了帧中继(FR)网络、ATM 网络和 ISDN 三种网络技术的 S 曲线。

例如,FR 网络于 1990 年开始进入市场,在 1993—1995 年间,市场占有率以每年大于 200% 的速度增长,1996 年后市场逐渐趋于饱和,平稳发展。帧中继的发展促进了灵活地根据需要租用带宽的数据业务的开展。从图 1.1 中还可以看出,ATM 局域网应用比 ISDN 广域网应用要早。有些网络技术有可能在进入上升应用期之前就夭折而退出市场。

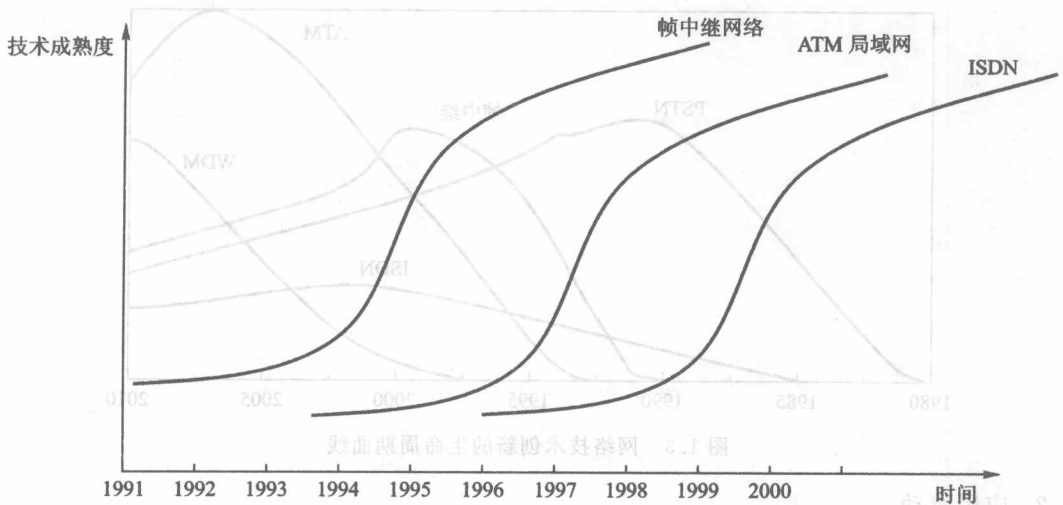


图 1.1 技术演化的 S 曲线

(2) 网络产品市场生命周期曲线

网络技术逐渐成熟后,其网络产品在进入市场后被市场接受的程度随时间变化的生命周期呈现“钟”形曲线的变化规律,如图 1.2 所示。从图中可以看出,任何一种网络产品在市场上都要经历进入、发展壮大和退出期。图 1.3 展示了几种网络技术的生命周期曲线,其中电路交换网在帧中继之前,帧中继在 ATM 之前,而波分复用 WDM 将提供新一代数据传输服务。

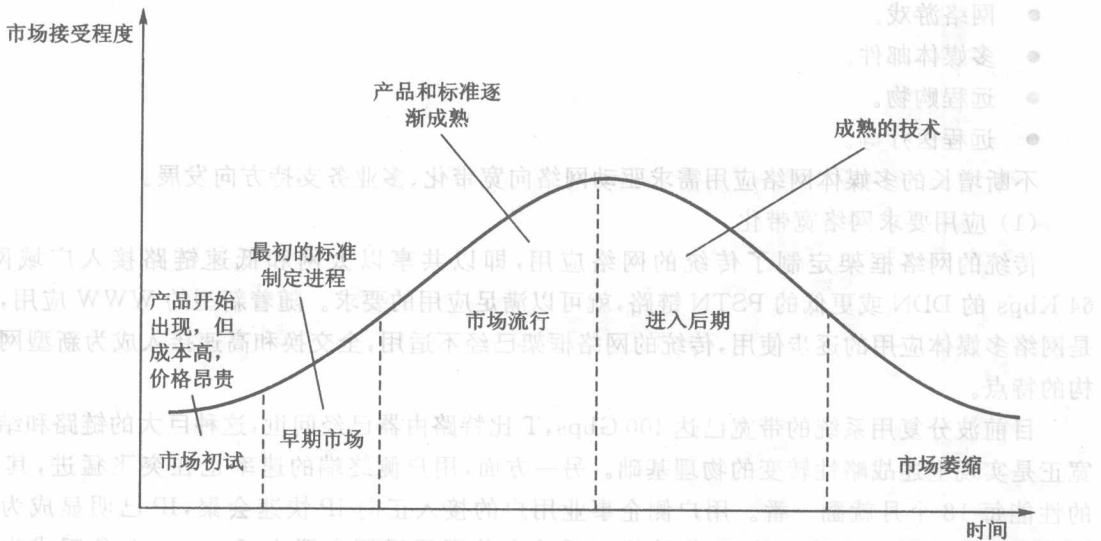


图 1.2 网络产品走向市场的生命周期

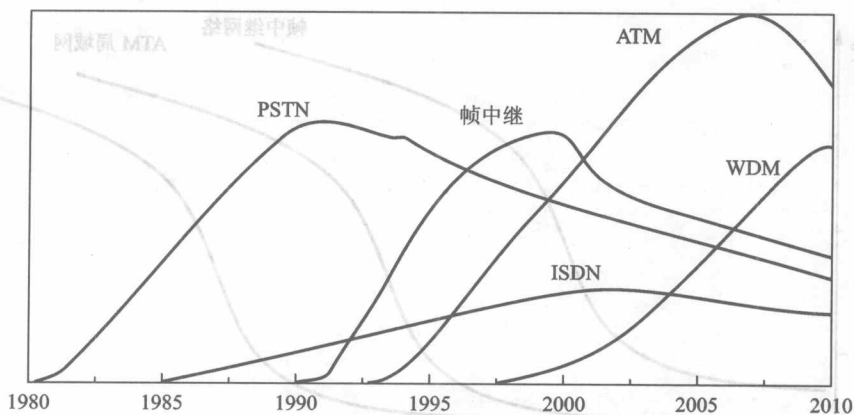


图 1.3 网络技术创新的生命周期曲线

## 2. 应用驱动

网络应用的需求是推动网络技术发展的主要动力。Internet 的发展正在改变着人们的生活方式和行为方式,除传统的以文本传输为主的网络应用外,多媒体网络应用迅速增长,例如:

- IP 电话。
- 视频点播。
- 视频在线播放。
- 远程医疗。
- 视频会议。
- 网络游戏。
- 多媒体邮件。
- 远程购物。
- 远程医疗等。

不断增长的多媒体网络应用需求驱动网络向宽带化、多业务支持方向发展。

### (1) 应用要求网络宽带化

传统的网络框架定制了传统的网络应用,即以共享以太网和低速链路接入广域网,如 64 Kbps 的 DDN 或更低 PSTN 链路,就可以满足应用的要求。随着新型的 WWW 应用,特别是网络多媒体应用的逐步使用,传统的网络框架已经不适用,全交换和高速接入成为新型网络结构的特点。

目前波分复用系统的带宽已达 400 Gbps, T 比特路由器已经问世,这种巨大的链路和结点带宽正是实现上述战略性转变的物理基础。另一方面,用户侧终端的速率也在突飞猛进,其 CPU 的性能每 18 个月就翻一番。用户侧企业用户的接入正向 IP 快速会聚, IP 已明显成为主导通信协议。这种用户接入的 IP 化趋势也反映在普通居民用户群中, Internet 业务正成为普通居民用户日益重要的接入业务,从电子邮件到 Web 浏览乃至视频业务,带宽需求以指数级速度

增长。

随着骨干网带宽的大幅度提升和普通用户对网络带宽要求的急剧增长,宽带接入已成为发展的重点。早期的基于电路模式的窄带接入网因为带宽窄、电路调度不灵活、功能受到限制,不能满足高速因特网接入和宽带多媒体业务接入的需要。现在接入网在 FTTC(光纤到路边)、FTTO(光纤到办公室)、FTTH(光纤到家)的基础上正在向支持宽带业务、支持分组模式并具有一定智能的方向演进。在演进过程中,以光纤为主配合 xDSL、Cable Modem 和基于以太网的宽带接入技术将扮演重要角色。此外,以 LMDS(Local Multipoint Distribution Services)为代表的宽带无线接入技术也开始进入商用,显示出极好的发展前途。

## (2) 应用要求网络提供有保证的服务

多媒体应用不仅要求宽带化的网络支持,而且还要求网络技术提供服务质量保证支持,保证多媒体网络应用具有足够高的带宽,确保多媒体信息流传输的实时性、连续性和可靠性。例如,按照一般的估计,通过多媒体网络传输压缩的数字图像信号要求有 2~15 Mbps 以上的速率(MPEG1/2),传输 CD 音质的声音信号要求有 1 Mbps 以上的传输速率。为了获得真实的现场感,语音和图像的延时都要求小于 0.25 s,静止的图像要求少于 1 s。另外,传输的多媒体信息在时空上都是相互约束、相互关联的,多媒体通信系统必须正确反应它们之间的这种约束关系,例如,保证声音与图像的同步。

传统的 IP 网络主要针对一些传统的应用,没有考虑到多媒体应用的实时性和大数据量的要求。传统的 IP 网只提供“尽力而为”服务,为了适应多媒体网络的发展需要,人们正在加紧研究并推广支持服务质量保证的宽带网络技术。

有保证的服务可以在现在的 IP 分组网上进行资源预留并结合准入控制等机制来获得,目前这正是网络研究的热点,技术还没有完全成熟。已经有一些公司推出了基于 RSVP 协议进行资源预留以获得不同类别的服务(Class of Service, CoS)。

另一种方法是通过在电路交换网上获得有保证的服务质量,例如,通过 ISDN 专线或 PSTN 专线获得固定的专用信道,或通过 ATM 网络进行资源预留等。ATM 出现的主要目标是实现宽带 ISDN,把音频、视频和数据业务集成到一个网络上。因此,从协议的设计上就充分考虑了多媒体应用的需求,从协议机制上对多媒体应用提供了很好的支持。现有的多媒体应用产品很多都是基于 ATM 技术或相似的技术。首先,ATM 可以为多媒体应用预留资源以提供有保证的服务;其次,ATM 本身具有组播支持能力,不需要增加另外的协议。

## (3) 应用对网络传输服务模式的要求

网络应用除对网络有带宽和服务质量要求外,还要求不同的网络传输服务模式。传输服务模式是指数据的分发方式,包括单播(Unicast)和组播(Multicast)两种模式。由于多媒体应用的特殊性,很多多媒体应用,如视频会议、视频在线播放等应用,是在一个或多个群组中进行,所以要求以多点通信为基础的组播通信模式。目前,IP 组播技术正在得到进一步的研究和推广,它主要应用在传统的 IP 分组网上。ATM 的组播也是一个重要内容,ATM 的信令控制已经可以采用组播技术,而数据分发的组播技术还没有成熟。