

TCP/IP 网络原理与技术

周明天 汪文勇 编著

清华大学出版社

内 容 提 要

始于美国国防部为其 ARPANET 广域网开发的 TCP/IP 网络体系结构和协议标准是近年来计算机网络研究与应用的热点技术,以它为基础组建的 Internet 已成为目前国际上规模最大的计算机网络系统。在我国, TCP/IP 也越来越受到广泛关注并得以多层次推广。

本书深入讨论了 TCP/IP 的原理,包括 TCP/IP 所涉及的各种物理网络技术, TCP/IP 的体系结构以及 TCP/IP 各层的主要协议。其中着重讨论网间网层、传输层和应用层的原理和协议,包括网间网层的 IP 协议, ICMP 协议, IGMP 协议以及寻径协议 EGP(族)和 IGP,传输层的 TCP 协议和 UDP 协议,应用层的 BOOTP 协议, FTP 协议, NFS 协议族, SMTP 协议和 TELNET 协议等。书中还特别讨论了 TCP/IP 的应用程序编程界面: socket 机制,以及应用程序之间相互作用的客户-服务器模型。全书最后给出了整个 TCP/IP 协议族中各协议之间的依赖关系,并讨论了贯穿 TCP/IP 的层次结构思想,最后一章简单介绍 TCP/IP 的发展动向。

全书内容大致根据协议分层结构、按照自底向上的顺序组织。

本书体系完整,深入浅出文字流畅,可用作计算机网络教学的参考教材,也可供有关技术培训及工程技术人员参考。

(京)新登字 158 号

TCP/IP 网络原理与技术

周明天 汪文勇 编著

清华大学出版社出版

北京 清华园

印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

开本: 787× 1092 1/16 印张: 16.5 字数: 382 千字

1993 年 12 月第 1 版 1993 年 12 月第 1 次印刷

印数: 00001—10000

ISBN 7-302-01427-2/TP · 554

定价: 12.00 元

前 言

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 是 70 年代中期美国国防部(DOD)为其 ARPANET 广域网(即现在的 DARPA)开发的网络体系结构和协议标准,以它为基础组建的 Internet 是目前国际上规模最大的计算机网间网,到 1991 年底世界上已有 26 个国家的 5 千多个网络连入 Internet,其中包含了数千个组织的 30 万台主机,用户数以百万计。令人瞩目的事实是:

1. TCP/IP 虽不是国际标准,但却是用户可获得的“既成事实”(de facto)的标准,它不是某个厂商专有的。

2. TCP/IP 装机范围广,从个人计算机直到巨型机。

3. TCP/IP 既可用于局域网(LAN),也可用于广域网(WAN)。

4. 目前,TCP/IP 不仅用于 DARPA 广域网,而且被世界上众多著名的局域网(基于以太网、令牌环网、令牌总线网、光纤网、剑桥环网等的局域网)和广域网(CSNET, DDN, NSFNET, MILNET 等)所采纳,其使用范围遍及政府部门、军事机构、大学、研究所、工矿企业和金融商业等。在美国,国防部、国家科学基金会(NFS)、国家航空航天局(NASA)、能源部(DOE)、卫生与人类服务局(HHS)等重要部门的主干网都连入了 Internet。

5. 电信通信网(如 X.25 公用数据网)、分组无线网(PRN)、PC 机系列的 Novell Netware 网以及网络数据库(如 Oracle)等,均提供了 TCP/IP 接口。

6. 倡导并着手建立开放系统环境的国际组织和著名计算机厂家,如 IEEE P1003 委员会, X/OPEN 的 XPG, UNIX 国际(UI), 开放系统基金会(OSF)和 IBM, DEC, HP, SUN 微系统公司等,它们所制定的,分为操作系统层次、高层网络软件层次和人机界面层次的分布网络系统抑或是基于 TCP/IP 协议,抑或是提供了 TCP/IP 接口。

由此可见, TCP/IP 的地位及其重要性是毋庸置疑的。但是,人们自然会产生如下疑虑:ISO/OSI 已颁布了与之相应的国际标准 ISO 8073(TP4)和 ISO 8473,那么 TCP/IP 的前景如何?我们认为,依托于网间网 Internet 的 TCP/IP,将随着形势的发展而得到更大的发展,在未来十年保持其青春和活力。这是因为:

1. 投资者(建网机构及用户)不会轻易地放弃在 TCP/IP 网上“既成事实”的上亿美元的投资。

2. 协议和服务的国际标准固然起到了良好的规范和导向作用,但它们的具体实施,却要受到新的政策、新的应用、计算机和通信领域的新技术及网络和站点的增加这四大因

素的制约;此外,要实现一个遵循国际标准轮廓的高性能软件,其一致性测试和实际可靠运行的检验也还尚须时日。而 TCP/IP 经过多年实践检验,已相当成熟。

3. ISO/OSI 在制定相应层次的标准时,主要参考了 Internet 的 TCP/IP 协议集,ISO 8073(TP4)与 TCP 的框架相同,只是其内部细节有较大差异;而 ISO 8473 则与 IP 几乎完全相同。

随着技术的进步和用户需求的改变, TCP/IP 也在不断地发展和完善,在 1991 年的海湾战争中,美国新近投入运行的国防数据网络(DDN)即是一例(DDN 是一个基于 TCP/IP 的网络,借助它可实现美军各军兵种间的话音、图形、图像和数据的传输,以及收发电子邮件)。对待国际标准化,Internet 最高负责机构 IAB 的策略是:兼容与过渡——一方面在已有协议和服务的基础上,参照国际标准,增加新的协议和服务,扩展其功能;另一方面是当国际标准提供了与 TCP/IP 一样的互操作性(Interoperability)时,Internet 将把 TCP/IP 纳入这种新的标准。这一策略,已被美国联邦政府和国防部所承诺,并记载于其开放系统轮廓(Open System Profile)和美国国防部开发的 TP4 版本的文档内。

当今世界正处于信息时代,计算机和通信网络是这一时代所谓“信息基础设施”(Information Infrastructure)。为了实现全球性的信息沟通和资源共享,走开放系统(open system)的道路已是大势所趋,而实现开放系统环境正是人们翘首以待的愿望。历二十多年之沧桑,积近二十年实际运行之考验,UNIX 与 TCP/IP 的有机结合,使 UNIX+ TCP/IP 成为当今计算机环境中“既成事实”的开放系统平台。计算机通信网络技术日新月异的发展,无疑将会赋予开放系统以新的血液和肌肤,而体现其灵魂的 UNIX 及 TCP/IP 中的思想和哲理,必有着巨大的生命力。

我们编写此书的目的不仅在于单纯地讨论 TCP/IP 技术本身。作为最早出现的计算机网络体系结构和协议标准之一, TCP/IP 有许多概念、方法和思想沿用至今,并成为现代计算机网络技术中的精髓,指导着计算机网络的设计实现和发展。读者在阅读本书的过程中,除掌握 TCP/IP 的技术细节外,若能对这些精髓有所体会,是作者的最大愿望。

本书是作者多年从事研究生教学工作的总结,编写中融入了我研究所承担的“七五”国家重点科技攻关项目的有关成果,也参考了国外同类的著名教科书。其中第 1, 4, 7, 8, 11 ~ 16, 21, 22 章由周明天编写,其余部分由汪文勇编写。由于作者学识有限,偏颇和不当之处在所难免,敬请读者不吝赐教。

本书的编写出版过程中,电子科技大学微机所的谢娟同志、四川省科技促进发展研究中心的江闻红、王楠、颜希同志为书稿的录入、整理和校改付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢。

编著者

1993 年 6 月 · 于成都, 电子科技大学微机研究所

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 计算机网络的结构	1
1.3 计算机网络的基本概念	3
1.3.1 拓扑结构	3
1.3.2 数据交换方式	4
1.3.3 服务类型	5
1.3.4 连接和无连接的层次问题	6
1.3.5 端到端与点到点	8
1.4 TCP/IP 的历史	9
1.5 小结	10
第二章 低层网络技术	11
2.1 引言	11
2.2 计算机网络分类	11
2.3 局域网技术	12
2.3.1 CSMA/CD 技术	12
2.3.2 令牌环技术	16
2.3.3 令牌总线技术	20
2.4 广域网技术	21
2.4.1 ARPANET	21
2.4.2 NSFNET	23
2.5 其他网络技术	26
2.5.1 X25NET	26
2.5.2 Cypress 网	26
2.5.3 拨号 IP	27
2.5.4 分组无线网	27
2.6 小结	27
第三章 网间网体系结构与协议分层	28
3.1 引言	28
3.2 网间网体系结构	28
3.2.1 关于异种网的讨论	28
3.2.2 协议转换问题	29
3.2.3 IP 网关	31

3.3	网间网特点	32
3.3.1	网间网设计要求	32
3.3.2	网间网用户视图	32
3.3.3	网络对等性	32
3.4	网间网协议分层	33
3.4.1	为什么协议要分层	33
3.4.2	协议分层的概念模式	34
3.4.3	协议分层的原则	35
3.4.4	TCP/IP 分层模式	36
3.4.5	TCP/IP 与 X.25	38
3.5	TCP/IP 模型中的两大边界	40
3.5.1	协议地址边界	40
3.5.2	操作系统边界	40
3.6	分层的弊端	40
3.7	TCP/IP 与 ISO/OSI	41
3.8	小结	42
第四章	网间网地址	43
4.1	引言	43
4.2	什么是地址	43
4.3	物理地址与网间网地址	44
4.4	网间网地址结构	44
4.5	三类主要的网间网地址	45
4.6	网间网地址的本质	45
4.7	网间网特殊地址形式	46
4.7.1	广播地址	46
4.7.2	有限广播	46
4.7.3	“0”地址	46
4.7.4	回送地址	46
4.8	网间网编址方式的缺陷	47
4.9	网间网地址的直观表示法	47
4.10	网间网地址管理	48
4.11	小结	48
第五章	地址解析	49
5.1	引言	49
5.2	从网间网地址到物理地址	49
5.2.1	表格方式	49
5.2.2	直接映射	49
5.3	动态联编	50
5.3.1	ARP 原理	50
5.3.2	ARP 效率	50
5.3.3	ARP 改进	50

5.3.4	ARP 协议的位置	51
5.4	从物理地址到网间网地址	51
5.5	RARP 协议	51
5.6	RARP 服务器	52
5.7	地址解析报文	53
5.7.1	ARP 报文处理	53
5.7.2	RARP 报文处理	54
5.7.3	ARP/RARP 报文的封装	54
5.8	小结	54
第六章	域名系统	55
6.1	引言	55
6.2	两种命名机制	55
6.2.1	无层次命名机制	55
6.2.2	层次型命名机制	56
6.3	层次型名字管理	57
6.4	TCP/IP 网间网域名	57
6.4.1	域	57
6.4.2	Internet 域名	58
6.4.3	域名与对象类型	59
6.5	域名解析	60
6.5.1	TCP/IP 名字服务器	60
6.5.2	域名解析	62
6.5.3	逆向域名解析	63
6.5.4	域名解析的效率	63
6.6	域服务器报文	65
6.6.1	域服务器报文格式	65
6.6.2	域名表达	67
6.7	两点补充	68
6.7.1	域名缩写	68
6.7.2	域名系统实现中的复杂性	69
6.8	小结	69
第七章	IP 协议: 无连接数据报传送	70
7.1	引言	70
7.2	IP 层的特点及地位	70
7.2.1	IP 层的特点	70
7.2.2	IP 层的地位	70
7.3	TCP/IP 可靠性思想	71
7.4	IP 数据报	71
7.4.1	IP 数据报格式	72
7.4.2	版本与协议类型	72
7.4.3	长度	72

7.4.4	服务类型与优先权	73
7.4.5	数据报传输	73
7.4.6	数据报延迟控制	77
7.4.7	头校验和	77
7.4.8	地址	78
7.5	IP 数据报选项	78
7.5.1	源路径	79
7.5.2	路径记录	79
7.5.3	时戳	79
7.6	小结	80
第八章	IP 协议: 差错与控制报文(ICMP)	81
8.1	引言	81
8.2	ICMP 的起源与推广	81
8.3	ICMP 协议与 IP 协议的关系	82
8.4	ICMP 报文格式	82
8.5	ICMP 差错报文	83
8.5.1	信宿不可到达报告	84
8.5.2	超时报告	86
8.5.3	参数出错报告	86
8.6	ICMP 控制报文	86
8.6.1	拥塞控制与源抑制报文	86
8.6.2	路径控制与重定向报文	87
8.7	ICMP 请求/ 应答报文对	88
8.7.1	回应请求与应答	89
8.7.2	时戳请求与应答	89
8.7.3	地址模请求与应答	90
8.8	小结	90
第九章	IP 协议: 数据报寻径	91
9.1	引言	91
9.2	寻径概念	91
9.3	IP 寻径与网间网体系结构	92
9.3.1	层次结构与 IP 寻径	92
9.3.2	拓扑结构与 IP 寻径	93
9.4	寻径表	94
9.4.1	IP 地址与寻径表	95
9.4.2	寻径表中的特殊表目	96
9.4.3	总的寻径算法	97
9.5	IP 层对出/ 入数据报的处理	97
9.5.1	IP 软件对外出数据报的处理	97
9.5.2	IP 软件对进入数据报的处理	98
9.6	小结	98

第十章	Internet 路径建立与刷新: 体系结构与寻径表	99
10.1	引言	99
10.2	寻径表的内容	99
10.3	Internet 的核心结构	100
10.4	Internet 的对等主干结构	102
10.5	Internet 中的自治系统	104
10.5.1	额外驿站问题	104
10.5.2	自治系统概念	105
10.6	默认路径及其意义	106
10.7	Internet 体系结构总结	107
10.8	小结	108
第十一章	Internet 路径建立与刷新: 寻径协议	109
11.1	引言	109
11.2	基本的路径广播算法	110
11.2.1	向量-距离算法	110
11.2.2	链接-状态算法	112
11.3	网关-网关协议	114
11.3.1	网关-网关协议(GGP)	114
11.4	外部网关协议(EGP)	116
11.4.1	EGP 概念	116
11.4.2	EGP 报文格式	116
11.4.3	EGP 第三方限制	120
11.5	内部网关协议族	121
11.5.1	寻径信息协议(RIP)	122
11.5.2	HELLO 协议	127
11.6	gated: 一个寻径协议实现的例子	127
11.7	小结	128
第十二章	传输层原理	130
12.1	引言	130
12.2	计算机网络中的服务与服务质量问题	130
12.2.1	服务与 QOS	130
12.2.2	通信子网服务与传输层	131
12.2.3	传输层服务	132
12.3	传输层要解决的问题	134
12.3.1	传输层连接管理	134
12.3.2	滑动窗口与流控	139
12.3.3	传输层的其他问题	140
12.4	小结	140
第十三章	传输层协议: TCP 与 UDP	142
13.1	引言	142
13.2	传输层端口	142

13.3	用户数据报协议 UDP	144
13.4	UDP 报文及其封装	144
13.5	UDP 校验和与伪头标	145
13.6	关于 UDP 端口的进一步讨论	146
13.7	传输控制协议 TCP	146
13.8	TCP 可靠性的获得	147
13.9	确认与超时重传	147
13.10	关于 TCP 时间片处理的进一步讨论	148
13.11	TCP 的拥塞控制	149
13.12	TCP 连接建立与撤除	150
13.13	push 操作	150
13.14	TCP 段格式	151
13.15	小结	152
第十四章 引导协议: BOOTP		153
14.1	引言	153
14.2	BOOTP 原理	153
14.3	BOOTP 的报文格式	154
14.4	BOOTP 报文的传输	157
14.5	启动配置文件	157
14.6	小结	158
第十五章 IP 网络地址复用		159
15.1	引言	159
15.2	产生网络地址复用技术的动因	159
15.3	子网编址	160
15.3.1	子网编址模式	160
15.3.2	子网编址的灵活性	162
15.3.3	子网模及其表示	162
15.3.4	子网寻径	163
15.3.5	子网寻径规则	165
15.3.6	子网编址的缺点	166
15.4	透明网关	166
15.5	代理 ARP	168
15.6	小结	169
第十六章 多目编址与 IGMP 协议		171
16.1	引言	171
16.2	IP 传送方式的扩展	171
16.3	多目传送的硬件支持	172
16.4	多目传送及其地址	173
16.4.1	多目组	173
16.4.2	多目地址	173
16.4.3	IP 多目地址到以太网地址的映射	174

16.4.4	多目网关	174
16.5	IP 协议对多目传送的处理	175
16.6	网间网组管理协议 IGMP	176
16.6.1	IGMP 实现	176
16.6.2	组员状态表	177
16.6.3	IGMP 报文格式	177
16.7	多目地址分配	178
16.8	多目地址路径信息广播	178
16.9	小结	178
第十七章	网间网应用编程接口及应用程序间相互作用模型	180
17.1	引言	180
17.2	网间网进程通信	181
17.3	网间网进程通信要解决的问题	181
17.4	相互作用的客户-服务器模型	183
17.4.1	为什么选择客户-服务器模型	183
17.4.2	其他相互作用模式	184
17.4.3	服务器实现的复杂性	185
17.5	4BSD UNIX 进程通信: socket 界面	186
17.5.1	socket 原理	186
17.5.2	socket 系统调用	187
17.6	客户-服务器模型的 socket 实现框架	195
17.6.1	客户-服务器模型时序图	195
17.6.2	服务器框架	195
17.6.3	服务器 socket 地址的确定	197
17.7	关于 socket 的进一步讨论	198
17.8	小结	199
第十八章	应用之一: 远程登录(TELNET, rlogin)	200
18.1	引言	200
18.2	远程登录概念的提出	200
18.3	TELNET 协议	201
18.3.1	TELNET 原理	202
18.3.2	网络虚终端(NVT) 定义	204
18.3.3	带外信号传输	207
18.3.4	TELNET 选项	208
18.4	rlogin	209
18.5	小结	210
第十九章	应用之二: 文件传输与访问(FTP, TFTP 和 NFS)	211
19.1	引言	211
19.2	文件传输与访问	211
19.3	TCP/IP 文件传输协议 FTP	212
19.3.1	FTP 的用户视图	212

19.3.2	FTP 的客户-服务器模型	212
19.3.3	FTP 连接建立	213
19.3.4	FTP 的访问控制	214
19.4	关于文件传输的进一步讨论	214
19.5	文件访问协议族 NFS/XDR/RPC	215
19.5.1	NFS 原理与实现	215
19.5.2	XDR 与 RPC 协议	216
19.6	关于文件传输访问的进一步讨论	217
19.7	单纯文件传输协议 TFTP	217
19.8	小结	218
第二十章	应用之三: 电子邮件	219
20.1	引言	219
20.2	电子邮件系统体系结构	219
20.2.1	ISO/OSI 电子邮件系统	220
20.2.2	TCP/IP 电子邮件系统	221
20.2.3	Internet 与电子邮件	222
20.3	TCP/IP 电子邮件地址	223
20.4	邮箱别名扩展	223
20.5	TCP/IP 电子邮件标准	224
20.5.1	TCP/IP 电子邮件文电格式	225
20.5.2	TCP/IP 电子邮件传输协议	225
20.6	小结	226
第二十一章	TCP/IP 协议族依赖关系	227
21.1	引言	227
21.2	TCP/IP 协议族及其依赖关系	227
21.3	网络操作系统示例	230
21.4	小结	230
第二十二章	层次结构思想	232
22.1	引言	232
22.2	什么是层次结构	232
22.3	层次结构的意义	233
22.4	TCP/IP 中的层次结构	234
22.4.1	体系结构	234
22.4.2	编址与寻径	234
22.4.3	域名系统	235
22.5	层次结构的三种抽象模型	235
22.5.1	统一模型	235
22.5.2	分布模型	236
22.5.3	隐藏模型	236
22.6	层次结构与互操作性	237
22.7	小结	238

第二十三章 TCP/IP 技术发展动向.....	239
23.1 引言.....	239
23.2 TCP/IP 发展的动因.....	240
23.3 与负载和规模增长有关的问题.....	241
23.3.1 寻径问题.....	241
23.3.2 用户查询.....	242
23.3.3 服务查询.....	243
23.3.4 网络管理.....	243
23.4 新应用.....	243
23.4.1 语音邮件.....	244
23.4.2 图形邮件.....	244
23.4.3 视频邮件.....	244
23.4.4 远程会议系统.....	245
23.5 新技术.....	245
23.6 其他动向.....	246
23.6.1 安全性.....	246
23.6.2 自动配置.....	247
23.6.3 可靠交易.....	247
23.7 小结.....	248
参考文献.....	249

第一章 绪 论

1.1 引 言

本章简要回顾计算机网络的一般结构和若干重要概念,并介绍 TCP/IP 的发展历史。我们的回顾并不包含计算机网络的全部知识,仅涉及其中跟本书内容密切相关的部分。读者在阅读本章乃至本书之前,应当具备计算机网络的基础知识。

1.2 计算机网络的结构

所谓计算机网络,是指互联起来的独立自主的计算机的集合。“互联”意味着相互连接的两台计算机能够互相交换信息。连接是物理的,由硬件实现。连接介质(有时也叫作信息传输介质)可以是双绞线、同轴电缆或光纤等“有线”物质,也可以是激光、微波或卫星信道等“无线”物质。信息交换具有物理和逻辑的双重性质。在网络结构的最低层(物理层),信息交换体现为直接相连的两台机器之间无结构的比特流(bit stream)传输;物理层以上各层,所交换的信息便有了一定的逻辑结构,越往上逻辑结构越复杂,越接近用户真正需要的形式。信息交换在网络的低层由硬件实现,而到了高层则由软件实现。在上述定义中之所以强调入网计算机“独立自主”是为了将计算机网络与主机加多台设备构成的主从式系统区别开。如果一台计算机带多台终端和打印机,这种系统通常称之为多用户系统,而不是计算机网络;由一台主控机加多台从属机构成的系统,是多机系统,也不是网络。

按照网络的地域覆盖范围,人们把计算机网络分为局域网(LAN, Local Area Network)、都市网(MAN, Metropolitan Area Network)、广域网(WAN, Wide Area Network)和网间网(internet, 又叫互联远程网)。关于这些网络的技术特点,我们将在第二章中作介绍。

概念上,无论哪一种网络,我们总可以将它划分为两部分:主机(host)和子网(subnet)。如图 1.1 所示。

主机是组成网络的独立自主的计算机,用于运行用户程序(即应用程序),有些文献中把它称为末端系统 ES(End System)。子网,严格地说,应当叫作通信子网(communication subnet),是将入网主机连接起来的实体。子网的任务是在入网主机之间传送分组(packet),以提供通信服务,正如电话网络将话音从发送方传送至接收方一样。把网络中纯通信部分的子网与应用部分的主机分离开,这是网络层次结构(hierarchy)思想的重要体现,使得对整个网络的分析与设计大为简化。

上面介绍的计算机网络概念结构来自于 ARPANET。ARPANET 是最早出现的重要网络之一,也是产生 TCP/IP 技术并最早应用 TCP/IP 技术的网络。ARPANET 关于计算机网络的概念划分有一个明显的缺陷:没有把网络结构与协议层次结合起来。这样,容易造成一种误会,似乎在计算机网络中,主机不参与任何通信操作。这显然是不符合事实的。

图 1.1 计算机网络的概念结构

为了克服上述缺点,我们不妨从另一个角度讨论这个问题。我们知道,计算机网络是计算机与通信技术相结合的产物,它的最主要的目的在于

提供不同计算机和用户之间的资源共享。换言之,在计算机网络中通信只是一种手段。在这个意义上,我们可以把计算机网络划分为通信服务提供者和通信服务使用者两部分。对应于网络协议层次,通信服务提供者包括网络层及以下各层,通信服务使用者包括传输层及以上各层(尤其是应用层)。

为了便于讨论,我们将上述通信子网的概念加以拓展,将它等同于通信服务提供者(从通信子网的定义出发,这是完全合理的),那么关于主机的概念就必须加以修改,因为在计算机网络中,任何一台主机都包括相应网络协议的全部层次,即包括整个通信子网的一部分。于是主机也被划分为通信服务提供者 and 使用者两部分。

那么在物理上,通信子网是由哪些部件组成的呢?不同类型的网络,其通信子网的组成各不相同。最简单的是局域网,其子网由传输介质(又叫传输线、线路、信道等等)和主机网络接口板组成。如以太网(Ethernet)中,传输介质可以是标准以太网电缆、双绞线、宽带电缆等,网络接口板可以是 3Com 公司 3C50x 系列以太网卡或 Novell 公司 NE2000 以太网卡等等。

而在广域网中,通信子网除包括传输介质和主机网络接口板外,还包括一组转发部件。转发部件是一种专用计算机,连接两条或更多的传输线,负责主机之间的数据转发,相当于电话系统中的程控交换机。描述转发部件的术语很多,如常见的分组交换节点 PSN(Packet Switch Node)、中间系统 IS(Intermediate System)等。ARPANET 把转发部件叫作接口报文处理机 IMP(Interface Message Processor)。在 TCP/IP 网间网中,转发部件相当于网关(gateway,参见第三章)。关于转发部件的存在价值,我们不妨反过来想象一下,假如一个大型电话网络中没有交换机(或接线员),会怎么样呢?

综上所述,我们得出关于计算机网络的更为合理的结构模型,如图 1.2 所示。

由图 1.2 可以看出,网络接口板一般覆盖网络层以下的协议,即包括链路层和物理层。而转发部件只负责数据转发,不包括高层协议,它是一个完全彻底的通信服务提供者。后面关于网关的讨论将进一步揭示这一概念。

最后补充一点,在资源共享这一意义上,有人将计算机网络划分为资源子网(resource subnet)和通信子网两部分。资源子网对应于图 1.2 中的通信服务提供者,因为所有的共享资源都是由上层软件(主要是应用软件)管理的。

图 1.2 对应于协议分层的网络结构
(a)局域网 (b)广域网

1.3 计算机网络的基本概念

结合本书的内容,下面讨论几个基本概念。在本书的以后部分,这些概念将经常出现,在此加以回顾和澄清,将有助于读者理解全书的内容。

1.3.1 拓扑结构

计算机网络的拓扑结构,说到底是指信道分布的拓扑结构。常见的拓扑结构有五种:总线型、星型、环型、树型和网状。这是读者很熟悉的。不同的拓扑结构其信道访问技术、性能(包括各种负载下的延迟、吞吐率、可靠性以及信道利用率等)、设备开销等各不相同,分别适用于不同的场合。

尽管不同的信道拓扑结构差别很明显,但总起来可以分为两类:点到点(point-to-pointing)信道和广播(broadcasting)信道。所谓点到点信道指网络中每两台主机、两台 IMP 之间或主机与 IMP 之间都存在一条物理信道,机器(包括主机和 IMP)沿某信道发送的数据确定无疑地只有信道另一端的唯一一台机器收到。在这种点到点的拓扑结构中,没有信道竞争,几乎不存在信道访问控制问题。绝大多数广域网都采用点到点拓扑结构,尤其是网状结构。网状结构是典型的点到点拓扑,除此之外,星型结构也是点到点的(每台主机跟交换中心之间的信道是点到点的)。某些环网,尤其是广域网环网,也是点到点的。

点到点信道无疑可能浪费一些信道带宽,广域网之所以都采用点到点信道,正是用带

宽来换取信道访问控制的简化。在长距离信道上一旦发生信道访问冲突,控制起来是相当麻烦和浪费的。

在广播型拓扑结构中,所有主机共享一条信道,某主机发出的数据,所有其他主机都能收到。在广播信道中,由于信道共享而引起信道访问冲突,因此信道访问控制是首先必须解决的问题。广播型结构主要用于局域网,不同的局域网技术可以说是不同的信道访问控制技术。例如 IEEE 802 系列局域网标准,主要的篇幅就用在描述如何竞争信道使用权、如何检测冲突、如何避免冲突、如何进行冲突恢复等等。

广播型网的典型代表是总线网,局域环网也是广播型的。局域网的线路距离短、传输延迟小,信道访问控制相对容易,因此它宁愿以额外的控制开销换取信道利用率,从而降低整个网络的成本。

在所有五种拓扑结构中,树形结构以其独特的特点而与众不同:它具有层次结构。后面将看到,TCP/IP 网间网,尤其是著名的 Internet,就采用树形结构,以对应于网间网的管理层次和寻径(routing)层次。位于树形结构不同层次的节点,其地位是不同的。比如在 Internet 中,树根对应于最高层的 ARPANET 主干或 NSFNET 主干,这是一个贯穿全美的广域网,中间节点对应于自治系统(autonomous system,一组自治管理的网络),叶节点对应于最低层的局域网。不同层次的网络在管理、信息交换等问题上都是不平等的。关于 Internet 及树形结构我们将在后面有关章节详细讨论。

在树形结构中,假如每一节点是一台机器,则上下层节点之间的信道是点到点的,因此树形网也可以是点到点网络。

关于网络的拓扑结构,我们最后想讨论的是多路复用问题。设想一个全国性的广域网,这种网络往往采用点到点信道,那么是否存在点到点信道的两台机器之间一定拥有一条独立的物理线路?回答是否定的,因为这样线路本身以及铺设线路的开销都是巨大的。典型的作法是贯穿全国铺设一条大容量物理线路,将所有机器(或入网站点)连在一起。然后,给每一对拥有一条信道的机器分配一个独立的频带,总的效果构成点到点网状信道。这样做不仅节省了开销,而且使信道具有可配置性(configurability)。一旦某信道通信量太少,则可以取消之;一旦无直接信道的两点之间传输量增大,则可以在其间增加一条信道。关于这种广域网信道频分复用技术,本书第二章将进一步谈到。

1.3.2 数据交换方式

交换(switch)的概念最早来自于电话系统。当用户发出电话呼叫时,电话系统中的交换机(telephone switch)在呼叫者电话与接收者电话之间寻找一条客观存在的物理通路。一旦找到物理通路,通话便建立起来,然后两端电话拥有该专用线路,直至通话结束。这里所谓“交换”体现在交换设备内部。当交换机从一条输入线接收到呼叫请求时,它首先根据被呼叫者的号码寻找一条合适的空闲输出线,然后通过硬件开关(比如电磁继电器)将二者连通。假如一次电话呼叫要经过若干交换机,则所有交换机都要完成同样的工作。电话系统的交换方式叫作线路交换(circuit switching)。线路交换的外部表现是通信两端一旦接通,便拥有一条实际的物理线路,双方独占此线路;线路交换的实质是在交换设备内部,硬件开关将输入线与输出线直接连通。