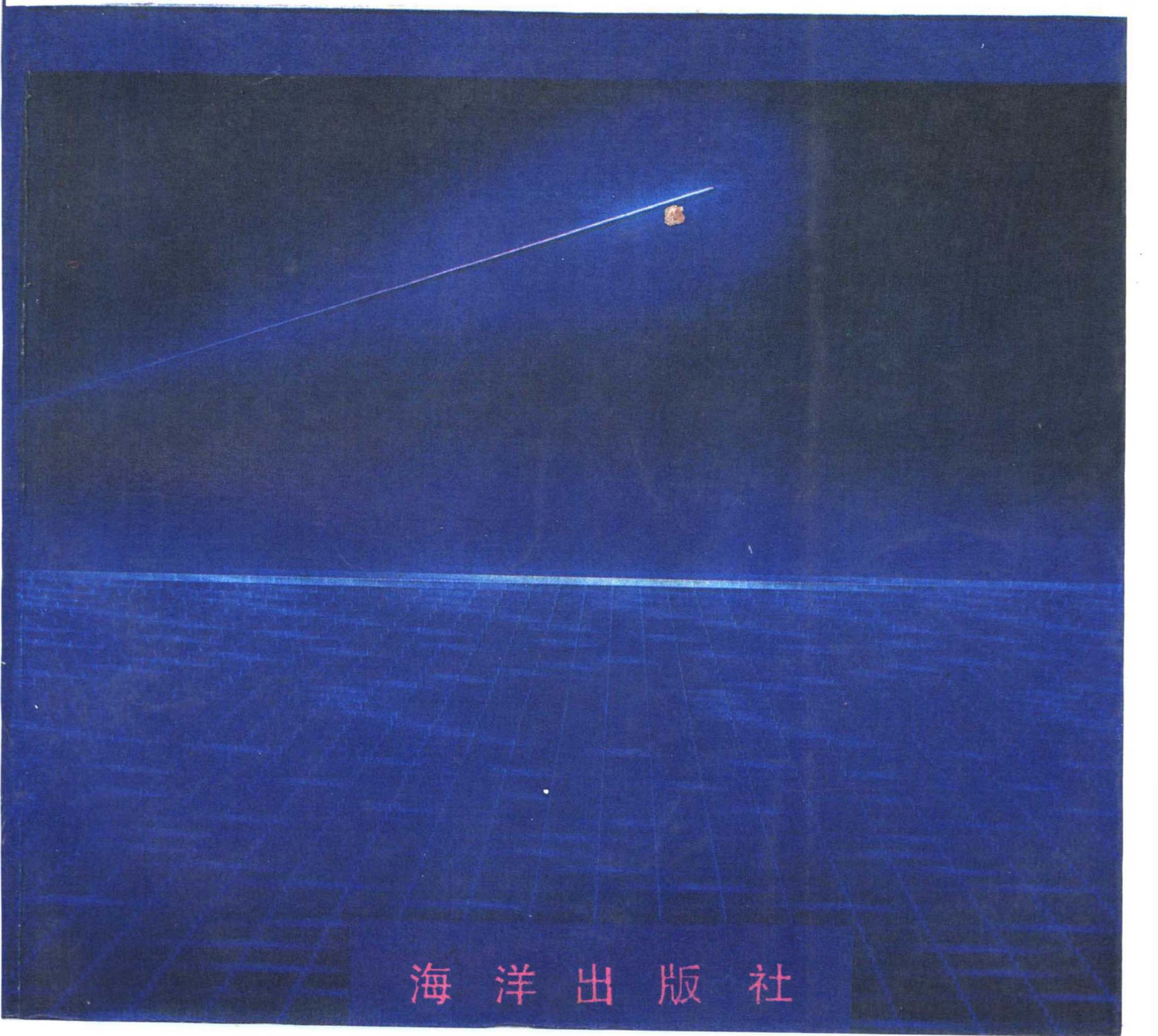


北京希望电脑公司计算机网络技术丛书

计算机网络教程

梁振军 梁 波 编译



海洋出版社

北京希望电脑公司计算机网络技术丛书

计算机网络教程

梁振军 梁 波 编译

海洋出版社

内容简介

本书以 OSI 7 层协议为线索,从低层到高层全面叙述了计算机网络理论和当前网络技术发展的状况。本书共有 10 章,包括物理层、介质访问子层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层等方面的内容。每章后又附有大量练习题,以供读者加深理解,深入研究之用。

本书可作为大学本科生或研究生教学参考资料或教材,也可供从事计算机网络研究的科技人员参考。

欲购本书的用户可直接与北京 8721 信箱联系,邮编 100080,电话 7562329。

责任编辑: 闫世尊

北京希望电脑公司计算机网络技术丛书

计算机网络教程

编译 梁振军 梁波

审校: 刘莉蕾

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街 1 号)

通县兰空印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 36.5 字数 760 千字

1991 年 6 月第一版 1991 年 6 月第一次印刷

印数: 1-3000 册 定价: 19.00 元

ISBN 7-5027-2010-3/TP.26

前 言

目前在我国计算机网络技术书籍并不很丰富,以 OSI 参考模型 7 层协议这一叙述计算机网络技术极好线索为脉络的计算机网络技术书籍则更少见。本书是根据 1990 年出版的塔宁伯姆写的《计算机网络教程》等书编译的。

一个时期以来,从各方面得到的消息说明,似乎 OSI 的真正实现用不了多久,因而从事计算机网络工作的人,尤其是从事大型计算机网络的人必须考虑向 OSI 过渡的问题。但目前 OSI 软硬产品很不丰富,几乎不能直接建成一个真正符合 OSI 标准的网络,至少目前是如此。这两方面的矛盾令人困惑。本书作者从实际情况出发,经过分析,提出以后很可能是几种协议网络并存。这是非常有见地而又有实际意义的见解,应当得到足够的重视。

能跟 OSI 做一番较量的协议族,首推 TCP/IP 协议族。本书中以相当多的笔墨叙述了有关这种协议族知识。在 TCP/IP 协议方面,编作者向读者推荐一本有较大影响的书。恰好,译者已将此书译出,并于 1991 年 7 月由海洋出版社出版,书名为《计算机互联网络技术与 TCP/IP 协议》。这两本书,内容相互补充。

仅仅几年以前,计算机网络的设计有些像一种魔术。每个计算机制造厂家都有自己体系结构,任何两者都不兼容。如今情况全变了。实际上,整个计算机工业现在都已赞同用一系列国际标准描述网络体系结构。这些标准便是著名的 OSI 参考模型。在不久将来,几乎所有其它网络体系结构都将消失,一个厂家的计算机轻而易举地便可与另一厂家的计算机进行通信,从而网络的应用会更加普遍。

本书把 OSI 参考模型作为一种框架。这个模型是以朱利叶斯·凯撒大帝最先提出的“分而治之”的原则为基础的。按这种思想就是把网络设计成若干连续的层,每层都以前一层为基础,把对整个模型的研究简化为对模型各个部分的研究,整个研究过程也就变得易于控制了。

本书围绕 OSI 的 7 层结构安排全部内容第一章介绍。计算机网络的一般概念和具体分层协议。第二到第六章讨论较低层,从物理层到传输层。从整体而言,这些层是传输服务的提供者。第二章覆盖物理介质、模拟与数字传送、电话系统及 ISDN。第三章讨论 MAC 子层和局域网络,包括 IEEE802 标准。第四章讨论数据链路层及其协议:在不可靠线路上进行可靠数据发送的算法,第五章讨论网络层,主要是路由选择、拥挤控制、及网络层,最后,第六章研究传输层,重点介绍联接管理与端到端协议。

最后三章讨论高层,即传输服务的使用者。第七章讨论会话层,这一层关系到提供可靠服务,哪怕是在面对不可靠硬件情况下。第八章讨论表示层,包括 OSI 抽象语法表示法、数据压缩及密码术。第九章介绍某些应用层问题,包括文件传送、电子邮件、虚拟终端、远程作业录入及目录服务。第十章是刊物一览表,最后是词汇索引。

排队理论是分析计算机网时使用的一种基本数学工具,因而附在附录中,供不熟悉这种理论的读者阅读。

本书可作为计算机科学、电气工程及有关学科的本科生或研究生低学年的课本。要求的预备知识仅仅是一般熟悉计算机系统和编程。尽管知道一点基本微积分和概率理论在有的地

方是用得上的，但也无关紧要，某些例子是以 Pascal 语言形式给出的，所以知道一些这种语言或某种类似的语言显然是有益处的。全书内容对于一个学期课程可能太多了，要根据学生的水平而定。我曾做过认真尝试，把每一章相对独立起来。这样，导师便可以选择一些重点，例如选择数据通信和低层，或者软件与高层做为重点。

本书也可供对联网感兴趣的计算机专业人员使用。对这方面人员，可以限制所用材料数量，用大量实际例子取代许多篇幅的抽象推论或证明。因此，即使程序员或专门管理人员不是网络专家也应当能够读懂本书中的大部分内容。

编译中梁波负责第五到第八章，其余部分由梁振军负责。并由梁振军统校全书。

在编写本过程中主要参考书籍有塔宁伯姆《计算机网络》(1990 年 5 月)；CCITT《数据通信网：业务和设施，接口》(1990 年北京)；梁振军、梁波译《计算机互联网络技术与 TCP/IP 协议》(1991 年 7 月海洋出版社)。

编译者

1991 年 6 月

于北京·梭卢

目录

第一章 绪论	1
1.1 使用计算机网络	2
1.1.1 网络目标	2
1.1.2 网络应用	4
1.2 网络结构	5
1.3 网络体系结构	8
1.3.1 协议层次	8
1.3.2 分层设计问题	11
1.4 OSI 参考模型	12
1.4.1 物理层	13
1.4.2 数据链路层	14
1.4.3 网络层	14
1.4.4 传输层	15
1.4.5 会话层	15
1.4.6 表示层	16
1.4.7 应用层	16
1.4.8 在 OSI 模型中的数据传送	17
1.5 服务	18
1.5.1 OSI 术语	18
1.5.2 面向联接的服务与无联接服务	19
1.5.3 服务原语	21
1.5.4 服务对协议的关系	23
1.6 网络标准化	23
1.6.1 电信界主要机构	24
1.6.2 标准界主要机构	24
1.6.3 OSI 模型标准化讨论	25
1.7 网络举例	27
1.7.1 公共网络	27
1.7.2 ARPANET	28
1.7.3 MAP 和 TOP	30
1.7.4 USENET	33
1.7.5 CSNET	34
1.7.6 BITNET	35
1.7.7 SNA	36
1.8 本书的轮廓	39
1.9 小结	40

练习题	40
第二章 物理层	43
2.1 数据通信理论基础	43
2.1.1 傅里叶分析	43
2.1.2 有限带宽信号	44
2.1.3 信道的最大数据率	46
2.2 传输介质	47
2.2.1 磁介质	47
2.2.2 双绞线	48
2.2.3 基带同轴电缆	48
2.2.4 宽带同轴电缆	50
2.2.5 光缆	52
2.2.6 视距信号传输	55
2.2.7 通信卫星	55
2.3 模拟传输	58
2.3.1 电话系统	58
2.3.2 调制解调器	61
2.3.3 RS-232-C 与 RS-449	64
2.4 数字传输	67
2.4.1 脉码调制	67
2.4.2 编码系统	68
2.4.3 X.21 数字接口	70
2.5 传输与交换	72
2.5.1 频分与时分多路复用	72
2.5.2 电路交换	73
2.5.3 报文分组交换	75
2.5.4 混合交换	76
2.6 ISDN 综合业务数字网	76
2.6.1 ISDN 业务	77
2.6.2 ISDN 的演变	79
2.6.3 ISDN 系统体系结构	81
2.6.4 数字 PBX	84
2.6.5 ISDN 接口	87
2.6.6 ISDN 信令: SS7 号信令	91
2.6.7 ISDN 面面观	92
2.7 终端处理	93
2.7.1 查询	94
2.7.2 多路复用与集中	95
2.8 小结	96

练习题	96
第三章 介质访问子层	99
3.1 局域网络与城域网络	99
3.1.1 在 LAN 和 MAN 中信道静态分配	100
3.1.2 LAN 和 MAN 中的信道动态分配	101
3.2 ALOHA 协议	102
3.2.1 纯 ALOHA 与时隙 ALOHA	102
3.2.2 有限用户 ALOHA	106
3.3 局域网络协议	108
3.3.1 持久的与非持久的 CSMA	108
3.3.2 带有冲突避免的 CSMA	109
3.3.3 无冲突协议	111
3.3.4 BRAP--带改变优先顺序的广播识别	112
3.3.5 MLMA——多级多访问协议	113
3.3.6 二进制倒数计数	114
3.3.7 有限争夺协议	115
3.3.8 自适应树步进协议	116
3.3.9 壶球协议	117
3.4 局域网络 IEEE 标准 802	120
3.4.1 IEEE 标准 802.3 和以太网	120
3.4.2 IEEE 标准 802.4: 令牌总线	126
3.4.2 IEEE 标准 802.5: 令牌环	131
3.4.4 局域网络比较	138
3.5 光纤网络	140
3.5.1 FDDI	141
3.5.2 光纤网 II	143
3.5.3 S/NET	144
3.5.4 FASTNET 与 EXPRESSNET	145
3.5.5 DATAKIT	147
3.6 卫星网络	149
3.6.1 SPADE 系统	149
3.6.2 再谈 ALOHA	150
3.6.3 预约 ALOHA	152
3.7 报文分组无线电网络	154
3.7.1 夏威夷大学 ALOHA 系统	155
3.7.2 报文分组无线电网络设计问题	155
3.8 MAC 子层举例	160
3.8.1 公共网络的 MAC 子层	160
3.8.2 ARPANET 中的 MAC 子层	160

3.8.3 在 MAP 与 TOP 中的 MAC 子层	160
3.8.4 USENET 中的 MAC 子层	160
3.9 小结	161
练习题	163
 第四章 数据链路层	 167
4.1 数据链路层设计问题	167
4.1.1 对网络层提供的服务	167
4.1.2 组帧	169
4.1.3 差错控制	172
4.1.4 流量控制	173
4.1.5 链路管理	173
4.2 差错检测与校正	173
4.2.1 差错校正码	174
4.2.2 差错检测码	176
4.3 基本数据链路协议	180
4.3.1 无约束的单工协议	183
4.3.2 单工停止并等待协议	185
4.3.3 噪音信道单工协议	185
4.4 滑动窗口协议	189
4.4.1 1 位滑动窗口协议	191
4.4.2 后退 n 协议	193
4.4.3 选择性重复协议	199
4.5 协议性能	203
4.5.1 停止并等待协议性能	203
4.5.2 滑动窗口协议性能	205
4.6 协议技术规范与验证	208
4.6.1 有限状态机模型	208
4.6.2 Estelle 协议规范语言	212
4.6.3 Petri 网模型	214
4.7 数据链路层举例	215
4.7.1 公共网络中的数据链路层	215
4.7.2 ARPANET 中的数据链路层	218
4.7.3 MAP 和 TOP 的数据链路层	223
4.7.4 USENET 数据链路层	226
4.8 小结	227
练习题	228
 第五章 网络层	 231
5.1 网络层设计要点	231

5.1.1	提供给传输层的服务	231
5.1.2	网络层内部组织	238
5.1.3	路由选择	242
5.1.4	拥挤	244
5.1.5	网络互连	245
5.2	路由选择算法	246
5.2.1	最短路径路由选择	246
5.2.2	多路径路由选择	248
5.2.3	集中路由选择	250
5.2.4	独立路由选择	252
5.2.5	扩散式路由选择	254
5.2.6	分布式路由选择	255
5.2.7	最优路由选择	257
5.2.8	流基路由选择	258
5.2.9	分层路由选择	261
5.2.10	广播路由选择	262
5.3	拥挤控制算法	264
5.3.1	缓冲器的预分配	264
5.3.2	丢弃报文分组	265
5.3.3	等值计算拥挤控制	267
5.3.4	流量控制	267
5.3.5	抑制报文分组	268
5.3.6	死锁	268
5.4	网络互联	273
5.4.1	OSI 与网络互联	274
5.4.2	网桥	277
5.4.3	网关	287
5.4.4	面向联接的网关和非联接网关的比较	294
5.4.5	网桥和网关软件	295
5.5	网络层举例	298
5.5.1	公用网络中的网络层	299
5.5.2	在 ARPANET 中的网络层(IP)	306
5.5.3	在 MAP 和 TOP 中的网络层	310
5.5.4	在 USENET 中的网络层	310
5.6	小结	312
	练习题	312
	第六章 传输层	316
6.1	传输层设计问题	316
6.1.1	提供给会话层的服务	316

6.1.2	服务质量	318
6.1.3	OSI 传输层原语	320
6.1.4	传输协议	325
6.1.5	传输协议的元素	328
6.2	联接管理	331
6.2.1	编址	331
6.2.2	建立联接	334
6.2.3	拆除联接	339
6.2.4	基于计时器的联接管理	343
6.2.5	流量控制和缓冲	344
6.2.6	多路复用	348
6.2.7	故障恢复	349
6.3	在 x.25 之上简单传输协议	351
6.3.1	服务原语举例	351
6.3.2	传输实体举例	353
6.3.3	有限状态机举例	359
6.4	传输层举例	362
6.4.1	公用网络中的传输层	362
6.4.2	ARPANET 中的传输层 (TCP)	367
6.4.3	在 MAP 和 TOP 中的传输层	373
6.4.4	在 USENET 中的传输层	373
6.5	小结	373
	练习题	374
第七章 会话层		377
7.1	会话层设计问题	377
7.1.1	提供给表示层的服务	377
7.1.2	数据交换	379
7.1.3	对话管理	380
7.1.4	同步	381
7.1.5	活动管理	383
7.1.6	异常报告	385
7.1.7	OSI 会话服务原语	386
7.2	远距离过程调用	389
7.2.1	客户机与服务器模式	389
7.2.2	远距离过程调用的实现	391
7.2.3	远程过程调用语义	394
7.2.4	孤儿进程	396
7.2.5	讨论 RPC	397
7.3	会话层举例	398

7.3.1	公用网络中的会话层	398
7.3.2	在 ARPANET 中的会话层	401
7.3.3	在 MAP 和 TOP 中的会话层	401
7.3.4	在 USENET 中的会话层	401
7.4	小结	401
	练习题	402
第八章 表示层		403
8.1	表示层设计问题	403
8.1.1	数据表达	403
8.1.2	数据压缩	404
8.1.3	网络安全与保密	404
8.1.4	OSI 表示服务原语	405
8.2	抽象语法表示法 1(ASN.1)	406
8.2.1	数据结构	406
8.2.2	抽象语法	411
8.2.3	传输语法	417
8.3	数据压缩技术	420
8.3.1	同等可能有限符号集合的编码	420
8.3.2	频度依赖编码	420
8.3.3	上下文依赖编码	423
8.4	密码术	424
8.4.1	传统密码术	424
8.4.2	数据加密标准	431
8.4.3	密钥分配问题	437
8.4.4	公开密钥密码术	440
8.4.5	确认和数字签名	442
8.5	表示层举例	446
8.5.1	在公用网络中的表示层	446
8.5.2	ARPANET 中的表示层	448
8.5.3	在 MAP 和 TOP 中的表示层	448
8.5.4	在 USENET 中的传输层	448
8.6	小结	449
	练习题	449
第九章 应用层		452
9.1	应用层设计问题	452
9.1.1	文件传送、访问、与管理	452
9.1.2	电子邮件	453
9.1.3	虚拟终端	454

9.1.4	其它应用	454
9.1.5	OSI 服务单元--ACSE 和 CCR	455
9.2	文件传送、访问、与管理	457
9.2.1	文件服务器	457
9.2.2	并发控制	460
9.2.3	备份文件	462
9.2.4	实现问题	463
9.3	电子邮件	466
9.3.1	MOTIS 和 X.400 的结构与服务	467
9.3.2	用户代办	470
9.3.3	报文传送代办	473
9.4	虚拟终端	477
9.4.1	滚动式终端	477
9.4.2	页式终端	479
9.4.3	格式方式终端	481
9.5	其它应用	486
9.5.1	目录服务	486
9.5.2	作业传送与管理	488
9.5.3	图像的存储与传送	489
9.5.4	用户电视电报与信息传视	490
9.6	应用层举例	492
9.6.1	公共网络中的应用层	492
9.6.2	ARPANT 中的应用层	501
9.6.3	MAP 和 TOP 的应用层	506
9.6.4	USENET 中的应用层	510
9.7	小结	515
	练习题	515

第十章 阅读一览铺和书目 518

10.1	继续阅读建议	518
10.1.1	介绍和一般著作	518
10.1.2	物理层	519
10.1.3	介质访问控制子层	520
10.1.4	数据链路层	520
10.1.5	网络层	521
10.1.6	传输层	522
10.1.7	会话层	523
10.1.8	表示层	523
10.1.9	应用层	524

附录 A	525
A.1 排队系统	525
A.2 平衡中的 M/M/1 队列	527
A.3 M/M/1 队列网络	529
A.4 队列原理应用	530
A.4.1 终端集中器	530
A.4.2 专用与共享通道	531
A.4.3 令牌环	531
A.4.4 联接建立失败概率	532
索引	533
A	533
B	535
C	536
D	539
E	541
F	543
G	545
H	546
I	546
J	548
K	548
L	549
M	550
N	552
O	553
P	554
Q	558
R	559
S	561
T	564
U	567
V	568
X	569

第一章 绪论

在过去 3 个世纪，每个世纪都被一种技术所支配。18 世纪是巨大的机械系统伴随着工业革命的时代。19 世纪是蒸气机时代。在 20 世纪，关键技术是信息的搜集、处理与分布。其它方面的技术发展，我们已经看到安装在世界范围的电话网，发明了无线电和电视，计算机工业诞生，并空前迅速发展，以及通信卫星的发射。

随着向本世纪末靠近，这些领域迅速靠拢，搜集、传输、存储及处理信息的区别将迅速消失。散布在地理宽广范围内数百个办公室的机构，甚至在最边远的地方出现的事情，只要按一下按钮，就对当前的状况一目了然。随着我们搜集、处理及分布信息能力的增长，对更加复杂的信息处理的需求也会更加迅速增加。

尽管计算机工业其它工业（例如汽车工业和航空工业）相比还很年轻，但计算机却在很短时期内取得了引人注意的进步。在计算机出现的最初 20 年中，计算机系统是高度集中的，通常安装在一个大厅内。这类大厅常常有些玻璃墙，参观者透过玻璃看着里边的巨大的电子学奇迹而目瞪口呆。那时，中规模的公司或者大学可能拥有一台或两台计算机，而更大的机构至多有几台计算机。在 20 年内生产出比邮戳还小，能力却相当于上述计算机那么大的计算机，并且成百万台批量生产，这种想法纯属科学幻想。

计算机与通信的结合对计算机系统构成方式产生了深远影响。“计算中心”的概念，即用户带着他们的作业到大型计算机机房进行处理的概念将迅速变为过时的概念。这种模式至少有两个缺陷：一个是单台大型计算机完成所有工作，一个是用户把工作带给计算机而不是把计算机呈现给用户。

在完成同样的工作中，一台计算机为机构中所有计算需求提供服务，这种老模式将很快被大量分散的但互相连接的计算机所取代。这后一种系统就叫做**计算机网络**。这些网络的设计与分析便是本书的研究对象。

全书中我们将使用“计算机网络”这一术语，其含义是独立的计算机互相联接的集合体。两台计算机，如果它们可以交换信息，就说它互相联接起来了。联接不一定需要通过铜导线，激光、微波及通信卫星都可以用于联接于我们定义的具有明显主从关系的系统。如果一台计算机可以强行启动、停止或控制另一台计算机，这样的计算机便不是独立的。拥有一个控制单元和许多从机的系统不是计算机网络，具有远程卡读机、打印机和终端的一台大型计算机也不是计算机网络。

在文献中，计算机网络与分布式系统明显存在着混乱。根本的区别是在分布式系统中，存在的多台独立计算机对用户而言是透明的（即不可见的）。用户可以键入一个命令去运行一个程序，这个程序便运行起来。它让操作系统选择最好的处理机，找到所有输入文件并把这些文件传送给那个处理机，然后把结果放到相应的位置。

换句话说，分布式系统的用户不知道有多台处理机，倒像是一台虚拟单处理机。向处理机分配作业，向磁盘分配文件，文件在存储的地方与需要的地方之间的传输，以及所有其它系统功能都必须是自动的。

使用一个网络，用户要**明确**登录到一台机器上，**明确**远程提交作业。使**明确**传送文件，并且一般而言人工处理网络管理工作。使用分布系统时，什么也不需要明确去做，一切都不需要用户知道，而是由系统自动完成。

实际上，分布式系统是网络的一种特例，是其软件具有高度内聚性和透明性的网络。因此网络和分布式系统的不同取决于软件，尤其是操作系统，而不是取决于硬件。不过在这两者之间还有不少相同部分，例如分布式系统和计算机网络两者都要求文件传送。其区别在于是谁提出传送，是系统还是用户，尽管本书的基本目标是网络，但分布式系统中有许多课题也是很重要的。

1.1 使用计算机网络

在我们详细讨论技术问题以前，花一些时间指出人们为什么对计算机网络感兴趣，和如何使用计算机网络是值得的。

1.1.1 网络目标

许多机构实际上已经有许多计算机在运行中，通常彼此相距很远。例如，一个公司有许多工厂，每个工厂有一台计算机处理存货单，监视生产并发放本地工资。起初这些计算机的工作都是彼此分立进行的，但在某个时候管理者可能决定把这些计算机联接起来，使之能够收集整个公司的信息，并使这些信息相关。

用更一般的话来说，这就出现了**资源共享(resource sharing)**问题，其目标便是使所有程序、数据和设备对网上的每个人随时随地可用而不管这些资源和使用者实际位置如何。换句话说，起码的事实是一个用户虽与他的数据相距 1000km 之外，但这不应妨碍他像在本地一样使用数据。负荷分担是资源共享的另一方面。其宗旨简单说来便是企图打破“地理上的限制”(tyranny of geography)。

第二个目标是用可替代的资源来提供**高可靠性**。例如，所有文件都可以在两台或三台机器上备份，若其中之一不可用（因为硬件故障），其它备份仍可使用。此外，使用多个 CPU，若其中一个不能工作，其它 CPU 可使工作继续进行，当然性能会降低。显然，在硬件出问题的情况下，继续运行的能力对军用、银行、航空、交通控制及许多其它应用方面是特别重要的。

另一个目标是**省钱**。小计算机比大计算机有更好的性能价格比。大致说来，大型机比最快的单片微处理器快 10 倍，但成本却高 1000 倍。

这种不均衡性使得许多系统设计者用多台强有力的个人计算机建成系统，每个用户一台

计算机,把数据放在一台或多台可共享的文件服务器(file server)机器中。

这一目标导致同一建筑物中的许多计算机联成网络。这样的网络称做 LAN (局域网,local area network)。对应的是分布辽阔的 WAN(广域网络, wide area network),这种网络也称为远程网(long haul network)。

有一点很为近似,即随着工作负荷的增加,加上较多处理机就可使系统性能大大提高。在中心主机的情况下,当系统用满时就必须更换更大的主机。这通常要用更大的花费,并使用户产生更大的分化。

建立计算机网络还有一个目标是对技术要求不高。计算机网络可以在相距很远的人之间提供强有力的通信介质(communication medium)。彼此分开很远的两个或多个人使用网络共同写一分报告是一件很容易的事,一个作者通过在线方式对文件进行修改,其他人立刻就可以看到这种修改,而不用花儿天时间等待一封信。这样可以在相距很远的人们之间加速协作,这在以前是不可能的。使用网络进行远程运行,从而加强人与人之间的通信,业已证明,这比技术目标,例如改进可靠性本身更为重要。

处理机间距离	处理器所在范围	举例
0.1m	电路板	数据流机
1m	系统	多处理机
10m	屋子	局域网
100m	建筑物	局域网
1km	校园	局域网
10km	城市	远程网
100km	国家	远程网
1000km	洲	远程网间互联
10000km	全球	远程网间互联

图 1-1 处理机间互联按距离分类