

计 算 机 网 络

钱华林 编著

科 海 培 训 中 心

计 算 机 网 络

钱华林 编著

科海培训中心

1987年7月

编辑：科海培训中心教材部
发行：科海培训中心资料组
地址：北京2725信箱 科海
培训中心资料组
(北京海淀路332路黄
庄站旁)
印刷：河北省蔚县印刷厂

内 容 提 要

本书是一本介绍计算机网络概念、技术、分析和设计的教材。顺次介绍了计算机网络的种类、构形、网络体系的层次概念、网络协议，网络的经路、流控、差错恢复技术，包无线网络，局部网络，网络性能的分析以及由此获得的网络设计方法等知识。

本书的阅读对象为高等院校师生及计算机网络科技人员，也可用作计算机网络培训班的教材。

前 言

计算机网络是信息社会的显著标志，是迄今为止人类在信息处理和信息传播领域中的最新成就之一。随着技术和工艺的飞速发展，微处理机及通信设备的成本急剧下降，而功能却飞速上升。局部网络正大量出现在办公楼和工厂中；远程网络正把各个城市、整个国家甚至整个世界组织在一个完整的信息网络之中；网络中流通的信息，正由单纯的数据向综合业务发展；利用计算机网络把每个办公室、每个家庭与整个信息社会连在一起，已经不是遥远的事情了。

当前，办公室自动化，企业的远程控制与管理，各种数据、资料、文件的共享，在我国已开始提上日程。越来越多的计算机专业人员，通信专业人员，企业管理人员以及其它各类人员开始关心计算机网络，希望了解计算机网络的原理、概念，希望了解网络的各种技术，网络的分析和设计方法。本书就是为着这种需要而编写的。

在内容的编排上，力图由浅入深，先介绍网络的种类、构形，网络的层次概念，然后讨论网络各层次的协议，网络中使用的经路、流控、差错恢复等基本技术，并尽量对这些技术作出归类、评价。网络性能的分析始于包无线电网及局部网络，然后被使用于远程地面网络中的，在介绍这些网络时，要用到概率论和排队论的知识，故放在靠后部分介绍。

为便于理解，在分析时不得已要用到某些数学知识时，总是力图以浅显直观、自成系统的方式给出，使一般具有大

专程度的读者不必去查阅专门的数学书籍也能理解本书内容。每章后都列出了有关的参考文献，供读者进一步研究之用。

为使分析不致与实践脱离，在适当的分析之后，常以例子来介绍如何使用分析结果于设计实践中。

本书的阅读对象范围较广，自计算机网络分析人员，研究设计人员，高等院校的师生，直至一般对计算机网络有兴趣的计算机和通信方面的科技人员。不同的阅读对象可以跳过某些不同的章节。例如第一部分读者可以不读前两章，最后一类读者可以不读后两章。

感谢下列人员对作者获得知识和编写本书带来的好处：中国科学院计算技术研究所网络研究室主任马影琳，中德合作计算机网络专家组中方负责人林仲卯，英国佐治亚工学院教授、国标性刊物“计算机网络”主编恩斯劳，佐治亚工学院教授斯拉迈卡、海门及其它美国教授、研究生；西德夫朗霍夫学会信息与数据处理研究所的同行们，以及作者所在网络研究室的其它同事们。

由于工作忙，本书的绝大部分工作只能用业余时间完成，加之网络技术本身在飞速发展，使书中难免有错误及不完善之处，望读者指正。

钱华林

目 录

第一章 概论	(1)
§ 1 技术发展的简单回顾	(2)
§ 2 一个网络应用例子	(8)
§ 3 网络构形	(11)
§ 4 交换方式	(19)
§ 5 包交换网	(27)
参考文献	(34)
第二章 计算机网络体系	(36)
§ 1 网络体系与层次结构	(38)
§ 2 协议和接口	(44)
§ 3 功能分解	(50)
§ 4 协议的描述与证明	(54)
§ 5 网络体系实例	(62)
§ 5.1 SNA	(63)
§ 5.2 DNA	(66)
§ 5.3 DSE	(69)
§ 5.4 DCA	(71)
§ 6 OSI模型	(73)
参考文献	(81)
第三章 网络协议	(85)
§ 1 物理层	(86)
§ 2 链路层	(92)
§ 2.1 链路层协议的一般功能	(92)
§ 2.1.1 缓冲与重传方式	(95)

§ 2.1.2	窗口与编号	(99)
§ 2.2	数据链路层协议	(102)
§ 2.2.1	字符界定的数据链路层协议	(103)
§ 2.2.2	字符计数的数据链路层协议	(111)
§ 2.2.3	位模式界定的数据链路层协议	(117)
§ 2.2.4	链路层协议比较	(125)
§ 3	网络层	(127)
§ 3.1	逻辑通道, 虚呼叫, 永久虚电路, 数据报	(128)
§ 3.2	X.25第三级规程简介	(131)
§ 4	传输层协议	(136)
§ 4.1	传输层差错控制	(136)
§ 4.2	传输层编址	(140)
§ 4.3	网络互连	(143)
§ 5	会议层	(146)
§ 6	表示层	(147)
§ 7	应用层	(150)
	参考文献	(151)
第四章	经路	(154)
§ 1	概述	(154)
§ 2	经路算法的分类	(160)
§ 3	简单经路技术	(163)
§ 3.1	随机型	(163)
§ 3.2	扩散型	(164)

§ 3.3	固定经路法	(166)
§ 4	自适应经路算法	(169)
§ 4.1	自适应经路算法的原理	(169)
§ 4.2	孤立自适应经路算法	(172)
§ 4.3	分布式自适应经路法	(181)
§ 4.4	集中式自适应经路法	(192)
§ 4.5	混合式自适应经路法	(203)
§ 5	大型网络中的经路问题	(205)
§ 5.1	单一大型网络中的经路	(206)
§ 5.2	互连大型网络中的经路	(211)
	参考文献	(215)
第五章	流量控制与拥挤控制	(219)
§ 1	概述	(219)
§ 2	流控规程的层次及其种类	(224)
§ 3	相邻节点间的流量控制	(227)
§ 3.1	应答、窗口与重传	(227)
§ 3.2	缓冲区管理	(231)
§ 4	源节点与目的地节点间的流量控制	(236)
§ 4.1	规程描述	(237)
§ 4.2	窗口宽度的选择	(240)
§ 4.3	源节点与目的地节点间流控的例子	(243)
§ 5	主机与节点间的流量控制	(246)
§ 6	主机间的流量控制	(249)
§ 7	拥挤控制	(250)
	参考文献	(263)
第六章	包广播系统	(269)

§ 1	无线电通信	(271)
§ 2	信道分配	(277)
§ 3	ALOHA系统	(280)
§ 4	纯粹ALOHA	(283)
§ 5	分片ALOHA	(287)
§ 6	分片ALOHA系统的稳定性	(302)
§ 7	系统设计举例	(308)
§ 8	受控ALOHA系统	(312)
§ 9	予約ALOHA系统	(315)
§ 10	包无线电系统中的特殊问题	(320)
	参考文献	(325)
第七章	局部网络	(330)
§ 1	概述	(330)
§ 2	竞争总线网络	(336)
§ 2.1	收发器	(337)
§ 2.2	接口	(339)
§ 2.3	CSMA/CD网络协议	(345)
§ 2.4	Token总线网	(364)
§ 2.5	总线形网络的中继	(366)
§ 3	环形网络	(371)
§ 3.1	Token环	(375)
§ 3.2	分槽环	(379)
§ 3.3	寄存器插入环	(381)
§ 4	编址方法	(383)
	参考文献	(387)
第八章	差错控制	(391)
§ 1	信道状况及差错控制方法	(392)

§ 2	奇偶校验·····	(396)
§ 3	海明码·····	(403)
§ 4	代码的多项式表示·····	(409)
§ 5	循环码·····	(415)
§ 6	循环码的编码与译码·····	(420)
§ 7	循环码的检错能力·····	(428)
§ 8	CCITT的CRC校验码·····	(432)
	参考文献 ·····	(434)
第九章	拓扑设计 ·····	(437)
§ 1	必要的排队论知识·····	(439)
§ 2	容量分配策略·····	(447)
§ 3	容量分配策略的特性比较·····	(455)
§ 4	容量分配例子·····	(457)
	参考文献 ·····	(478)

第一章 概 论

计算机通信网络是计算机的数据处理，存储能力与通信系统相结合的产物，是人类社会的一种新的资源。虽然计算机技术与通信技术是应不同的需求而独立地发展起来的，但在技术高度发达的信息时代，它们的结合就不是偶然的了。在发达国家中，一半以上的劳动力都直接或间接地与信息的产生、加工、保存、传递、分发、使用等环节有关。据研究，一个企业的负责人，每天工作时间的95%都是作各种形式的信息通信，一个中级管理人员或知识工作人员，参与信息通信的时间占85%，一个秘书约占75%。由于管理及知识性工作人员的生产率提高远远落后于生产人员效率的提高，越来越多的人将会转移到与信息有关的行业。因而，加强对信息产业的技术革新，是现代信息社会要解决的关键课题。计算机通信网络的产生与发展，是时代需要以及技术发展的必然结果。

我们引用 M. Porat 对美国劳动力在四个产业部门分布情况的调查结果作为例子(见图1.1)，来看看近100多年来美国社会经济结构的变化，以及信息工业作为一个新的产业部门所占劳动力的比例。

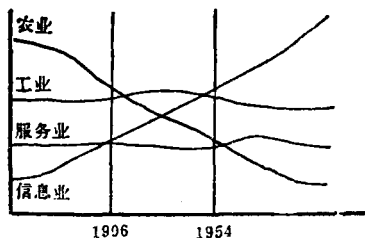


图 1.1 美国劳动力的分布

1906年以前，美国大量劳动力从事农业；1906年到1954年间。以工业为主；1954年以后，信息部门占用的劳动力最多，主要地从事信息处理的，如无线电广播、电视、印刷、广告、教育、计算、统计、设计、传真、远程通信等等；部分地从事信息处理的，如工业、医院、卫生、服务行业等等，其中的工作人员有部分或大部分时间从事与信息有关的劳动。随着计算机网络的发展，带有一定处理能力的终端，将深入到每个办公室以及每个家庭，最终使整个社会中的每一个人，都与信息网络相关联。

以下各节中，除了简单介绍计算机网络产生的历史及其在国民经济中应用的例子外，对计算机网络的构形，种类，交换方式等作介绍。同时对本书着重重要讨论的包交换网的特点作一介绍，以便更好地理解后面各章的内容。

§1 技术发展的简单回顾

计算机技术是一门新兴技术，它只有四十年的历史。虽然John Napier, Blaise Pascal, Charles Babbage等人先后设计或制成了一些用来处理简单运算的机器，但都是机械式的，要由人大量地参与工作。1940年Bell电话公司用继电器做的专用计算机以及稍后（1944年）哈佛大学Howard Aiken等人设计的Mark I机器，都还没有现代计算机最主要的特征：存储程序及使用电子器件。

1945年，John Von Neumann 提出了将指令存在机器内部的思想。这种思想是一个根本性的突破，开创了计算机“自动”计算的新阶段。

1946年完成了ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator)，1948年完成了EDVAC。

(Electronic Discrete Variable Automatic Computer)。EDVAC使用了存储程序的思想，但内部运算并没有真正电子化；ENIAC是第一台内部操作全电子化的计算机，大约使用了18000~19000个电子管（没有人真正去数过确切的数目），生存了约十年之久。然而它还不是存储程序的，用复杂的外部开关按排指令。〔1〕

此后，IBM，Burroghs，National Cash Register，Remington Rand等公司先后开始了电子计算机的设计与制造。第一台商业性批量生产的电子计算机UNIVAC (Universal Automatic Computer) 是由Remington Rand公司于1951年完成的〔3〕。

晶体管发明以后，在计算机领域里获得了广泛的应用，使计算机从以电子管为基本器件的第一代进入了以晶体管为基本器件的第二代。它克服了电子管计算机体积大，功耗大，寿命短，速度低等严重缺点，使计算机的规模，复杂程度及性能从五十年代末到六十年代末的整整十年中，发展到了日溢完善的地步。

六十年代出现的集成电路技术，是在晶体管技术基础上使用先进工艺、精密加工技术、新型材料，以及利用计算机辅助设计的产物。它把计算机的发展推向第三代。不仅体积更小，功耗低，所需电源种类大大减少，而且由于元件组装密度高，减少了元件之间的接点，缩短了元件间的距离，减少了分布参数，使器件的速度和可靠性进一步提高，为组装大型计算机创造了条件。集成度不断提高的结果，导致七十年代初期微处理机的诞生，使得功能比第一台Univac强得多的整个计算机被做在几个很小的硅片上。集成电路技术的发展，把计算机生产效率，生产成本，可靠性和性能分别改

善了几个数量级，计算机的应用范围日益广泛。

随着计算机硬件技术的发展，使用计算机的方式也发生了根本的变化^[2]。直到大约1958年，用户使用计算机，首先应懂得计算机的结构和原理，记住机器的指令代码、学会在控制台上操作机器。当他在纸带（或卡片）读入机上装好自己的程序和数据后，就到控制台上置入第一条指令的地址，启动机器。根据控制台上指示灯的变化，估计运行是否正常。一旦停机，或者表示计算正常结束，或者表示程序、数据或机器本身出错。出错后，很少允许在机器上查找程序错误。然后下一个用户上机，重复上述过程。这种使用方法的明显缺点，一是要求用户熟悉计算机的某些细节，以便正确操作。这就使用户局限于少数专家，限制了推广使用。有人在五十年代初预言计算机不可能应用于商业、事务处理，因为没有那么多专家去使用，便是把这种使用方式作为依据的；二是计算机使用效率很低，例如用户在按装输入纸带，更换打印纸卷或思考时，机器空转。其使用效率一般低于30%。为了克服这些缺点，硬件发展了通道与中断技术，使得外部设备能与中央处理机并行工作。软件设计了作业成批处理系统（例如SPOOLING，JCL等）。用户使用算法语言来描述算法，只要再掌握一套作业控制命令，就可以把作业交给操作员。多个用户的作业由操作员成批地交给计算机，由其逐个完成。用户等候通知，领取结果。这就大大减轻了用户的负担，机器效率可以提高到50%至70%左右，这个方法的不足之处是用户仍不能联机查找程序错误。一个较复杂的新程序，往往要多次上机试运行。查错是静态的，费力，费时，效率不高。

自大约1962年开始，在解决了地址保护的基础上，提出

了多道程序及分时系统（以英国曼彻斯特大学的ATLAS系统为代表）。使用计算机的方法有了新的突破。每个用户在自己独占的终端上使用计算机。计算机则轮流地处理各个终端命令，并保证在有限的时间内（例如1秒）响应用户的命令。用户好象独占整个计算机一样，他可以在终端上直接输入程序和数据，进行编辑，调整程序，运行程序并获得结果。这就克服了以前各种使用方法的缺点。然而，这仍然不是人们能满足的方式，例如他会觉得被束缚在固定的计算机系统上，资源不够丰富，不够灵活多样；他不能使用别的计算机系统中性能优良的特殊设备、程序设计语言、数据库等；他也不能与远处的伙伴合作；他能利用计算机所做的工作，范围很窄。正是这些原因以及后面要谈的通信方面的要求，促使人们把计算机经过通信线路互连起来，获得任一单个计算机系统所不能得到的性能。

另一方面，通信技术的发展历史要悠久得多^[4]。使用电技术的通信已有一百多年的历史。虽然人们对电的特性早在十七世纪就有一定的了解，并期望能应用于通信，但由于了解的人不多，故直到十九世纪中期，才开始出现有线电报。

1839年，英国教授Chales Wheatstone为铁路部门发展了长达13英里的电报。最初的电报速率很低，只能做到一秒钟大约传2个字符。

1844年，Sam Morse电码诞生。第二年，他开辟了从华盛顿到Baltimore的电报线路。从那时起，电报的使用日渐广泛，人们多次尝试美洲与欧洲之间的越洋电报电缆的铺设。直到1866年才铺设成功。

1874年，Jean Maurice Emile Baudot把七路通信信

道合在一根物理线路上，并提出了等长的字符编码。

1876年，Bell第一次在其发明的电话线路上说出了简单的句子。

1906年发明了电子管，并于1913年开始做成电子管中继器用于电话线路，使长途通话成为现实。由于设备可靠性不够，第一条越洋海底电话电缆，直到1956年才开始使用。

1918年出现了第一个载波系统，它允许多个话路在一对电话线上复用。

1921年，Morkrum & Kleinschmidt Co.开始制造电传打字机，这不仅使电报网络免受后来的电话网络的冲击，而且为数据通信开辟了道路。四十年代初期，同轴电缆开始出现，大大增加了线路容量。目前能容纳一万个话路的同轴电缆已经使用于电话网路。

1946年开始使用微波无线电链路于通信。目前在人口密集地区，已经建立了很多微波中继网络。

六十年代初，卫星通信的出现，打破了甚高频及微波通信只能按地面直线可视距离传送的限制，使得只要三个同步卫星的中继，便能向全世界转播电视。

六十年代末，高速波导被用于通信。同时开始了激光通信的研究。

七十年代末，光纤通信已部分地进入实用阶段。

与通信介质的进步相比，交换技术的发展较为缓慢。这是由于交换设备的更替成本高，影响面大，一代交换设备诞生后，几十年不能轻易改动。最早的自动交换机是Almon B. strowger于1889年左右发明、1912年使用的。这种步进方式的机电交换设备，在本世纪四十年代才真正完善并广泛使用。以后，步进方式的交换机部分地被可靠性较高的纵横