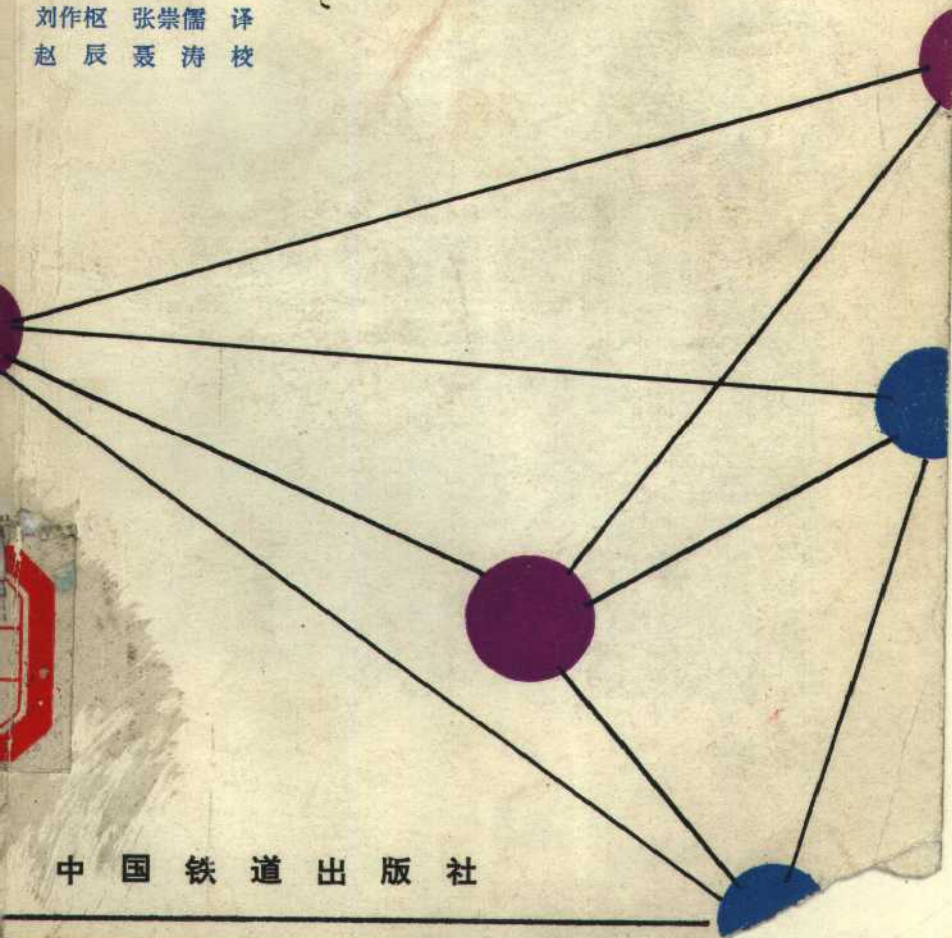


计算机通信网 的设计与分析

维 洁 阿费加 著
刘作枢 张崇儒 译
赵 辰 聂 涛 校



中国铁道出版社

计 算 机 通 信 网 的 设 计 与 分 析

维 洁 阿 费 加 著

刘 作 枢 张 崇 儒 译

赵 辰 聂 涛 校

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 7 年 · 北 京

内 容 简 介

本书内容主要包括：计算机通信网的组成及信息传输技术；电文的传输方式及规程；网络节点的设计与分析；终端的选择及拓扑设计；各种网络协议；流量控制方法及死锁的防范；各种路由选择方法以及网络性能分析等。

本书内容较全面，着重实际、深入浅出。既可作为高校教材，又可供科技人员自学。

本书第8章由张崇儒翻译，其余各章均由刘作枢翻译。全书承赵辰副教授、聂涛副教授审阅。

26767

DESIGN AND ANALYSIS OF COMPUTER
COMMUNICATION NETWORKS

Vijay Ahuja, ph.D

McGraw-Hill Book Company 1982

计算机通信网的设计与分析

维洁 阿费加 著

刘作枢 张崇儒 译

赵辰 聂涛 校

中国铁道出版社出版

责任编辑 崔滨九 封面设计 安宏

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/32 印张：9.375 字数：200千

1987年4月第1版 第1次印刷

印数：0001—6,500册 定价：1.75元

序

当前是通信与计算机技术日益结合的时代，为计算机科学家、程序设计员、工程师和网络设计师提供可用于设计有效的和富有活力的通信网络的基本原理已日趋重要。对于这种原理，从熟悉各种不断增长的网络各个组成部分，直到考察整个网络性能，我们认为有必要提供各类网络各个组成部分简要的说明，联结各个组成部分的方针以及分析和改进网络特性的途径等。本书的目的即在于使读者熟悉有关设计和分析计算机通信网络所需要的原理和途径。

本书面向在计算机软件或在计算机或通信硬件方面已具备某些基础知识的学生和专业人员。对于涉及网络的读者，本书提供了计算机通信网络的基础知识及其分析，并探讨了各种方法和算法。本书提供的有关网络设计各个方面，既有说明又有分析的论述。其重点为网络的各个组成部分（例如传输链路和网络节点）以及网络分析问题（例如路由选择和流量控制）。希望本书也能作为大学中计算机和通信方面主要课程的教科书。

本书包括八章和一个附录。第1章介绍了网络概念，其中包括分组交换和电路交换。第2至第7章应用了概率论和排队论的原理。在进行学习第2至第7章之前，要求读者具备概率论和排队论的基本知识，否则请先学习第8章。

第2和第3章叙述网络各种组成部分。第2章讨论传输链路，即地面的、无线和卫星信道及光纤。其中还包括地面链路的各种探询方针，以及有效利用卫星链路和无线信道的

方法。第3章涉及网络节点的功能和设计方面，同时也提供用以估算处理机容量、存储器大小以及在电文缓冲器上溢出的次数。第4章描述网络拓扑设计的各式算法。第5章描述节点间通信和管理资源用的网络协议。第6章介绍网络拥塞和死锁问题以及网络流量控制的几种算法。第7章描述选择和确定网络中信息路由进程的各种方法。第8章说明估计诸如响应时间和吞吐量等网络性能参数的技术，同时还介绍用于本书其它章节的概率论的基本原理。附录包括某些公用网络的说明，例如DATAPAC网和TYMNET网。

3030178

目 录

序

第1章 绪 言	1
1.1 网络展望	1
1.2 网络目标	8
1.3 网络组成	10
用户子网	11
通信子网	12
1.4 信息传输技术	
电路交换、信息交换和分组（包）交换网络	13
网络类型的比较	14
习 题	16
参考文献	16
第2章 传输链路和规程	18
2.1 传输链路	18
地面链路	18
数据电话数字业务	20
卫星链路	22
在卫星信道上的冲突问题	24
纯ALOHA	25
时分化ALOHA	26
频分制多路存取	27
时分制多路存取	27
其它多路存取协议	28

无线链路	30
带有监听的多路存取 (CSMA) 方法	32
光 纤	33
2.2 传输方式	35
同时传输: 半双工和全双工	35
点至点和多点链路控制: 探测	40
探测和中心探测	41
探测时间分析	43
2.3 传输协议	47
异步串行传输	47
同步串行传输	48
二进制同步通信	49
同步数据链路控制	51
标志字符 (F)	52
比特填充	52
地址字符 (A)	53
控制字符 (C)	53
帧校验序列 (FCS)	53
CCITT建议 X.21	56
X.21暂行协议	60
小 结	60
习 题	60
参考文献	62
第3章 网络节点的设计与分析	64
3.1 节点设计	64
源/目的地功能	65
两终端间协议	66
网络接口	67

分组和重组	67
顺序号	68
标题的产生和删除	73
存储转发功能	73
路由选择	74
本地流量控制和死锁	76
差错控制	77
全网功能	77
网络流量控制	78
拓扑状态了解和改进	78
网络性能测量和监视	79
3.2 节点的体系结构与分析	79
软 件	80
接口硬件	82
重发在中间信息链路缓冲器中所溢出的信息	82
3.3 节点处理机	89
处理机容量的估算	91
3.4 节点存储器	95
存储器容量的估算	98
3.5 IBM3705通信控制机	104
小 结	106
习 题	107
参考文献	108
第4章 拓扑设计	110
4.1 选择终端集中器位置	112
4.2 在终端集中器与相邻终端之间的多点连接	116
最小生成树	117
Chandy—Russell算法	119

探索算法	124
Esau—Williams算法	125
Kruskal算法	127
通用探索算法	127
4.3 节点间链路和链路容量分配	129
割集饱和算法	129
容量分配	132
离散型链路容量分配	135
4.4 不相交路由的拓扑结构	139
小 结	141
习 题	141
参考文献	144
第5章 网络协议	146
5.1 协议设计的基本观念	146
协议的功能	151
5.2 网络体系结构与协议	152
ARPANET网协议	153
开放系统互连的参考模型	155
X.25	157
X.25规程	162
系统网络体系结构	165
数字网络结构	167
5.3 协议描述技术	170
状态图	172
Petri网	173
Backus范式	174
格式和协议语言	175
RSPL	176

5.4 协议验证技术	176
对话矩阵法	177
状态扰动法	179
小 结	182
习 题	182
参考文献	183
第6章 流量控制	186
6.1 网络拥塞	186
流量控制	188
6.2 流量控制技术	188
集中型流量控制	189
在TYMNET网中的流量控制	191
流量偏移法	192
分散型流量控制	194
两终端间流量控制	195
窗口尺寸选择	197
在SNA中的流量控制	200
恒等流量控制	203
流量控制技术的比较	204
6.3 死 锁	205
协议死锁	206
重组死锁 (Reassembly lockup)	207
缓冲器死锁	208
状态枚举法	210
一个模型	211
运用网络流的方法	217
标号算法	220
无死锁缓冲器配置	222

小 结	224
习 题	225
参考文献	226
第7章 路由选择	228
7.1 引 言	228
7.2 确定性路由选择	231
最短路径算法	232
Floyd算法	232
最小时延算法	235
7.3 在确定性路由选择中的可靠性	235
不相交的确定性路由选择算法	236
7.4 自适应路由选择策略	240
集中型自适应路由选择	240
随机路由选择	244
在ARPANET网中的自适应路由选择	245
其它自适应路由选择方案	247
体系结构自适应路由选择	248
小 结	251
习 题	252
参考文献	253
第8章 性能分析	255
8.1 概率的某些概念	255
概率分布	259
8.2 网络性能估计	263
小 结	270
习 题	271
参考文献	272
附录A 网络和网络业务	273

A1	TYMNET网	273
	路由选择	275
	集中型控制	275
	流量控制	277
A2	DATAPAC网	277
	各个功能层	279
A3	TELENET网	281
A4	北欧公用数据网 (NPDN)	282
A5	TRANSPAC网	284
	参考文献	285

第 1 章 绪 言

1.1 网 络 展 望

六十年代末期，网络首先是以时分系统的姿态出现的。在时分系统中，几个终端用户都在时间片的基础上共享系统资源。例如用于IBM系统/360、用于Honeywell 600系列的GECOS，以及Univac 1108上的操作系统都提供了选用的时分系统。而某些操作系统已完全是时分的，如PDP—8时分系统（TSS/8）。随着时分操作系统的采用，产生了各式各样的面向通信的软件包。在六十年代末和七十年代初，引进了几种通信存取方法、终端系统软件和交互系统的软件包。飞机订票系统、图书馆的信息检索系统以及通用的数据管理系统（例如IBM管理系统/360）都是一些熟知的软件包。计算机和通信企业已经引入异步（起止）和同步（二进制同步）线路协议。七十年代末，几种型式的终端、终端控制机、前端处理机、集中器和有关设备在数据处理市场上已达到相当规模。

在早期的建网年代，由于开始把计算机设备连接到已有的通信设施上，从而导致了计算技术与通信技术的结合。如IBM270X和370X系列中的线路多路复用器以及为某些通信链路提供接口的调制解调器等。在1972年，出现了一些计算机网，其中某些重要特性列于表1—1。如在加利福尼亚的分布式计算机系统（DCS），和北卡罗来纳州的三大学计算中心（TUCC），都是由各大学开发的为它们的学生服务的实验网络。DCS网络，它对每个节点采用一个环形接口，

并将所有节点连接成环形[7]*; TUCC是一个集中式(星形连接)网,为北卡罗来纳的三所大学和其它教育机构服务。

早期网络及其特点

表 1—1

网 名	ARPA	CYBERNET	DCS
组 成	分布式	分布式	分布式
节 点 数	23	36	9
通信接口	Honeywell DDP516	CDC3300 PPU	环形接口
通信协议	信息交换	信息交换	混合式
信息格式	可变长度	固定长度	可变长度

网 名	MERIT	OCTOPUS	TSS	TUCC
组 成	分布式	混合式	分布式	集中式
节 点 数	3	10	9	4
通信接口	PDP-11	CDC PPU	IBM2701	IBM2701
通信协议	信息交换	点至点	点至点	点至点
信息格式	可变长度	可变长度	可变长度	可变长度

七十年代中期,通信网络几乎在各个方面都有显著的增长。例如在终端方面,早期的打字终端已大多被多功能终端所取代。新的终端包括从无记忆功能的显示单元到具有磁盘存储器、磁带、打印机和显示器的所谓前端处理机。显示终端现在已具有新的性能,例如显示彩色和多维的图形。为各种专门用途开发了一些终端或终端系统,例如文件编辑、办公室邮件、银行存款、超级市场结帐付款、销售点系统、医院系统、安全、生产控制、库存量控制、计算机辅助指令和设计等等。

* 括号〔 〕内号码指章末的参考文献

通信网络发展的重要方面是降低了费用，提高了传输链路的速度和质量。在较早的年代，终端是通过低速起止式线路连接的，由于通信技术的革新已把链路引向更快速和更为可靠。今天的网络采用了速率为每秒百兆比特的地面链路、卫星中继线和无线信道。

网络节点的基本概念已从简单的通信线路多路复用器发展到可编程序微型计算机。现在的网络节点可提供多种附加功能，例如信息交换或分组交换，路由选择、流量控制、网络监视和管理。减轻主机负担的设想已被一种新的网络节点——前端处理机来实现，这种处理机可提供数据管理和业务处理功能。

与以上论及发展的同时，有几个组织开始研究将终端网络连接到一部以上的主计算机的各种问题，其中一个研究组的目标是将几部主计算机互连以提供资源共享。1969年初，高级研究计划局的(ARPA)网的合同被授给Bolt·Beranek和Newman(BB&N)公司——这是以麻萨诸塞州为基地的一家工程公司。ARPANET或ARPA网是一个从1969年只有小小的4个节点的网扩大到1975年能为约百台计算机提供计算的，网络[10, P305]，图1—1为1969年ARPANET的布局图1—2是较近期的拓扑结构[12]。

网络可用电路交换或存储转发信息交换来传输信息。在电路交换中，网络通过信息路由上的一组临时的专用链路传输信息，这些链路被安排来同时传送信息的；在存储转发的信息交换中，网络先将信息存储下来，而后经过在信息路由上一组共享的链路群的每条链路而传输信息。电路交换产生一个固定的信息传输时延，而信息交换所产生的信息传输时延则不是固定不变的。在某些网络上，电文首先被分段，分为若干个小单元，称为分组，各个分组独立地通过网络，直

到它们到达目的节点，而后再在该节点上重新组成原来的电文。分组的最大长度是固定的，因此便于管理、存储和传输。现已有几个网络采用了这种分组交换方法，例如ARPANET网[3,4]和TELENET网。表1—2比较了1975年中某些流行的分组交换网络的特性。

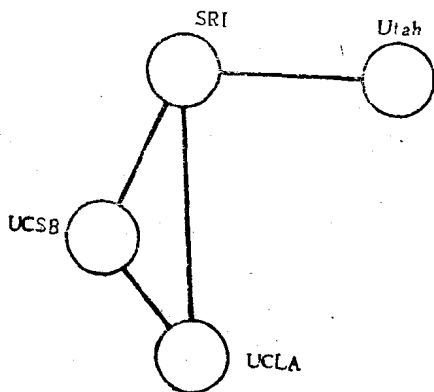


图1—1 ARPANET网 (1969.12)

当计算机企业开发各种网络软件和硬件的同时，学术界则忙于讨论网络设计和分析中的某些传统问题。网络拓扑（建立节点间的连接和分配链路容量）必须满足网络负载、网络中转时间和可靠性要求等。在开发ARPANET网络拓扑中进行了一些首创工作，开发了几种协议可使网络节点间的数据有条不紊地交换。防止拥塞和死锁的算法和软件正在进行研究之中。上面所提及的为防止拥塞和使处理的开销为最少的许多路由选择策略已经提出并得到实现。许多研究建议在节点相当多（例如100个或更多）的网络中采用路由选择信息的分层技术。同时还开发了估计诸如资源利用、响应时间和吞吐量等网络性能的计算法。

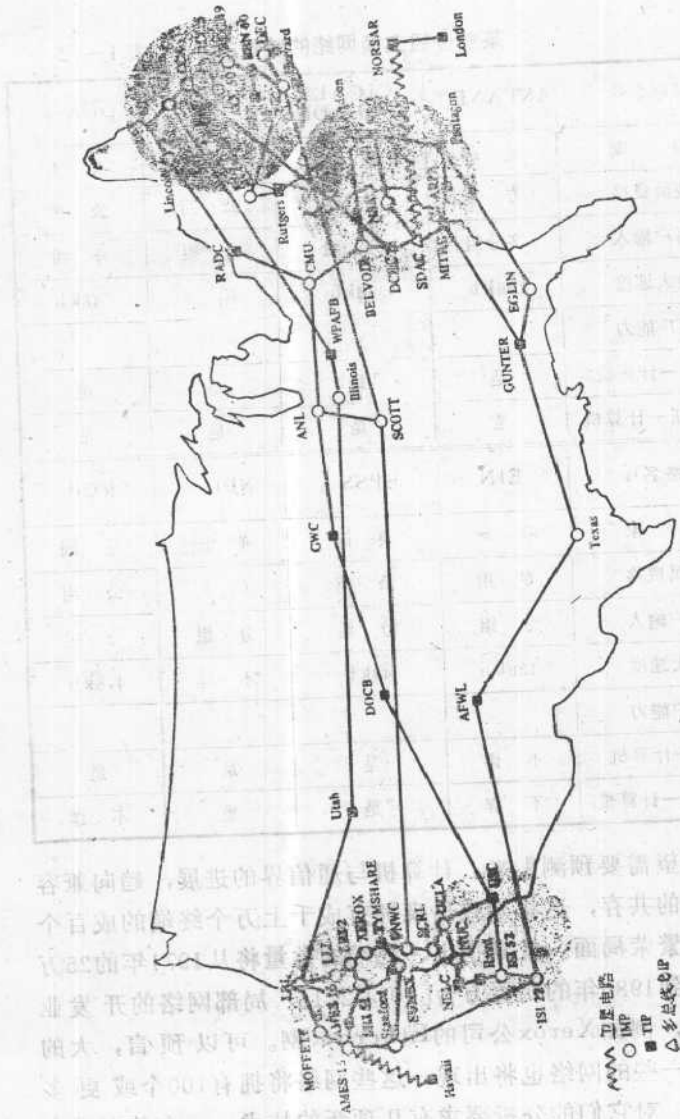


图 1-2 ARPANET 网的拓扑结构