

何 诚主编

# 计算机 局部网络结构 与性能分析

Local Network  
Architecture &  
Performance  
Analysis

中国科学技术出版社

# 计算机局部网络结构 与性能分析

何 诚 主编

中国科学技术出版社

## 内 容 提 要

局部网络是计算机科学的一个重要分支,本书主要介绍局部网络的体系结构与性能分析。其内容包括:数据通信与网络数据流、排队模型、电路交换局部网络、基本存取协议的性能、查询网络、环形网络、随机存取网络的结构与性能分析,局域网络协议及IEEE802总线网络的分析。每章后给出了必要的习题。

本书理论与实际相结合,可供计算机、通信自动化与电子工程等专业本科高年级学生和研究生学习或参考。

## 计算机局部网络结构与性能分析

何 诚 主 编

责任编辑:勇 夫

中国科学技术出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
北京燕山印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 18.75 字数: 420千字

1989年11月第1版 1989年11月第1次印刷

印数: 1—2850 册 定价: 6.00元

ISBN 7-5046-0109-8/TP·5

## 前 言

局部网络是计算机科学的一个重要分支。自从70年代以来,这一分支科学广泛应用于办公自动化、工厂自动化、科学实验自动化及军事指挥自动化等各个领域。可以说,它是计算机技术、通信技术和自动化技术综合发展的结果;它的异军突起,在信息化社会中起了重要的作用。

国内的计算机科学界和通信技术界投入了很大的力量对这一技术进行研究,并取得了很多可喜的成果。清华大学、国防科工委、电子部六所等单位,率先引进了Ethernet局部网络,进行了开发和研究,并将研究成果在国内迅速地推广应用;高等院校在本科高年级学生和研究生中开设了“局部网络”课程。目前局部网络在国内的信息技术领域内成了一个热门课题。

我们在给本科高年级学生和研究生开设这门课程时,首先采用“局部网络技术导论”作为教材,它主要是介绍局部网络的一些基本技术以及Ethernet、Ominet等实际局域网络方面的内容。随着对该技术的深入研究,使局部网络技术得到迅速发展,我们又采用了日本学者M·I·shawa博士的《多路存取协议性能分析》,和美国的J·L·哈蒙教授的《网络性能分析》等著作作为教材,给本科高年级学生和研究生讲授“局部网络结构和性能分析”课程。在其他高校和研究单位同仁的鼓励下,我们把讲课的讲稿整理成书,以供学习局部网络者参考。

计算机网络(又称为计算机通信网络)技术主要研究网络

接口、传输介质、存取算法、路由选择、流量控制和差错控制等通信结构。计算机网络有“广域网络”和“局域网络”之分。“广域网络”即通常所说的“远程计算机网络”，国内著名的计算机网络专家潘启敬、顾冠群教授等，均有这方面的专著，而且他们所在的科研组正在编写一本《计算机网络性能分析》教材；美国著名的网络专家，哥伦比亚大学的施瓦茨教授的近著《远程计算机网络的模型、结构、协议及其性能分析》一书，全面地介绍了“广域网络”的内容与最新技术，“局域网络”主要研究：通信硬件、协议、硬件接口和软件接口、存取算法以及网络性能等。我们在“局域网络”的研究和应用的基础上，对局部网络的性能进行理论分析。

全书共12章。第2、3章介绍“数据通信”和“排队论”的知识，为进行局部网络性能分析奠定基础；第4章对PBX局部网络进行讨论和性能分析；第5~9章对各种类型的局部网络性能分析进行了讨论；第10、11章对总线网络和协议作了介绍。最后一章设计了一种新型的混合协议总线网络，并对其进行了详细的分析。本书主要是作为计算机、通信、自动化、电气工程等专业的研究生和本科高年级学生的教材，也可作为工程技术人员的参考书。

郑太平、解建平、辛平、李跃明、李春胜老师参加了编写。在编写过程中，得到潘启敬、邱光谊、陈松乔、丁钟琦教授的指导，以及史浩山、李显济、段正华、刘孟仁副教授和陈玉新、刘宏立等同志的帮助，在此，一并表示衷心的感谢。由于编者水平所限，书中如有不妥之处敬请读者批评指

**编者**

# 目 录

## 前言

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第 1 章 导论.....               | 1   |
| §1—1 计算机局部网络概述.....         | 1   |
| §1—2 局部网络的设计及其性能.....       | 7   |
| §1—3 总线型局部网络协议.....         | 8   |
| 第 2 章 数据通信技术.....           | 17  |
| §2—1 概 述.....               | 17  |
| §2—2 数 字 通 信 技 术.....       | 18  |
| §2—3 差 错 控 制.....           | 57  |
| §2—4 交 换 与 多 路 复 用 技 术..... | 90  |
| 习 题 .....                   | 103 |
| 第 3 章 网络数据流及其队列.....        | 108 |
| §3—1 概 述 .....              | 108 |
| §3—2 稳 态 数 据 流.....         | 109 |
| §3—3 排 队 模 型.....           | 120 |
| §3—4 优 先 队 列.....           | 130 |
| §3—5 网 络 队 列.....           | 137 |
| 习 题.....                    | 141 |
| 第 4 章 电路交换局 部 网络.....       | 147 |
| §4—1 概 述 .....              | 147 |
| §4—2 数 字 式 PB X.....        | 149 |
| §4—3 数 字 交 换 技 术.....       | 154 |

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| §4—4 | 阻塞分析.....           | 164 |
| §4—5 | PBX系统容量计算实例.....    | 179 |
|      | 习题.....             | 184 |
| 第5章  | 局部网络技术.....         | 187 |
| §5—1 | 定义及其功能.....         | 187 |
| §5—2 | 网络结构及其拓扑.....       | 190 |
| §5—3 | 信道存取技术.....         | 194 |
| §5—4 | 网络通信量.....          | 196 |
| §5—5 | 性能标准.....           | 202 |
| §5—6 | 几种商用/实验型局部网络系统..... | 208 |
|      | 习题.....             | 216 |
| 第6章  | 基本存取协议的性能.....      | 219 |
| §6—1 | 概述.....             | 219 |
| §6—2 | 固定分配存取技术.....       | 220 |
| §6—3 | ALOHA随机存取协议.....    | 226 |
| §6—4 | 理想中央控制技术.....       | 233 |
| §6—5 | 基本容量分配策略的比较.....    | 238 |
|      | 习题.....             | 243 |
| 第7章  | 查询网络.....           | 247 |
| §7—1 | 概述.....             | 247 |
| §7—2 | 查询策略.....           | 251 |
| §7—3 | 性能分析.....           | 258 |
| §7—4 | 查询网络的性能.....        | 269 |
| §7—5 | 自适应查询.....          | 275 |
|      | 习题.....             | 278 |
| 第8章  | 环形网络.....           | 282 |
| §8—1 | 概述.....             | 282 |

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| §8—2  | 令牌环               | 284 |
| §8—3  | 开槽环网络             | 309 |
| §8—4  | 寄存器插环             | 323 |
| §8—5  | 环形网络的性能比较         | 343 |
|       | 习题                | 347 |
| 第9章   | 随机存取网络            | 354 |
| §9—1  | 概述                | 354 |
| §9—2  | 随机存取网络的基本特性       | 357 |
| §9—3  | 时间片ALOHA          | 363 |
| §9—4  | 使用载波侦听的协议         | 385 |
| §9—5  | 使用载波侦听/冲突检测的协议    | 405 |
|       | 习题                | 435 |
| 第10章  | 协议与网络体系结构         | 439 |
| §10—1 | 概述                | 439 |
| §10—2 | ISO参考模型           | 442 |
| §10—3 | 局域网IEEE802标准      | 448 |
| §10—4 | 数据链路协议            | 451 |
| §10—5 | 局部网络的体系结构         | 461 |
| §10—6 | 网络互联              | 472 |
|       | 习题                | 476 |
| 第11章  | IEEE802总线网络       | 478 |
| §11—1 | Ethernet局域网       | 478 |
| §11—2 | 令牌总线              | 490 |
| §11—3 | 总线存取方法的比较         | 498 |
| 第12章  | 局域总线网络混合协议的设计与分析  | 505 |
| §12—1 | CSMA/CD协议分析及改进    | 505 |
| §12—2 | 单缓冲CSMA/CD混合协议的分析 | 512 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| §12—3 有限缓冲CSMA/CD混合协议分析····· | 524 |
| §12—4 模拟实验及分析·····           | 548 |
| 英汉术语对照·····                  | 569 |
| 参考文献·····                    | 582 |

# 第1章 导 论

近几年来, 计算机局部网络已得到飞速的发展。人们从不同的角度对局部网络技术进行了大量的研究和实验。局部网络作为连接通信和处理系统的这个新的而强有力的手段, 已引起人们极大的兴趣。到目前为止, 世界各大公司已经开发了不少产品, 例如Ethernet、mininet、Omninet、剑桥环等网络, 并已经在各个领域得到广泛的应用。

## § 1-1 计算机局部网络概述

计算机网络是计算机科学与数据通信技术迅速发展及其密切结合的产物。在信息化社会的信息收集、传输、存贮和处理方面, 它将扮演越来越重要的角色。计算机局部网络是将一个局部范围内的小型、微型计算机连在一起, 实现分布处理和资源共享。它投资少, 收效快, 已成为计算机网络领域内最为重要的一个技术分支。

在计算机的早期阶段, 智能资源设备位于单机系统中。与主机相连的仅为少量外部设备(例如打印机、卡片阅读器或终端设备), 它仅作为次要的从属设备供主机使用。

随着计算机科学的发展、完善和计算机的不断更新, 各种外部设备不断增加, 更多的终端和外部设备可与主机相

连，且离主机的距离越来越远，智能设备亦可从主机移至远程位置。因此，形成了计算机通信网络的概念。

计算机网络这一术语，在使用于分布式系统时，其意义颇为含糊。人们似乎认为能交换信息的若干台计算机相互连接起来，即组成了计算机网络。然而，当相互独立的计算机共同作用而形成分布式系统时，则可能产生几种彼此矛盾的定义。分布式计算不是本书的论述重点。因此，计算机网络专家S.达朗伯姆认为，“分布式系统是网络的特例”[1]●这种观点是比较合理的。他论述的重点是放在与计算机及其接口（即网络本身）相连的通信介质上的传输活动情况。而本书的重点，则着重论述局部计算机通信网络的问题。我们强调指出，本书集中讨论与网络有关的问题，这种网络能提供各相连设备之间的通信。但因计算机通信网络这一术语，毕竟不太明确，故在全书中使用计算机网络这一较通俗的术语。

为讨论方便，本书将计算机网络看成这样一种设备：能在计算机和其它设备之间进行通信。网络主要由联接链路、设备与网络间的接口以及用来行使管理网络资源权力的协议所组成。

计算机网络的分类方法很多，本书是根据其“延伸的区域”来进行分类的。因此，有广域网络（也称为远程网络）和局部网络（也称为局域网络）之分。远程网络可延伸至很广的地理区域（甚至可达全球范围）。局部网络则不然，它只能覆盖近距离的区域（区域范围通常为数公里）。

由于距离不同，而对链路结点的要求也不同，因此地理范围上的差别而导致了远程网络和局部网络在设计上的极大

---

● 本书出现方括号〔1〕、〔2〕、……注请见本书的参考文献，不再说明。

差异。在一个部门安装一局部网络是完全可行的,仅需使用一些高速低噪声链路即可。因为远程网络需使用很高的数据速率的共享链路,所以成本非常昂贵。此外,远程网络的链路还存在噪声问题。

由于多种原因(包括需要使用优化的昂贵通信链路),在建立远程网络时,结点的布局不乏一致。目前的远程网络,多使用存贮转发分组交换方法。就是说,数据分组是通过网络发出的。在每一个结点处,需读出各数据分组的地址,而数据分组又需进行路由选择,以传送到目标结点。

上述工作方式导致远程网络以极低的数据速率工作,通常为每秒数千位或数万位。诚然,通过卫星链路时,亦可实现每秒数兆位的工作速率。因传输距离长,故必须考虑链路的传播时间。

在典型的远程网络设计中,应考虑以下几个方面的问题:

- (1) 联接链路的位速率容量;
- (2) 网络地理位置的选择;
- (3) 路由选择算法的设计;
- (4) 拥挤及流量控制;
- (5) 网络体系结构(包括协议层次)的设计。

、 由于设计局部计算机网络时,可以使用高速低噪声联接链路,因此与远程网络相比,局部网络的工作方式大不相同。局部计算机网络的设计方法,通常是使所有的结点连接成一个高速共享信道。该信道的数据速率通常为每秒500千位(Kbps)到50兆位(Mbps)之间。

与远程网络的情况相同,传输的数据必须进行封装。但在局部网络中,所有数据分组均在同一信道上传输,且经由

网络的所有结点。因此，尽管采用了编址信息，但不必进行路由选择。共享信道可采用多种几何布局结构（当然，几何布局结构的选择，并非是设计上的困难问题）。计算机网络的结构、协议、拥挤控制算法及设计等，是局部网络及远程网络需要解决的难题。

网络的设计可采用自顶向下的方式，从网络体系结构和协议层开始进行设计。例如，S·达朗伯姆〔1〕所著的“计算机网络”<sup>①</sup>一书中，采用七层模式，这些层次与协议层次一一对应。

由上所述，局部网络仅能在一有限的区域范围内使用，且采用高速信道结构。这种网络类型的研究，主要基于以下几个动因。由于智能装置的硬件成本降低，因此这种装置可安装在诸如一幢办公大楼，或一所大学校园内的各个办公室内。然而，配置行式打印机、磁盘存储器以及其他外部设备装置，费用仍相当可观。而且，即使花钱不多，若每个工作站都安装该类智能装置，这些装置也不能得到充分利用。采用局部网络结构，则可共享这些昂贵的设备。

实现数据资源共享是建立局部网络的第二个动因。中央数据文件的拷贝和存贮设备皆花费甚巨。在计算机局部网络系统中，存贮由工作站设备共享的中央数据文件或中央数据库，这常常是十分合算的方法。

除上述两个主要动因外，还有许多建立局部网络的其他原因。例如，局部网络的分布数据资源，为许多设备提供了冗余功能，使机器出现故障时能使用备份进行正常工作。其次，不少局部网络都采用了速度及代码转换技术，这使不同

---

● 该书的中译本已由陕西省高校计算机网络领导小组翻译出版。

厂家生产的设备，均使用廉价的专用接口比较容易地连接起来。此外，某些网络还提供了代码的局部编辑功能。

计算机网络常被误解为仅连接计算机。实际上，计算机网络可连接多种类型的设备。例如，下述设备均可与计算机局部网络相连：①计算机；②字处理机；③终端设备；④图形终端；⑤本地存储器；⑥行式打印机；⑦电话；⑧数据文件。

如同其他新领域一样，局部网络技术的术语和定义比较含混，其界限也不十分明显。局部网络专家W·斯达林博士[2]①在他的局部网络著作中，明确地划分了这种界限。推出以下四种类型：多处理机系统、高速局部网络、计算机化小型交换机以及局域网络。按照他的观点，多处理机系统与局域网络相比，他采用紧耦合方式。这种方式已广泛用于集成通信，通常用于一些采用中央控制的环境。高速局部网络常用来作为计算机房网络，以实现诸如主机之类设备间的高吞吐量通信。计算机化小型交换机(CBX)是一种数字化电话网络，这种网络是一种能以极快的速度交换数据的电路。而局域网络则具有前述的局部网络的特点。

在本书的部分内容中，“局部网络”、“计算机局部网络”和“局域网络”这些术语常常交替使用。但从整体来看，仍采用了W·斯达林师的“局部网络”。本书第4章仅讨论了计算机化小型交换机系统，对多处理机系统和高速局部网络的内容未予涉及。在使用术语时，还需指出，由于作用距离的原因，局部网络的某些定义，似乎并不包括CATV系统中的宽带网络。而在本书有关局部网络的内容中，则对宽带网络也进行

---

① 机械工业出版社出版的《局部网络技术教程》、湖北科技出版社出版的《局部网络》等著作，都参照了W·斯达林师关于局部网络的分类方法。

了讨论。在讨论随机存取协议时，为讨论方便，首先介绍通常用于多路存取无线链路和卫星链路的协议。因此，本书也简略地讨论了宽带网络。

局部网络的应用范围主要为，

(1) 大学校园内的计算设施。例如数据处理、数据交换和数据存贮的应用最为典型。

(2) 办公自动化。在这种应用场合，智能工作站可提供字处理、电子邮件及电子复印等服务。

(3) 工厂自动化。其应用范围通常包括：工程技术人员用的智能工作站、计算机辅助设计、计算机辅助制造以及库存控制管理。

(4) 图书馆系统。通常用于图书流通管理、文献检索及电子复印等。

(5) 公安系统。通常用于案例检索、诉状管理及文字处理等工作。

局部网络之所以应用如此之广，首先是由于人们对建立未来办公自动化系统的要求越来越高。近几年来，在一幢建筑物、一个单位以及某一地区范围内，所拥有的计算机智能终端等硬件设备迅速增加，这些设备通过局部网络连接起来，可以极大地提高工作效率，实现资源共享。其次，用于局部网络的高速传输介质价格大大降低，同轴电缆就是这种典型的介质，采用同轴电缆能在1公里以上的距离，不需使用中继器，以每秒1~10兆位的速率进行传输。再有成本更低、功能更强的智能终端也已相继推出，促进了局部网络技术的发展，而且在综合考虑价格与性能的情况下，亦是完全可行的。

## § 1-2 局部网络的设计及其性能

局部网络通常由通信信道和许多与信道耦合的智能结点组成。智能结点必须提供以下几种功能：在同一信道发送和接收信号、控制对信道的存取、在结点处连接与网络耦合的装置。其设计通常分为以下三个内容。

(1) 网络体系结构和协议的设计；

(2) 结点硬件的设计；

(3) 结点软件的设计；

自顶向下的设计方法从上述 (1) 开始，采用三个层次的分层结构，实现局部网络的通信问题。这些局部网络层次分为物理层、介质存取层和逻辑链路控制层。简言之，物理层是在信道上生成和发送代表数据位的物理信号。介质存取层是用来管理对信道的存取，并确定在任意给定的时间内能够发送信号的结点。逻辑链路控制层是将数据位封装成数据分组，并用来管理差错控制等活动的功能。

物理层的主要功能由硬件实现，软件亦能实现其部分功能。这些软件通常运行于结点上的微处理器装置上。介质存取层的功能通常由软件实现，同样也运行于结点上的微处理器装置上，但其中亦有少量的功能是由硬件实现的。逻辑链路控制层的功能主要是由软件实现的。整个局部网络的设计是一个相当复杂的系统，这一系统是由硬件和软件子系统组成的。

本书的重点放在计算机局部网络的性能分析上。从这一意义上说，性能分析则成为在理想情况下，用来开发和研究网络性能的数学模型问题。而对性能分析，是基于实际情况

进行的。对局部网络进行设计，并予以分析，以确定网络性能。

我们知道，网络的性能与设计过程有关。通常，首先对几种设计方法及其性能进行讨论和比较。若选择特殊的介质存取技术，则采用几种不同的实现方式。这样，就可能具有不同的性能模型，从而具有不同的网络性能。

强调性能分析，必然对介质存取技术进行详细的研究。例如，在第2章中，讨论了局部网络物理层设计中可能发生的主要问题；在第10章专门讨论逻辑链路控制层协议。在对各种类型的网络的性能进行分析时，首先对每种网络协议都作了介绍。

### § 1-3 总线型局部网络协议

局部网络技术所涉及的范围很广，就其拓扑结构来说，一般可以分为三类：星形网、总线网和环形网，现阶段多采用总线网与环形网（例如Ethernet和剑桥环）。对于总线网和环形网，人们似乎更加偏爱总线网络。总线网络实际上是将大量的工作站连接到一共享信道上，各工作站通过争用信道来发送报文。总线网络结构简单，加入或删除工作站无需进行大量的连接工作，因此，实现起来比较容易。此外，同其它类型的网络相比，其初建和改造费用较低，且工作站的故障对网络的影响不大，然而，总线网络连线之间的故障，则会影响整个网络的运行。因此，在出现该类故障后，常常采用旁路方法来消除故障。

对总线网络的性能评价工作主要集中在对工作站存取总线所采用的协议进行评价。存取协议的好坏直接关系到整个