

计 算 机 网 络

谢希仁 陈 鸣 张兴元

电子工业出版社

计算机网络

丁立群

谢希仁 陈鸣 张兴元

电子工业出版社

内 容 提 要

本书为 1989 年出版的、获第二届全国优秀教材奖的《计算机网络》的修订版,在内容和结构方面都有较多的修改。

全书共分 16 章,比较全面系统地介绍了计算机网络的发展、网络的拓扑设计、网络体系结构 OSI/RM、物理层、数据链路层、网络层、多点接入技术、局域网、网络互连、运输层、网络的高层协议、应用层的特定应用服务元素、协议工程与 OSI 功能标准、网络的安全、网络管理和网络新技术等内容。各章均附有练习题。此外,还有两个附录,即最基本的排队系统、重要的英汉缩写和词汇对照表。最后是参考书和文献。

本书的特点是概念准确、论述严谨、内容新颖、图文并茂。既重视基本原理和基本概念的阐述,又力图反映出计算机网络的一些最新发展,同时也重视必要的理论分析。本书可作为高等学校计算机或通信专业以及其他有关专业的计算机网络课程教材。本科生和研究生可在教材中分别选取有关章节。本书也可供从事计算机网络工作的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/谢希仁等编著.

—北京:电子工业出版社,1994.11

ISBN 7-5053-2454-3

- I. 计…
- II. 谢…
- III. 计算机网络
- IV. TP393

电子工业出版社出版(北京市万寿路)
电子工业出版社发行 各地新华书店经销
电子工业出版社计算机排版室排版
北京科技印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:30.75 字数:784 千字

1994 年 10 月第 1 版 1998 年 7 月第 7 次印刷

定价:32.00 元

再版前言

本教材系按电子工业部工科电子类专业教材 1991~1995 年编审出版规划,由计算机教材编审委员会征稿,推荐出版,责任编委为西安交通大学胡正家教授。

本教材由通信工程学院(南京)担任主编,西安交通大学胡正家教授担任主审。

本教材的第一版(1989 年版)曾获第二届全国优秀教材奖。和第一版相比较,现在的修订版在结构和内容方面都有较大的变化。

本课程的参考时数为 70~90 学时。全书共分 16 章。

考虑到有些读者可能缺少一些有关通信方面的知识,因此增加了物理层的内容。由于本轮教材规划中取消了《计算机局域网》教材,因此新版教材增加了第八章局域网这一内容。鉴于 TCP/IP 已成为流行的工业标准,在第九章网络互连和第十章运输层中分别增加了 IP 和 TCP 的有关内容。新版教材对应用层的协议进行了较多的介绍。应用层的一些公共应用服务元素放在第十一章中讨论,而几种著名的特定应用服务元素(如 MHS 和 FTAM 等),则在第十二章介绍。在第十三章中增加了 OSI 功能标准。最后两章都是新增加的。第十五章讨论现代网络的核心问题——网络管理。第十六章扼要地介绍了近年来网络新技术的一些重要进展,例如,综合业务数字网 ISDN,宽带综合业务数字网 B-ISDN,同步光纤网 SONET,异步转移模式 ATM,光纤分布式数据接口 FDDI,分布式队列双总线 DQDB,交换的多兆比数据服务 SMDS,以及帧中继 FR。

在修编教材的过程中,遇到的最大困难就是内容的取舍。网络技术的飞速发展使得新的网络技术和标准不断问世。在有限的篇幅中,应当将哪些最为重要的内容交给学生呢?编者认为,教科书虽然应当理论联系实际,但显然不应写成为工程中的使用手册。缺乏具体的内容的协议也很难被学生理解。因此,本书强调以 OSI 参考模型为基础和线索,强调协议标准的重要性,力图在教材中将基本原理和基本概念讲清楚,同时也尽可能使读者了解有关网络协议标准化工作的最新进展。编者也力求不把教科书写成标准文本的缩写。由于计算机网络发展很快,读者应注意网络标准的新动态。

高年级本科生和研究生都可以使用本教材。可以学得面宽一些但浅一些,也可以少学一些章节但学得深一些。请任课教师认真加以挑选和指导。

每章的后面附有若干练习题。附录 I 是为未学过排队论的读者参考的。附录 II 提供了一些重要的或译名不够统一的英汉词汇和缩写表。

本书的最后给出了近几年来国外出版的一些较好的教科书和专著,以及一些重要的参考文献。但限于篇幅,还有大量的 ISO 标准和 CCITT 建议书尚未列入。读者可根据书中所提到的标准和建议书的编号去查找。

陈鸣副教授编写了第十五、十六章和第八章 8.6 节的初稿,并对全书修改稿逐章提出意见。胡谷雨副教授为第十五章的修改收集了许多有用的资料。张兴元博士编写了第十二章和第十一章 11.3 节的初稿。林波副教授提供了第十四章的修改初稿。其余各章的修改和全书的定稿,则由谢希仁完成。

这里特别要提出感谢的是:华北计算技术研究所计算机网络室赵小凡主任非常关心本

书的修改工作,专门来信提出非常具体的修改意见。主审胡正家教授在百忙中认真审阅了全书,提出了宝贵的意见。研究生吴礼发、刘鹏、林瑶、赵刚在录入文稿、绘图、打印和校对等方面都做了大量的工作。吴自珠副教授为本书的出版也做了许多贡献。对这些,编者均表示诚挚的谢意。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

谢希仁

1993年10月

第一章 概 述

1.1 计算机网络的发展过程

1.1.1 通信与计算机的结合——计算机网络的产生

计算机网络涉及到通信与计算机两个领域。二十多年来,计算机与通信日益紧密的结合,已对人类社会的进步做出了极大的贡献。

计算机与通信的相互结合主要有两个方面。一方面,通信网络为计算机之间的数据传递和交换提供了必要的手段;另一方面,数字计算技术的发展渗透到通信技术中,又提高了通信网络的各种性能。当然,这两个方面的进展都离不开人们在半导体技术(包括大规模集成电路 LSI 和超大规模集成电路 VLSI 技术)上取得的辉煌成就。

在计算机与通信相结合的领域中,需要进行研究的课题非常之多。本书所讨论的计算机网络仅仅是这些课题中的一个,但这已是一个非常复杂、涉及面广,并对整个人类社会产生深远影响的课题。

大家知道,在科学研究中,如果我们对它们过去的发展历史知道得越多,我们就有可能向前走得更远。因此,我们先简单地回顾一下计算机网络的发展历史。

自 1946 年世界上第一台数字电子计算机问世后,有近十年,计算机和通信并没有什么关系。电子计算机的数量很少,而且价格十分昂贵。用户只能前往计算机房去使用机器。这显然是很不方便的。在 1954 年,一种叫做收发器(transceiver)的终端制作出来了。人们使用这种终端首次实现了将穿孔卡片上的数据从电话线路上发送到远地的计算机。此后,电传打字机也作为远程终端和计算机相连了。用户可在远地的电传打字机上键入自己的程序,而计算机算出的结果又可以从计算机传送到电传打字机打印出来。计算机与通信的结合就这样开始了。

由于当初计算机是为成批处理信息而设计的,所以当计算机在和远程终端相连时,必须在计算机上增加一个接口才行。显然,这个接口应当对计算机原来的硬件和软件的影响尽可能地小些。这样,就出现了如图 1-1 所示的**线路控制器**(line controller)。图中的调制解调器 M 是必须加入的,因为电话线路本来是为传送模拟的话音信号而设计的,它不适合于传送计算机的数字信号。调制解调器的主要作用就是:把计算机或终端的数字信号变换成可以在电话线路上传送的模拟信号以及完成相反的变换。

早期的线路控制器只能和一条通信线路相连,同时也只能适用于某一种传送速率。由于在通信线路上是串行传输而在计算机内采用的是并行传输,因此这种线路控制器的主要功能是进行串行和并行传输的转换以及简单的差错控制。计算机主要仍用于成批处理。有时,计算机在一天中的部分时间用作成批处理,而在另一部分时间则收集远地的信息进行处理。故图 1-1 所示的系统常称为**联机系统**,以区别于早先出现的脱机系统。

随着远程终端数量的增多,为了避免一台计算机使用多个线路控制器,在 60 年代初

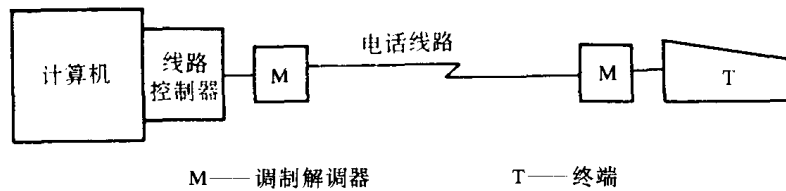


图 1-1 计算机通过线路控制器与远程终端相连

期,出现了多重线路控制器 (multiline controller)。它可以和许多个远程终端相连接(图 1-2)。这种联机系统也称为**面向终端的计算机通信网**。有人将这种最简单的计算机网络称为**第一代的计算机网络**。这里,计算机是网络的中心和控制者,终端围绕中心计算机分布在各处,而计算机的主要任务也还是进行成批处理。

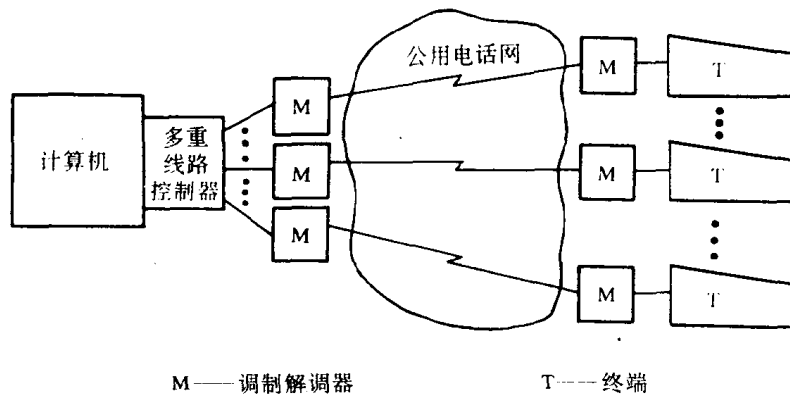


图 1-2 多重线路控制器的使用

大家知道,计算机最初只是用来进行科学计算的。然而人们很快就认识到计算机还可用作数据处理。现在计算机的非数值应用已远比纯粹的科学计算广泛得多。这就使得计算机的用户迅速增长。但是,每当需要增加一个新的远程终端时,上述的这种线路控制器就要进行许多硬件和软件的改动,以便和新加入的终端的字符集和传输速率等特性相适应。此外,有的程序还要重新编写,还要分配更多的存储空间作为缓冲区之用。然而,这种线路控制器对主机却造成了相当大的负担。也就是说,和远程终端的通信对以成批处理为主要任务的计算机成为一个相当大的**额外开销 (overhead)**。人们终于认识到应当设计出另一种不同硬件结构的设备来完成数据通信的任务。这就导致了**通信处理机**的出现。通信处理机也称为**前端处理机 FEP (Front End Processor)**,有时也可简称为**前端机**。前端处理机分工完成全部的通信任务,而让主机(即原来的计算机)专门进行数据的处理。这样就大大减小了主机的额外开销,因而显著地提高了主机进行数据处理的效率。图 1-3 表示用一个前端处理机与多个远程终端相连的情况。由于可以采用比较便宜的小型计算机充当大型计算机的前端处理机,因此从 60 年代初期起,前端处理机就被广泛地使用着。一直到现在,前端处理机仍然在计算机网络中起着重要的作用。

远程终端的数量不断增长,使通信费用随之增加。为了节省通信费用,可在远程终端较密集处加一个**集中器 (concentrator)**。集中器和前端机相似,也是一种通信处理机。它的一端用多条低速线路与各终端相连,其另一端则用一条较高速率的线路与计算机相连(图 1-4)。由于集中器不是简单的多路复用器而是一个**智能复用器**,它可以利用一些终端的空闲时间来传送其他处于工作状态的终端的数据。这样,所用高速线路的容量就可以小于各低速线路容量的总和,从而明显地降低了通信线路的费用。此外,由于集中器距终端较近,因此在集中

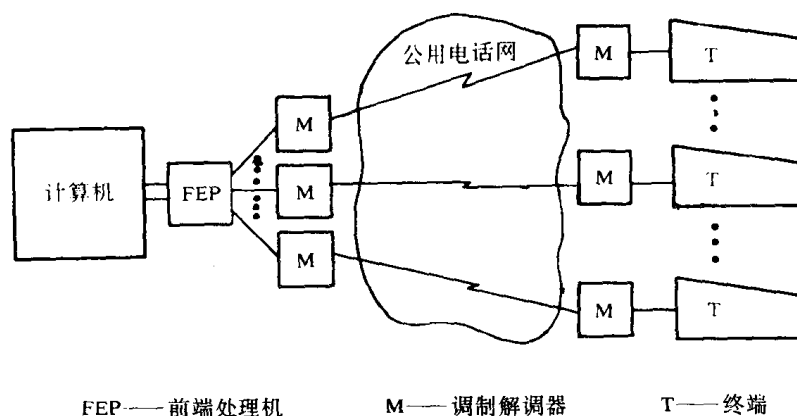


图 1-3 用前端处理机完成通信任务

器与各终端之间往往可以省去调制解调器。

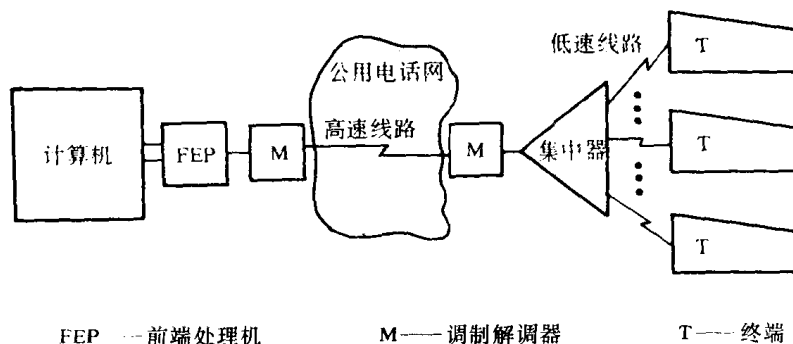


图 1-4 采用集中器以降低通信费用

在 60 年代里,这种面向终端的计算机通信网获得了很大的发展。其中许多网络至今仍在使用。这里仅简要介绍几个在 60 年代就闻名于世的面向终端的计算机网络。

美国的半自动地面防空系统(SAGE 系统)是一个较高水平的专用网。1951 年开始设计,1958 年投入运行。SAGE 系统分为 17 个防区,每个防区的指挥中心装有 2 台 IBM 公司的 AN/FSQ-7 计算机,通过通信线路连接防区内各雷达观测站、机场、防空导弹和高射炮阵地,形成联机计算机系统。在计算机的存储器中存有程序以帮助指挥员作出决策,自动引导飞机和导弹进行拦截。SAGE 系统首先使用了人机交互作用的显示器,研制了用小型计算机作为前端处理机,制订了 1600 b/s^① 数据线路的技术规范,并研究了高可靠性的多种路由选择方法。

另一个专用实时系统是美国的 SABRE I 系统。这是第一个联机预订飞机票的系统,由美国航空公司与 IBM 公司在 50 年代初期开始联合研究并在 60 年代投入使用的。它由一台中央计算机与 2000 个全美范围的终端组成。各终端用多点线路与中央计算机相连。

在商用网络中,60 年代出现的分时系统在面向终端的计算机通信网中起了很重要的作用。美国通用电气公司的信息服务网络(GE Information Services)是世界上最大的商用数据处理分时网络,其地理范围从美国本土外延到加拿大、欧洲、澳大利亚和日本。这个系统具有交互式处理和成批处理能力,于 1968 年投入运行。网络配置为分层星形结构。各终端连

① 在本书中,b 或 bit 均表示比特。

接到 75 个远程集中器,它们分布在世界上 23 个地点。这些远程集中器再连接到交换机。由于地理范围很大,可以利用地区时差达到资源的充分利用。

另一个很复杂的分时系统是美国 Tymshare 公司的 TYMNET 商用分时计算机网络。这个网络于 1970 年开始提供服务,在美国有 80 个通信处理机分布各地,共可与 26 个大型计算机(23 个 XDS940 和 3 个 PDP10)进行通信。网络的配置不是星形而是多重环形。连接结点的链路大部分是 2400 b/s 的双工租用线路,小部分是 4800 b/s 的。任何一个结点集中器可连接 200~300 个终端。但同时访问一个结点集中器的终端数不能超过 31 个。TYMNET 现已扩展到加拿大和欧洲。

1.1.2 分组交换网的出现

在研究计算机网络的发展时,必须着重介绍**分组交换**(packet switching)。分组交换也称为**包交换**,它是现代计算机网络的技术基础。下面将介绍分组交换的产生过程以及分组交换的要点。

1. 传统的电路交换技术不适合计算机数据的传输

在电话出现后不久,人们便认识到,在所有用户之间架设直达的线路对通信线路的资源是极大的浪费。必须依靠交换机实现用户之间的互连。一百多年来,电话交换机经过多次更新换代,从人工接续、步进制、纵横制以至现代的程序控制交换机(即程控交换机),其本质始终未变,都是采用电路交换(circuit switching)。从通信资源的分配方法来看,电路交换是预先分配传输带宽(这里指的是广义的带宽,即将时分制的时隙宽度也称为带宽)。用户在开始通话之前,先要申请(例如通过拨号)建立一条从发端到收端的物理通路。只有在此物理通路建立之后(即用户占有了一定的传输带宽),双方才能互相通话。在通话的全部时间里,用户始终占用端到端的固定传输带宽。由于电路交换方式的广泛使用,人们对它早就习以为常了。

然而,当这种通信系统用来传送计算机或终端的数据时,就出现了新的问题。这是因为计算机的数据是突发式地和间歇性地出现在传输线路上,而用户应支付的通信线路费用是按占用线路的时间(对长途线路还要考虑到距离的因素)计算的。和打电话传送连续的语音信号不同,在计算机通信时,线路上真正用来传送数据的时间往往不到 10% 甚至 1%。在绝大部分时间里,通信线路实际上是空闲的(但对电信局来说,通信线路已被用户占用因而要收费)。例如,当用户正在阅读终端屏幕上的信息或正在用键盘输入和编辑一份文件时,或计算机正在进行处理而结果尚未得出时,宝贵的通信线路资源实际上并未被利用而是白白被浪费了。

不仅如此,电路交换建立通路的呼叫过程对计算机通信也嫌太长。电路交换本来是为打电话而设计的。打电话的平均持续时间约为几分钟,因此其呼叫过程(约 10~20 秒)就不算太长。但是,1000 bit 的计算机数据在 2400 b/s 的线路上传送时,只需不到半秒的时间。相比之下,呼叫过程占用的相对时间就太多了。

由于计算机和各种终端的传送速率很不一样,在采用电路交换时,不同类型、不同规格、不同速率的终端很难互相进行通信。因此应采用一些措施来适应这种情况。例如,可以使终端与计算机不直接连通,而是让数据经过一些缓冲器暂存一下,经适当变换后再进行发送或接收。这同样要求改变传统的交换方式,采用新式的交换技术。

此外,计算机通信还要求非常可靠地、正确无误地传送每一个比特。这就需要采取有效

的差错控制技术。

由此可见,必须寻找出新的适合于计算机通信的交换技术。

2. 分组交换网的试验成功

分组交换的概念最初是在 1964 年 8 月由巴兰(Baran)在美国兰德(Rand)公司的“论分布式通信”的研究报告中提出的。但这一研究报告在当时并未引起该课题领导部门(美国空军)的重视而被搁置下来了。

就在这前后,即 1962~1965 年,美国国防部远景规划局 DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) 和英国的国家物理实验室 NPL 都在对新型的计算机通信网进行研究。1966 年 6 月,NPL 的戴维斯 (Davies) 首次提出“分组”(packet)这一名词[DAVI86]。1969 年 12 月,美国的分组交换网 ARPANET (当时仅 4 个结点)投入运行。从此,计算机网络的发展就进入了一个崭新的纪元。1973 年英国的 NPL 也开通了分组交换试验网。现在大家都公认 ARPANET 为分组交换网之父,并将分组交换网的出现作为现代电信时代的开始。

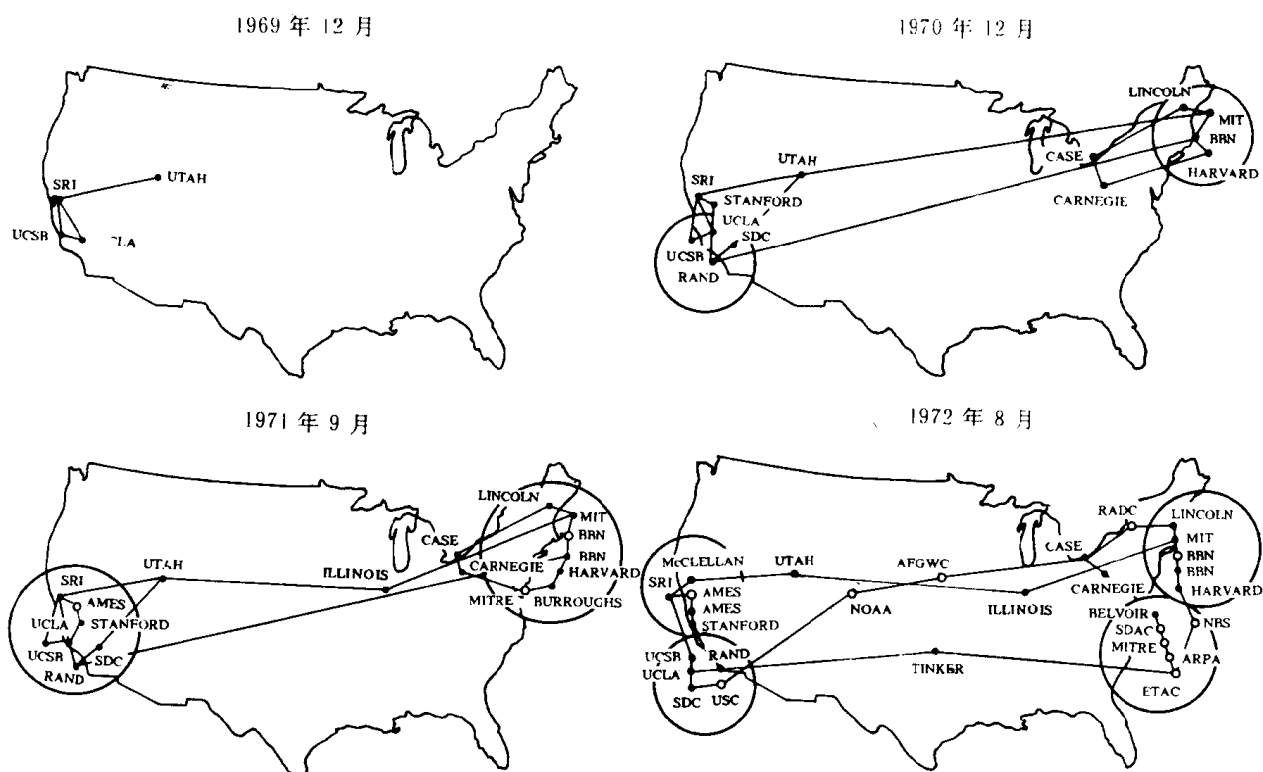


图 1-5 ARPANET 的早期发展情况

1972 年 10 月在华盛顿召开了第一届国际计算机通信会议 ICCC。会上首次进行了历时 3 天的分组交换技术公开表演[ROBE78]。分组交换网的可靠和迅速的服务得到了各界数千名专家的一致赞赏和广泛关注。

图 1-5 表示在不到 3 年的时间里 ARPANET 的迅速发展情况。图 1-6 为 1979 年 9 月的状况。

除英美两国外,法国也在 1973 年开通其分组交换网 CYCLADES。

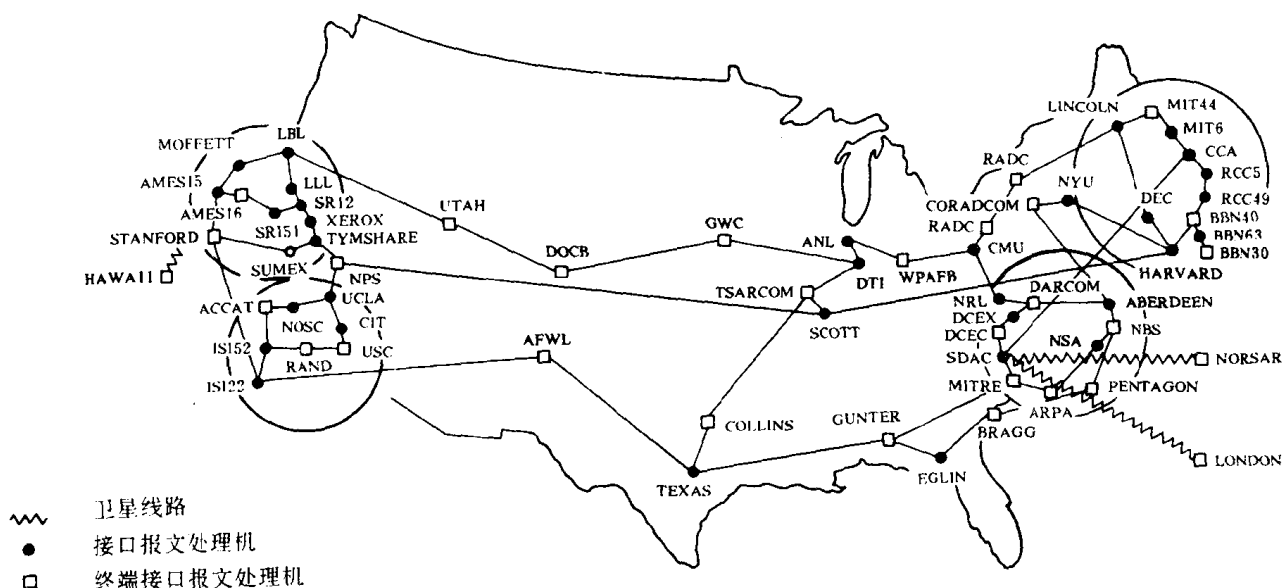


图 1-6 ARPANET 在 1979 年 9 月的状况

3. 分组交换的主要特点

下面简要地介绍一下分组交换的主要特点[KLEI83]。图 1-7 画的是分组交换网的示意图。图中结点 A, B, ..., F 以及连接这些结点的链路 AB, AC, ... 等组成了分组交换网, 或称为**通信子网**。图中 $H_1 \sim H_5$ 都是一些独立的并且可以进行通信的计算机。现在习惯上把在通信子网以外的计算机 $H_1 \sim H_5$ 称为**主机**, 而把分组交换网中的结点上的计算机称为**结点交换机**。在阅读文献时应注意, 在 ARPANET 建网初期, 分组交换网中的结点交换机曾被称为接口报文处理机 IMP (Interface Message Processor)。目前, IMP 这一名词已较少采用。

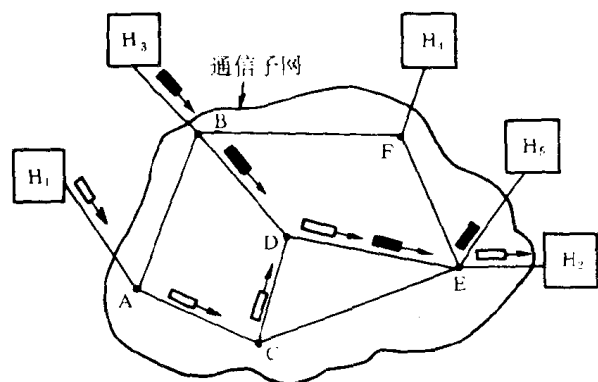


图 1-7 分组交换网的示意图

当主机 H_1 要向主机 H_2 发送数据时, 首先要将数据划分为一个个等长的分组(例如每个分组 1000 bit 长), 然后将这些分组一个接一个地发往与 H_1 相连的结点 A。此时, 除链路 H_1-A 外, 网内其他通信链路并不被目前通信的双方所占用。需要注意的是, 即使是链路 H_1-A , 也只是当分组正在此链路上传送时才被占用。在各分组传送之间的空闲时间, 链路 H_1-A 仍可为其他主机发送的分组使用。

结点 A 将收到的分组先放入缓冲区, 再按一定的路由算法, 确定该分组下一步该发往哪个结点。可见各结点的分组交换机的主要任务是: **负责分组的存储、转发以及选择合适的路由**。显然, 每个发送的分组必须携带一些有关目的地址的信息, 否则分组交换机就无法确定每个分组的路由。例如在图 1-7 中的结点 E, 就能区分开某个分组是应发给主机 H_2 还是

应发给主机 H_5 。这里要注意, 结点暂时存储的是短分组, 而不是整个的长报文。短分组不必存储在磁盘中而是暂存在内存中。这就保证了较高的交换速率。

在图中只画了两对主机(H_1 和 H_2 , H_3 和 H_5)在进行通信。实际上, 一个分组交换网可以容许很多主机同时进行通信(这当然要受到网络容量的限制), 而一个主机中的多个进程(即正在运行中的多道程序)也可以和不同主机中的不同进程进行通信。

在传送分组的过程中, 由于采取了专门的措施, 因而保证了数据的传送具有非常高的可靠性。这些将在今后各章讨论网络协议(protocol)时进行研究。

从以上所述可知, 采用存储转发的分组交换, 实质上是采用了**断续(或动态)分配传输带宽的策略**。这对传送**突发式**的计算机数据是非常合适的, 因为这样就可以大大提高通信线路的利用率。

为了提高通信子网的可靠性, 常采用复杂的拓扑结构, 使得当少数结点或链路出现故障时, 不致引起全网的瘫痪。此外, 通信网络的主干线路往往由一些**高速链路**构成, 以便迅速地传送大量的计算机数据。

这样, 在传送计算机数据时, 分组交换网的主要优点可归纳如表 1-1 所示。

表 1-1 分组交换的优点

优 点	所 采 用 的 手 段
高 效	动态或断续分配传输带宽
灵 活	每个结点均有智能, 可根据情况决定路由和对数据做必要的处理
迅 速	以不太长的分组为传送单位, 在每个结点存储时间很短; 高速链路
可 靠	完善的网络协议; 分布式多路由的通信子网

当然, 分组交换也带来一些新的问题。例如, 分组在各结点存储转发时因要排队总会造成一定的时延。当网络业务量过大时, 这种时延可能会很大。此外, 各分组必须携带的控制信息会造成一定的额外开销。整个分组交换网的管理与控制也都比较复杂。

应当指出, 从本质上讲, 这种断续分配传输带宽的存储转发原理并非新概念。古代就已有的邮政通信, 就其本质来说也是属于存储转发方式。而在 40 年代, 电报通信也采用了基于存储转发原理的**报文交换**。在报文交换中心, 一份份电报被接收下来, 并穿成纸带, 操作员以每份报文为单位, 撕下纸带, 根据报文的目的地地址, 拿到相应的发报机转发出去。这种报文交换的时延较长, 从几分钟到几小时不等。分组交换虽然也采用存储转发原理, 但由于在交换结点上使用了电子计算机, 且分组为定长, 其长度不大, 完全可放在交换结点计算机的内存中进行处理, 这就使分组的转发非常迅速。例如 ARPANET 的经验表明, 在正常的网络负荷下, 全网端到端的平均时延小于 0.1 秒。这样, 分组交换虽然采用了某些古老的交换原理, 但它实际上已变成了一种新式的交换技术。

ARPANET 的试验成功使计算机网络的概念发生了根本的变化。早期的面向终端的计算机网络是以单个主机为中心的星形网(图 1-8(a)), 各终端通过通信线路共享主机的硬件和软件资源。但分组交换网则是以**通信子网为中心**(图 1-8(b)), 主机和终端都处在网络的外围, 这些主机和终端构成了**用户资源子网**。用户不仅共享通信子网的资源, 而且还可共享用户资源子网的硬件和软件资源。

这种以通信子网为中心的计算机网络常称为**第二代的**计算机网络, 这种计算机网络比第一代的面向终端的计算机网络的功能扩大了很多。

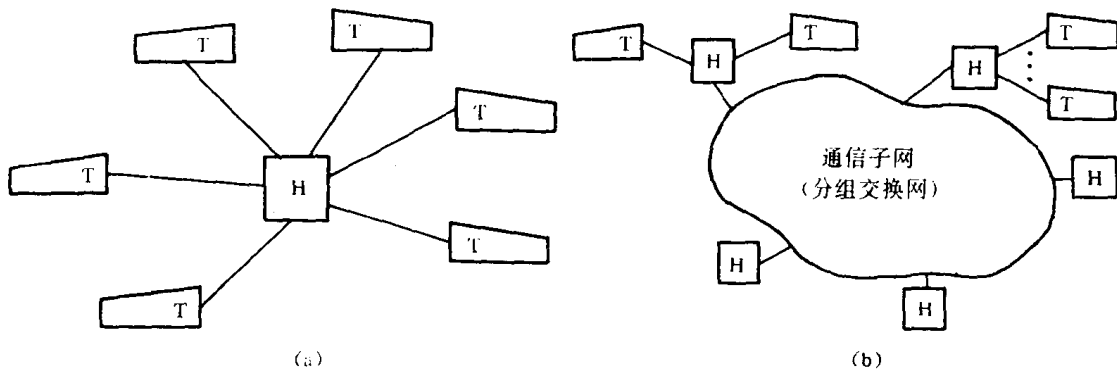


图 1-8 从以单个主机为中心(a)演变到以通信子网为中心(b)

这里需要指出,分组交换网之所以能得到迅速的发展,很重要的一个原因就是:分组交换技术给用户带来了经济上的好处——其费用比使用电路交换更为低廉[ROBE82]。在美国,分组交换的计算机网络能如此迅速发展,至少还有这样一些因素不容忽视,这就是:(1)已经建成了一个相当发达的电信网络作为物质基础;(2)社会生产力的发展使整个社会对计算机数据的传递与交换有迫切的要求;(3)及时开展了有关计算机网络的理论研究,并在试验网络上进行现场实验。

除了上述的专用分组交换网 ARPANET 外,一些工业发达国家还开始建造公用分组交换网,这与公用电话网相似,可以为更广大的用户服务。例如,英国于 1973 年开始建造试验分组交换网 EPSS,在 1977 年试验成功后,改名为 PSS。美国则建造了 TELENET、TYMNET (这已经与前面提到过的同名网络不一样了)和 COMPAC 等网络。欧洲共同体有 9 个国家联合建造了 EURONET 公用分组交换网。法国建造了 TRANSPAC 网。加拿大建造了 DATA-PAC 网。日本的 NTT 先后建造了电路交换与分组交换的综合交换系统 DDX-1 以及将电路交换、分组交换分别建网的交换系统 DDX-2。

据统计,到 1987 年底为止,全世界共有 87 个国家和地区的 214 个公用分组交换网在运行,而其中多数国家和地区都在大力发展公用分组交换网。

1.1.3 计算机网络体系结构的形成

计算机网络是个非常复杂的系统。为了说明这一点,可以设想一个最简单的情况:连接在网络上的两台计算机要互相传送文件。

显然,在这两台计算机之间必须有一条传送数据的通路,但这还远远不够,至少还有以下几项工作需要去完成:

(1) 发起通信的计算机必须**激活**(activate)数据通信的通路。所谓“激活”就是正确发出一些信令,保证要传送的计算机数据能在这条通路上正确发送和接收。

(2) 要告诉网络如何识别接收数据的计算机。

(3) 发起通信的计算机必须查明对方计算机是否已准备好接收数据。

(4) 发起通信的计算机必须弄清楚,在对方计算机中的文件管理程序是否已做好文件接收和存储文件的准备工作。

(5) 若两个计算机的文件格式不兼容,则其中的一个计算机应完成格式转换功能。

(6) 对出现的各种差错和意外事故,如数据传送错误、重复或丢失,网络中某个结点交换机出故障等,应有稳妥的措施保证对方计算机最终能收到正确的文件。

还可以举出一些要做的其他工作。由此可见,相互通信的两个计算机系统必须**高度协调工作**才行,而这种“协调”是相当复杂的。为了设计这样复杂的计算机网络,早在最初的 ARPANET 设计时就提出了**分层**的方法。“分层”可将庞大而复杂的问题,转化为若干较小的局部问题,而这些较小的局部问题就比较易于研究和处理。

1974 年,美国的 IBM 公司宣布了它研制的系统网络体系结构 SNA (System Network Architecture)。这个著名的网络标准就是按照分层的方法制订的。以后 SNA 又不断得到改进,更新了几个版本。现在它是世界上使用得较为广泛的一种网络体系结构。据统计,按照 SNA 设置的网络在 1988 年至少有 15000 个以上。不久后,其他一些公司也相继推出本公司的一套体系结构,并都采用不同的名称。

网络体系结构出现后,使得一个公司所生产的各种设备都能够很容易地互连成网。这种情况当然有利于一个公司垄断自己的产品。用户一旦购买了某个公司的网络,当需要扩大容量时,就只能再购买原公司的产品。如果同时又再购买了其他公司的产品,那么由于网络体系结构的不同,就很难互相连通。

然而社会的发展使得不同网络体系结构的用户迫切要求能够互相交换信息。为了使不同体系结构的计算机网络都能互连,国际标准化组织 ISO 于 1977 年成立了专门机构研究该问题。不久,他们就提出了一个能使各种计算机在世界范围内互连成网的标准框架,这就是著名的**开放系统互连基本参考模型**。从这以后,就开始了所谓的**第三代计算机网络**的新纪元。

1.2 关于资源共享

资源共享是计算机网络中一个非常重要的概念。下面对这一概念进行较深入的讨论。

1.2.1 资源共享的两个基本原理

在计算机网络中,有许多昂贵的资源,例如通信线路、大型数据库、大型计算机等。受经济因素的制约,这些资源都不是所有用户都能独立拥有的。因此,只能是许多用户共享这些昂贵的资源。

关于资源共享有两个重要的基本原理[KLEI82]。

资源共享的第一个基本原理是“**大数定律**”。大数定律的主要内容是:如果用户的数目很大,并且他们使用资源的要求都是突发式地随机产生,那么在将全体用户看成为一个**整体**时,这个用户整体对资源的使用要求就变得相当“**平滑**”和比较稳定,并且也是可以预测的。

大数定律对确定整个系统究竟需要多少资源是很有用的。我们还应注意到,当用户数目很少时,由于用户对资源的要求是突发式的,因此,或者由于资源不够而有时无法满足用户的要求,导致服务质量下降;或者由于为满足用户的突发要求而不适当地增加资源的数量,造成资源的平均利用率不高。只有当用户的数量大到一定的程度时,我们才能根据用户对资源的平均需求和所要求的服务质量,确定整个系统究竟应当拥有多少资源。这时,整个系统的负荷比较平稳,并且系统的资源也得到了较好的利用。

资源共享的第二个基本原理是“**规模经济性**”(economy of scale)原理。它的主要内容是:当一个系统中的资源与用户数目同时按比例增加时,在一定范围内,系统的规模越大,这个系统就越经济。对于分组交换网,若使网络中所有的线路的容量加倍,同时也使用户数目加

倍(但每个用户的数据量不变),则根据排队论可算出,由于分组在各结点排队而造成的网络平均时延将减半,即网络的服务质量提高了。

这两个资源共享的基本原理告诉我们:用户共享的资源越多,系统的某些性能(如负荷的平稳性、资源的利用率、网络的响应时间等)就越好。根据这两个基本原理就不难看出,只有当分组交换网的用户数目足够多并且通信子网是由大容量的高速链路所组成时,分组交换网的优越性才能显示出来。这是一个很重要的概念。

在计算机网络中,传输信道是网络的主要资源之一。下面就讨论信道的共享问题。

1.2.2 共享点到点信道

当许多用户要共享两个结点之间的信道时(见图 1-9),一般说来,可以有以下三种方法:

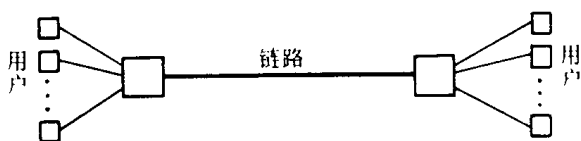


图 1-9 共享点到点信道

1. 固定分配信道

这是一种最简单的资源分配方法。通常是把通信信道再划分为若干个子信道(其容量不一定都相等),然后将各子信道固定地分配给每一对用户。这种分配方式

可以提供最好的服务,因为每个用户都独占自己的那份资源,他们什么时候想通信就可以立即进行。一些专用线路或租用线路即属于这种情况。对于一般的用户,由于他们的通信量并不太大,这种分配方式将造成信道利用率太低,因为即使某对用户现在并不使用已经分配给他们的信道,其他用户也无法使用(即共享)这一资源。

可以有多种方法把信道划分为子信道。如果各子信道是一条单独的物理链路,那就是空分复用 SDM (Space Division Multiplexing)。更常用的是频分复用 FDM 或时分复用 TDM。频分复用是将信道的可用带宽按频率划分为许多个子信道(图 1-10(a)),而时分复用是将时间分割为许多个短的时隙,而将若干个时隙组成时分复用帧(图 1-10(b))。用每个时分复用帧中的某一固定序号的时隙组成一个子信道。每一子信道所占用的带宽都是相同的。每个时分复用帧所占的时间也是相同的。对于频分复用,频带宽度越大,则在此频带宽度内所容纳的用户数就越多。对于时分复用,时隙长度越短,则每个时分复用帧中所包含的时隙数就越多,因而所容纳的用户数也越多。

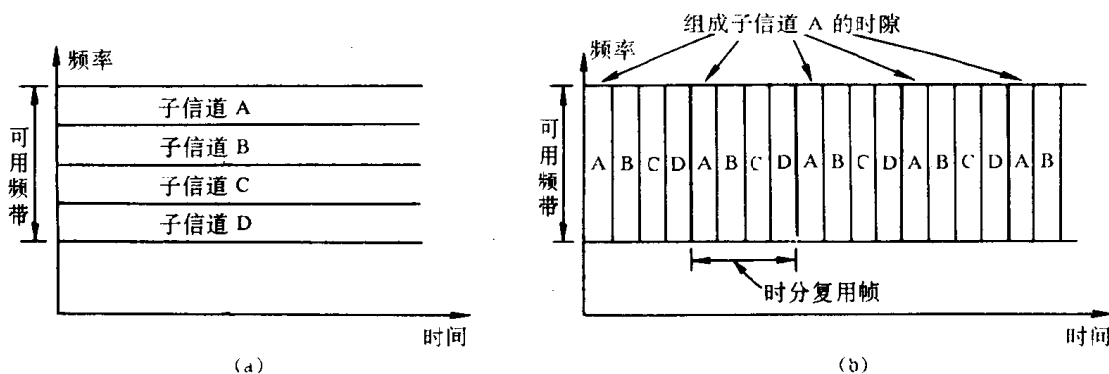


图 1-10 频分复用 FDM (a) 和时分复用 TDM (b)

为了使信道能为更多的用户(其数目超过或大大超过子信道的数目)提供服务,就不能

把信道都事先固定分配好。对大多数用户可采用以下两种分配方式,即按需分配和按排队方式分配。

2. 按需分配信道

这种方法是先将信道划分为若干个子信道(用空分、频分或时分复用方法划分)。当用户需要进行通信时,必须以某种方式提出申请。只要这时尚有空闲的子信道,发出申请的用户就可得到一条子信道的使用权。待通信完毕后,用户即释放这个子信道以供其他用户再使用。可见按需分配信道就是按申请分配信道。

若同时要求使用信道的用户数目超过子信道的数目时,那么就有一部分(通常是后申请使用的)用户不能获得子信道——申请失败(被阻塞)了。我们通过公用电话网打电话时,有时就可能出现呼叫被阻塞的情况。

上述分配子信道的方法叫做**预分配信道**,表示在用户通信开始之前就根据用户提出的申请把子信道预先分配给用户。当然,此用户仅在本次通信过程中拥有对该子信道的使用权。

用按需分配信道的方法可大大提高信道的利用率。这是因为大量用户碰巧都在同一时刻同时要求通信的概率并不大,因而子信道的数目可以远小于信道各端的用户数目。为实现按需分配所付出的代价是:(1)网络的结点必须增加一定的处理能力。(2)在信道较忙时一部分用户对信道的申请可能会被阻塞掉。这部分用户若想进行通信就必须再次申请信道,这样就要产生某种时延。

3. 按排队方式分配信道

这种分配信道的方式也常称为**统计复用**,或**异步时分复用 ATDM**(Asynchronous Time Division Multiplexing),图 1-11 为其示意图。这时,信道不再划分为子信道。用户想进行通信时,不必先申请信道,而是将欲发送的数据报文划分为具有一定长度的**数据单元**(这不一定是分组),然后送到网络结点的缓冲区中去排队。每个结点相当于一个单服务员的队列,通常按照到达结点的先后顺序发送。

根据前面讲过的“大数定律”,对于数量足够大的突发性数据用户,我们仍可在网络的信道上得到相当平稳的数据流。采用这种方式可大大提高信道的利用率。根据“规模经济性”原理,从响应速度看,如果信道容量足够大,那么按排队方式分配信道是可以令人满意的。

按排队方式分配信道所付出的代价是:(1)每个数据单元要包括一些用来标识收发两端用户地址的信息,这就增加了额外开销。(2)网络中的各结点必须有一定的存储容量。(3)各结点必须有管理队列的能力。

随着 LSI 和 VLSI 技术的发展,按排队方式分配信道在经济上将越来越显示出其优越性。

1.2.3 共享用点到点链路构成的网络

当网络是由许多点到点链路构成时,共享网络实质上就是要设计出一种合理的交换方式。从共享网络资源的观点来看,电路交换和分组交换分别相当于基于信道的共享和基于排

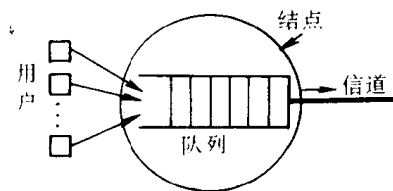


图 1-11 结点相当于一个单服务员的队列

队的共享。

1. 基于信道的共享

图 1-12 表示基于信道共享的示意图。它的要点是：不论采用固定分配或按需分配信道的方法，通信双方必须在开始通信之前先建立一条物理信道（或子信道）。图中没有画出其他一些无关的结点。可以看出，用户 X 经结点 A、B、C 和 D 与用户 Y 建立了一条端到端的物理信道。只有在这条物理信道已经建立并一直保持为连通状态时，用户 X 和用户 Y 才能进行通信。

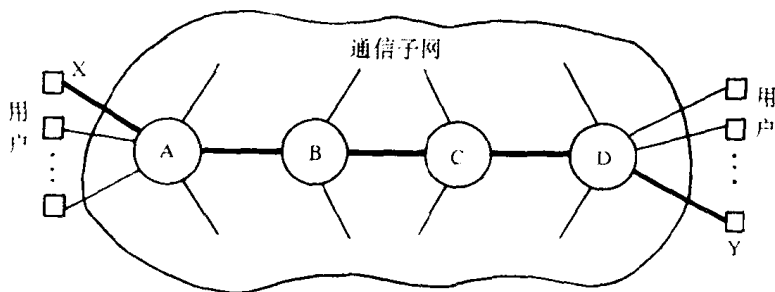


图 1-12 通信双方之间建立了一条物理信道

2. 基于排队的共享

图 1-13 画的是基于排队的共享的示意图。它的要点是：两个进行通信的用户（例如用户 X 和用户 Y）并不需要在通信的过程中，完整地占有一条连接这两个用户的端到端的物理通路。数据在链路上是一段一段地传过去，因此用户只是在不同的时间一段一段地部分地占用这条物理通路。当数据传到每个结点时，先存储再转发。在图 1-13 中为简单起见，结点 A、C 和 D 中都只画了有关的一个队列。实际上，一个结点若与多个结点相邻，则在此结点中就需要设置多个队列，而这些队列的输出就连接到相应的链路上。需要注意的是，结点 B 中只画上了由结点 A 进入结点 B 的有关排队的情况。读者可以发现，若考虑到数据还会从其他结点进入结点 B，那么结点 B 中的队列数目还要比图中所画出的多得多。

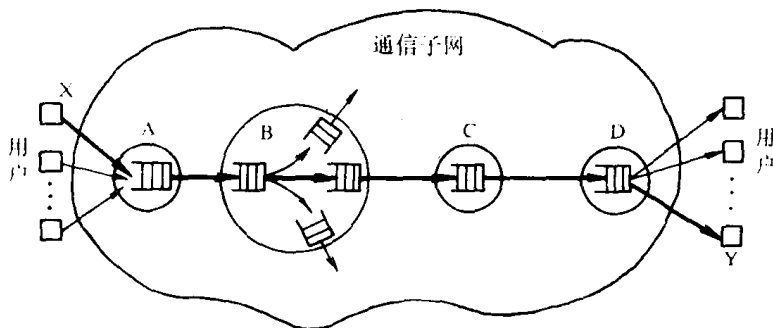


图 1-13 用户 X 和 Y 并不完整地占用一条端到端的物理通路

图 1-13 所示的基于排队的存储转发网络又可分为报文交换网络和分组交换网络两种，这两种网络的主要区别是传送的数据单元不同。报文交换 (message switching) 的数据单元是一个完整的报文，其长短很不一致。而分组交换对数据单元的长度则有明确的规定。一个长的报文要先分割成许多较短的分组，然后才能把这些分组逐个地发送出去。

图 1-14 表示电路交换、报文交换和分组交换的主要区别。图中的 A、B、C 和 D 与图 1-12 或图 1-13 中的结点相对应。