

# 电 信 网

——协议、建模与分析

〔美〕M. 施瓦茨 著

屠世桢 译

人 民 邮 电 出 版 社

Telecommunication Networks  
Protocols, Modeling and Analysis  
MISCHA SCHWARTZ  
Addison-Wesley Publishing Company  
1987

内 容 提 要

这是一本阐述电信网的协议、建模与分析的专著。根据OSI模型的分层结构，对有关的协议、网络构成等方面的问题进行了论述。本书的重点放在对电信网和系统进行定量的性能评价上。

全书共分十二章，第一章，引论与概述；第二章，排队论概论；第三章，数据网的分层结构；第四章，数据链路层，举例和性能分析；第五章，网络层，流量控制和拥塞控制；第六章，网络层，路由选择功能；第七章，运输层；第八章，数据网中的轮询与随机访问；第九章，局部区域网；第十章，电路交换导论；第十一章，数字电路交换系统中的呼叫处理；第十二章，向综合网的演变。

本书可供大专院校通信专业的教师、高年级学生及研究生作为教材或教学参考书，也可供从事通信研究的人员、工程师及其他技术人员阅读，还可作为通信专业中级技术人员在职培训教材。

电 信 网  
——协议、建模与分析

〔美〕M.施瓦茨 著

屠世桢 译

责任编辑：王晓明

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本：850×1168 1/32      1991年2月      第一版  
印张：24      页数：384      1991年2月河北第1次印刷  
字数：637      千字      印数：1—2 000册

ISBN 7-115-04387-6/TN·412

定价：12.00 元

# 前 言

本书的目的是阐明过去二十年中电信领域的惊人变化。这种变化既包括用于改进数据通信的分组交换，也包括用于电话网的电路交换。现在可以将这两种技术看作是综合传输语音、数据、图象和其他业务的手段。预料这两种交换方式的基本原理将被用于未来的综合业务网中。

## 本书的结构

本书的内容是围绕OSI模型的分层结构组织起来的。第三章给出了这一模型的必要介绍。该章还简要介绍了IBM的系统网络结构(SNA)和国际接口建议X.25，以便读者对比。第五章中更详细地讨论了SNA和X.25。

第四章到第九章专门讨论分组交换；第十章、第十一章以及第十二章的一部分讨论电路交换。其余部分则介绍综合网。

本书的重点在于对电信网和系统进行定量的性能评价。在分组交换网以及综合了两种交换技术的电信网中，进行这一分析的主要工具是排队论。为使本书尽可能自成系统，所以第二章写了排队论导论。学习这一章内容的唯一预备知识是概率论。

本书曾以讲义形式用于正式的课程以及为工程师、程序员、系统分析人员和其他技术专家开设的短期课程。虽然如前所述，重点放在定量的性能评价上，但也提供了大量的定性材料。因此，本书可用来为有兴趣的工程师、分析人员和计算机科学家开设其需要、内容广泛而又有一定深度的电信网方面的课程。对于这一领域的基本概念本书能提供更多的定性的介绍；如果需要，在定性介绍的后面还有定量分析材料。

在哥伦比亚大学，本书用于两个学期，第一学期的计算机通信

网包括第一～第六章和第八章、第九章。第二学期专讲电路交换，包括第十～第十二章。讨论 OSI 运输层的第七章用于选修。按这个顺序听课的学生来自电气工程、计算机科学、运筹学和商学院以及其他领域。为适应那些不懂概率论或只懂得很少的学生，可以用第一、三、四、六、七章和八、九章的一部分开出一门概论性的课程。第五章中的某些定量部分，例如描述X.25和SNA中拥塞控制部分，也可以用于这样一门概论课。下表说明了在不同的时间、兴趣和预备知识条件下使用本书的各种选择。

| 课 程 形 式                          | 章 节                                                |
|----------------------------------|----------------------------------------------------|
| 一个学期，计算机通信，需要概率论知识               | 一～六、八、九章，如时间允许加上第七章的一部分                            |
| 一个学期，计算机通信，不需要概率论                | 一、三、四章（选一部分）、六、八、九章，加上5-1节，5-3节，5-3-2介绍以及选择第七章的一部分 |
| 一个学期，数字电路交换，需要概率论注：这一课程比分组交换课程更新 | 一、二、十～十二章                                          |
| 全年，两个学期，需要概率论                    | 一～六、八～十二章，如时间允许，选第七章的一部分                           |

M·施瓦茨

# 目 录

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| <b>第一章 引论与概述</b> .....           | ( 1 )   |
| 1-1 电路交换与分组交换——简要介绍 .....        | ( 1 )   |
| 1-2 对电信网的需求 .....                | ( 6 )   |
| 1-2-1 网间互联 .....                 | ( 11 )  |
| 1-3 分层的通信体系结构 .....              | ( 13 )  |
| 1-4 本书梗概 .....                   | ( 18 )  |
| <b>第二章 排队论概论</b> .....           | ( 21 )  |
| 2-1 泊松过程 .....                   | ( 24 )  |
| 2-2 $M/M/1$ 排队 .....             | ( 30 )  |
| 2-3 Little公式 $L=\lambda W$ ..... | ( 43 )  |
| 2-4 与状态有关的排队：生—灭过程 .....         | ( 47 )  |
| 2-5 $M/G/1$ 排队：均值分析 .....        | ( 56 )  |
| 2-6 非抢占优先级排队系统 .....             | ( 61 )  |
| <b>第三章 数据网的分层结构</b> .....        | ( 72 )  |
| 3-1 OSI标准体系结构和协议 .....           | ( 76 )  |
| 3-2 OSI协议的统一考察 .....             | ( 85 )  |
| 3-3 X.25协议 .....                 | ( 99 )  |
| 3-4 系统网络结构 (SNA) .....           | ( 104 ) |
| <b>第四章 数据链路层：举例和性能分析</b> .....   | ( 119 ) |
| 4-1 停顿—等待协议 .....                | ( 124 ) |
| 4-2 返回N (Go-Back-N) 协议 .....     | ( 127 ) |
| 4-2-1 吞吐效率与最佳分组长度 .....          | ( 130 ) |
| 4-3 高级数据链路控制 (HDLC) .....        | ( 134 ) |
| 4-3-1 吞吐量分析，平衡HDLC规程 .....       | ( 140 ) |

|                                                        |         |
|--------------------------------------------------------|---------|
| <b>第五章 网络层：流量控制与拥塞控制</b> .....                         | ( 161 ) |
| 5-1 X.25协议 .....                                       | ( 162 ) |
| 5-1-1 X.25的流量控制机理 .....                                | ( 171 ) |
| 5-2 窗式流量控制机理的分析 .....                                  | ( 174 ) |
| 5-2-1 虚电路模型 .....                                      | ( 177 ) |
| 5-2-2 滑动窗模型 .....                                      | ( 180 ) |
| 5-2-3 “闭窗应答”(Acknowledge-at-end-of-<br>Window)控制 ..... | ( 192 ) |
| 5-3 SNA路径控制 .....                                      | ( 198 ) |
| 5-3-1 虚路由的整速控制 .....                                   | ( 202 ) |
| 5-3-2 SNA的传输报头 .....                                   | ( 210 ) |
| 5-4 排队网 .....                                          | ( 213 ) |
| 5-4-1 乘积形式解, 指数网 .....                                 | ( 217 ) |
| 5-4-2 开放排队网 .....                                      | ( 219 ) |
| 5-4-3 封闭排队网 .....                                      | ( 225 ) |
| 5-4-4 均值分析 .....                                       | ( 233 ) |
| 5-5 拥塞控制用的限制输入缓存器方法 .....                              | ( 236 ) |
| <b>第六章 网络层：路由选择功能</b> .....                            | ( 261 ) |
| 6-1 分支式路由选择 .....                                      | ( 264 ) |
| 6-2 最短路径路由选择 .....                                     | ( 269 ) |
| 6-2-1 算法B的分散形式 .....                                   | ( 275 ) |
| 6-3 网络中路由选择与网络体系结构举例 .....                             | ( 285 ) |
| 6-3-1 面向虚电路的网络 .....                                   | ( 285 ) |
| 6-3-2 面向数据报的网络 .....                                   | ( 299 ) |
| 6-4 分布式路由选择算法的性能分析 .....                               | ( 318 ) |
| 6-4-1 分布算法B .....                                      | ( 320 ) |
| 6-4-2 前站算法 .....                                       | ( 323 ) |
| 6-4-3 无环行的分布路由选择算法 .....                               | ( 325 ) |
| 6-4-4 性能比较 .....                                       | ( 327 ) |

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| <b>第七章 运输层</b> .....             | ( 336 ) |
| 7-1 OSI运输协议 .....                | ( 338 ) |
| 7-1-1 概述 .....                   | ( 338 ) |
| 7-1-2 运输服务 .....                 | ( 344 ) |
| 7-1-3 协议原理 .....                 | ( 353 ) |
| 7-2 运输协议中的差错检测与差错恢复原理 .....      | ( 369 ) |
| 7-3 4类运输协议的差错检测与差错恢复原理 .....     | ( 376 ) |
| 7-4 总结, 4类运输协议——有限状态机 .....      | ( 388 ) |
| 7-5 传输控制协议(TCP)——与4类运输协议对比 ..... | ( 391 ) |
| <b>第八章 数据网中的轮询与随机访问</b> .....    | ( 409 ) |
| 8-1 控制访问: 轮询 .....               | ( 413 ) |
| 8-1-1 轮叫轮询 .....                 | ( 414 ) |
| 8-1-2 轮毂式轮询 .....                | ( 425 ) |
| 8-2 随机访问技术 .....                 | ( 429 ) |
| 8-2-1 纯Aloha .....               | ( 430 ) |
| 8-2-2 时隙Aloha .....              | ( 435 ) |
| 8-3 轮询与随机访问的比较 .....             | ( 439 ) |
| 8-3-1 都市网: CATV系统 .....          | ( 443 ) |
| 8-4 采用CSMA/CD的随机访问 .....         | ( 447 ) |
| <b>第九章 局部区域网</b> .....           | ( 458 ) |
| 9-1 CSMA/CD与令牌环的性能比较 .....       | ( 460 ) |
| 9-2 IEEE802局部区域网标准 .....         | ( 474 ) |
| 9-2-1 以太网: CSMA/CD局域网 .....      | ( 476 ) |
| 9-2-2 令牌传递环 .....                | ( 484 ) |
| <b>第十章 电路交换导论</b> .....          | ( 490 ) |
| 10-1 电路交换的简单模型: 排队方式 .....       | ( 493 ) |
| 10-2 电路交换与分组交换的比较: 简单模型 .....    | ( 505 ) |
| 10-3 话务工程的要点 .....               | ( 521 ) |
| 10-4 数字交换网 .....                 | ( 533 ) |

|             |                                    |                |
|-------------|------------------------------------|----------------|
| 10-4-1      | 时分交换 .....                         | ( 540 )        |
| 10-4-2      | 多级交换机的阻塞概率分析; Lee近似 .....          | ( 546 )        |
| 10-4-3      | 阻塞型交换机的改进近似分析 .....                | ( 551 )        |
| 10-5        | 数字交换系统举例 .....                     | ( 559 )        |
| 10-5-1      | AT & T的No.4ESS .....               | ( 560 )        |
| 10-5-2      | Italtel UT10/3交换系统 .....           | ( 564 )        |
| <b>第十一章</b> | <b>数字电路交换系统中的呼叫处理 .....</b>        | <b>( 577 )</b> |
| 11-1        | 软件组织和呼叫处理 .....                    | ( 578 )        |
| 11-1-1      | 举例: Italtel UT10/3(Prot) .....     | ( 582 )        |
| 11-1-2      | AT & T No.5ESS .....               | ( 585 )        |
| 11-2        | 呼叫处理规程的分析 .....                    | ( 589 )        |
| 11-3        | 电路交换机的过载控制 .....                   | ( 604 )        |
| 11-3-1      | 过载控制的理想化模型 .....                   | ( 605 )        |
| 11-3-2      | 分级制分布系统的过载控制 .....                 | ( 616 )        |
| <b>第十二章</b> | <b>向综合网的演变 .....</b>               | <b>( 636 )</b> |
| 12-1        | 电路交换网中的路由选择 .....                  | ( 637 )        |
| 12-1-1      | 分级式选路 .....                        | ( 637 )        |
| 12-1-2      | 不分级选路 .....                        | ( 640 )        |
| 12-1-3      | 迂回选路的业务量控制: 为首次选路业务<br>预留中继线 ..... | ( 649 )        |
| 12-2        | 电路交换网用的公共信道信令 .....                | ( 654 )        |
| 12-2-1      | 电文传送部分, 信令链路级 .....                | ( 660 )        |
| 12-2-2      | 信令系统的性能 .....                      | ( 663 )        |
| 12-2-3      | 高层特性 .....                         | ( 669 )        |
| 12-3        | 综合业务数字网 .....                      | ( 670 )        |
| 12-3-1      | 数学前奏: 矩母函数 .....                   | ( 674 )        |
| 12-3-2      | 综合语音和数据的模型 .....                   | ( 679 )        |
| 12-3-3      | 采用先进先出规则的综合 .....                  | ( 683 )        |
| 12-3-4      | 有抢占优先级的综合 .....                    | ( 690 )        |



|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 12-4 可移动边界策略.....            | ( 696 ) |
| 12-4-1 可移动边界方案的连续时间分析.....   | ( 699 ) |
| 12-4-2 可移动边界方案：轻载区的近似分析..... | ( 709 ) |
| 12-4-3 可移动边界方案：过载区流体流动近似分析   | ( 713 ) |
| 参考文献.....                    | ( 735 ) |
| 专用词汇.....                    | ( 748 ) |

# 第一章 引论与概述

## 1-1 电路交换与分组交换——简要介绍

本书重点集中在数据通信网上；在世界范围内已开设了几千个网以增强数据用户之间的通信能力。这些系统有小有大，小网用于在一幢建筑物或大院式综合体内连接数据终端和计算机，大网复盖整个国家，有些情况下，扩展到全球。有些网是专用的；其他一些是公用的——只要付钱谁需要都可使用它们。

有些网使用分组交换技术，在网中称作分组的数据块由信源发往信宿。信源和信宿可以是用户终端、计算机、打印机或其他型式的数据通信和/或数据处理装置。在本书要详细阐明的这种技术中，来自多个用户的分组共享同一套分发和传输设备。

另一些网是电路交换型的，它是我们所熟悉的普遍存在的电话网的最常见部分。在这些通常用于传输语音和数据的网络中，当一对或一组用户要通信时，在它们之间要建立一条专用传输通路并在传输过程一直保持着。现在正在开始部署将分组交换技术和电路交换技术结合起来的综合网；预计到本世纪90年代或以后，它们将以某种方式在这一领域占统治地位。

通信业务中最普遍的形式是在终端间或终端与计算机之间发送几个字符到400~1000字符的短字符组的交互式数据、在计算机之间或海量存储系统之间传输多达几百万字符（或字节）的文件传送和信息量更大的数字语音。此外还在考虑传输传真、图像和其他业务。

对于不断增加的数字语音传输需要作一些说明。语音传输仍是世界上最普遍的通信形式。至今，它在安装设施上用去了最大的投资。为处理语音发展起来的电话网已覆盖了全球的每一部份。所有的预测都表明：语音将继续是世界上通信设施最繁重的业务。

但是，世界上大量的电话设备仍是模拟的。它们被设计并专门制造出来是为了处理语音的。虽然电话网被广泛用于数据传输，但是数据信号通常必须用称作调制解调器的装置转换成语音形式的模拟信号(SCHW 1980a)。这就限制了数据传输速率最高为14.4kbps（更普遍的是将9600bps作为上限），而且只能用专用的、特定条件的传输设施。更为典型的是：在公用拨号电话网中，只能容纳1200到2400bps的数据比特率。

然而，数字传输和交换设施正日益增多地用于电话网。60年代初美国电话电报公司(AT&T)在美国率先将第一套数字载波系统投入商用。此后，大多数国家很快跟了上来。这导致在世界范围内部署了两种数字载波系统：以1.544Mbps传送的、用以处理24个64kbps语音信道（将很快改为32kbps语音信道）的T1系统以及2.048Mbps的30个语音信道的系统。前者广泛用于美国、加拿大和日本；后者作为CCITT建议标准\*，用于其他国家。（所用的特定格式将在第十章中作简要说明。更详细的说明见(SCHW 1980a)）这种类型的数字载波传输广泛用于短程通信，距离可达25英里。更高的比特率用于较长距离的传输。在传输设备之间处理呼叫的路由选择的数字交换系统于70年代中开始投入应用。电话管理局也迅速地采纳了这些系统。远程光纤传输系统的出现将加速向全数字电话网的转变。

一旦电话网变成全数字的，任何数据，不论是交互式数据、或是计算机间通信的数据、或是数字电话、数字图像均应能通过网络。各种型式的数据可能要作不同处理，但也可以综合起来处理

---

[SCHW 1980a] M. Schwartz, *Information Transmission, Modulation, and Noise*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1980.

(复接)。但是,现在由于电话网一部分是模拟的,一部分是数字的,所以在整个网上进行全数字传输并不总是能够实现的。虽然,许多电话传输系统现在提供了全数字传输能力,不过,仅在网络的某些选定部分才是从头到尾全数字化的。

虽然对于用分组形式实时传送语音的可能性问题有很大的兴趣,而且正在进行这种语音通信方式的研究;但是实时语音通信目前在全世界都是电路交换式的。在世界的各个地区已开发了多种电路交换的数据网。为此,本书将详细讨论电路交换技术和电路交换系统。在这些网中,要求通信的用户之间要建立起一个端对端的传输通路的专用信道。

本书的主要部分是专门讨论分组交换数据网的。这种网的历史比电路交换短得多,它的初期研究开始于60年代中期,从60年代后期到70年代中期人们的兴趣增强并加强了开发工作,而全力发展是在70年代中期以后。分组交换的起源是和60年代大型计算机(“host”,主机)的革命性发展直接联系在一起的。为了在硬件和软件开发中共享这些非常昂贵的系统,于是开始发展数据网。

正如我们现在所知道的,三种并行的主要研究工作加速了分组交换的发展。为了使终端用户能以较低的代价使用这些公司拥有的主机,在六十年代建立了分时共享服务公司。他们必须发展一种联网能力,以便使本国任一地方(最终扩展到全世界)的用户能与适当的主机通信。初期的例子是通用电气公司(GE)的信息服务(Information Services),目前该公司运营着一个世界上最大的网络,专用于数据传输。这一网络用于访问GE公司拥有的主机(SCHW 1977)。另一个重要的例子是Tymshare, Inc.,该公司开发了一个称为TYMNET(SCHW 1977)的网络,以控制对分布在全美

---

•CCITT(国际电信联盟的国际电报电话咨询委员会)以及制订标准的其他国际组织将在本书后面说明。

[SCHW 1977] M. Schwartz, *Computer-Communication Network Design and Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1977.

国的主机的访问。*TYMNET*的开发者们率先在商用分组交换技术方面进行了许多有意义的改革。*TYMNET*已扩展成为美国两个主要公用分组交换网中的一个(另一个是GTE的Telenet)。从交换节点数来看,*TYMNET*可能是世界上最大的分组交换网;现有1000多个联网节点。*TYMNET*将在本书后面详细讨论。

分组交换的第二个主要开发方面是由计算机制造厂商进行的,他们在许多方面作出了贡献。他们开发了称为通信处理器的专用计算机,以免除大型计算机(主机)的通信控制任务。他们开发了大型软件包以赋予主机指定的通信访问功能。最后,也是最重要的,他们率先提出并发展了分层通信结构的概念。这就使任意数量的设备——包括终端、通信处理器、计算机以及这些计算机中的应用程序——能够相互通信。特别是IBM公司从60年代后期开始在它的系统网络结构(SNA)方面进行了探索工作。在此基础上,1974年第一次正式宣布了SNA及其产品的应用。从那以后,这一体系结构一直在继续发展着。别的计算机厂商也发展了他们自己的体系结构。本书将在后面对SNA、数字设备公司(DEC)的DNA和宝来(Burrough)公司的BNA作出说明。

各种通信体系结构的蓬勃发展增强了智能系统成员之间的通信能力,但是也会增加不同制造厂家的系统之间通信时的障碍;这就导致国际标准化组织(ISO)作出强有力的努力去发展一种国际通信体系结构标准,以使各系统实现开放式的通信。这种努力始于1978年,两年后,即1980年,以其开放系统互联(OSI)参考模型的建议达到了顶点。该建议借鉴了IBM的SNA和其他计算机厂商的网络结构,包含了七层通信体系结构的概念,于1983年5月(IEEE1983b)最终被批准为国际标准。对每一层的研究在于最终确

---

(IEEE 1983 b) "Open Systems Interconnection (OSI) - New International Standards Architecture and Protocols for Distributed Information Systems," Special issue, Proc. IEEE, H.C.Folts and R. des Jardins, eds., vol. 71, no. 12, Dec. 1983

定该层的详细规范。这些工作是并行开展的，且有相当多的层次已经完成研究并被采纳作为标准。从第三章开始，本书要详细阐述OSI参考模型。指出以下一点是重要的：虽然制订这一国际标准的一个原始动机是为了发展分组交换技术，但是体系结构概念不只局限于分组交换。在某些情况下，实际网络的实现可以用电路交换作为通信的基础。除了在性能和提供给用户的性能目标方面可能出现差异以外，用户通信时就像看到一根“透明管道”，并无差异。（分组交换在传输时引起时延。电路交换通常采取阻塞方式，来使有些用户不能入网——即当无法提供资源时，用户会收到网络繁忙信号）。

推动分组交换技术的第三个主要方面在于美国国防部远景研究规划局开创和资助的研究工作。这一项要建立起一个称为ARPAnet数据网的开拓性任务也是从60年代后期开始并贯穿70年代的。这项研究的基本概念是“计算机公用事业”（*computer utility*），就是将各具特定功能的大型主机相互连接起来。这样，在美国任何地方的用户就可以访问任意一台主机并能利用它的专门软件或“咀嚼数字”的能力。必须开发一个基于通信网以连接这些主机，这就导致全世界开展了对分组交换的大量研究。在网络层，必须开发出通信处理器或集中器，它们能与主机对接并沿网络为分组选择路由。为此发明了选路和流量控制算法。分组（*Packet*）这个词就是ARPA研究者们为区分主机发向网络的长电文和为了改善网络性能而将这些电文分割成多个较小的数据组而创造的。由此就导致作为通信处理器的标志的分组交换这一术语的使用。

ARPAnet也制订了一个分层结构，它涉及到能使不同主机通信的高层协议，以及保证能在两端间满意地发送分组的低层协议。如前所述，分时共享计算机行业和计算机制造商当时也正在斟酌这些问题。

ARPAnet的实验在世界上引出了许多网络模型。美国的公用分组交换载波系统，GTE的Telenet就是从这一实验产生出来的。加拿大的Datapac（1976年开始运营的世界第一个公用数据网）、

法国的*Transpac*、日本的一些网以及世界上其他许多网都是根据这一经验和前述的分时共享公司和计算机制造商的经验发展起来的。本书后面将讨论*ARPAnet*。在(*SCHW 1977*)中有关于*ARPAnet*开发过程的详细说明、该网络在1976年时的实际结构以及引证的文献。

这项通过分组交换网传输数据的研究工作促进了*CCITT*的标准制订活动(*ISO*和*CCITT*两者制订标准的活动将在后面说明)。这一机构是由世界上各电话管理局派出的政府官方代表和观察员组成的。1976年提出了分组交换用的三层接口结构建议,称为*X.25*。从此*X.25*已差不多被每一个分组交换网和制造厂所采纳。这一结构将在第三章和第五章中详述。

## 1-2 对电信网的需求

上一节给出了数据网领域的简要介绍,谈到了我们常用的电路交换电话网和分组交换网这一新产物。但是,网的意义还不明确。为什么要开始部署一个网呢?

可以想像:少量用户是可以相互直接连接起来的。但是考虑将数百、数千以至数百万需要相互通信的用户直接连接起来的问题,显然,这是一项无法实现的任务。即使能够做到,人们也不一定愿意要直接连接,因为其中许多线路很少用得到。此外,任意一对新的通信用户需要增加一条新的直通线路。由此自然而然地产生了网的概念。一个网主要由用传输链路相互连接起来的网络交换机或节点组成。这些链路可以是导线、电缆、无线电、卫星或光纤。图1-1是一个简单例子。

这样一个网能容纳大量的用户,直到交换机处理能力的极限。因此,要通信的用户必须由网络节点选定(或交换)他们相应的路由。这个网络可专用于语音(电话网)、也可专用于数据,或两者共用。图1-1这一抽象的图在上述两种情况下都可使用。这种形式

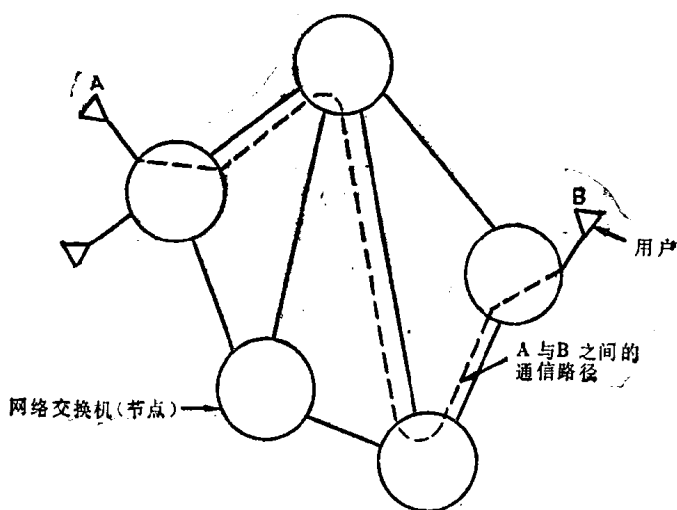


图 1-1 一个通信网的例子

的网可以使许多用户以经济效益较高的方式相互连接起来。它还能提供附加的服务和单个用户不可能以高经济效益来实现的特性。

图1-2是商用分组交换网的一个特例。这是1983年7月的SITA网。该网为SITA(国际航空电信协会)所拥有和运营,该组织是为154个国家的248条航线服务的非赢利合作机构。该网提供国际航线的预订服务,它将世界各地代办处的显示终端与航班预订计算机连接起来。SITA还为一些关系到航班运行、行政管理事务和商业活动的电报信息提供电信服务(SITA)。

图1-2的栅状网络只是该网的数据传输部分。它实质上是一个基干网,还有许多图中未画出的交换中心与它相连。图中那些交换中心是用9600bps和14400bps速率的电路相互连接的。图中许多链路是卫星电路。预订业务,称作A型业务,是交互式的,都是由大约80个字符长的短分组构成的。从代办处终端到遥控计算机往返的平均响应时间是3秒钟(SITA)。在典型的一年中,传送了50亿个

(SITA) A Pocket Guide to SITA, Information and Public Relations Department, SITA, Neuilly-sur-Seine, Fr., July 1983.



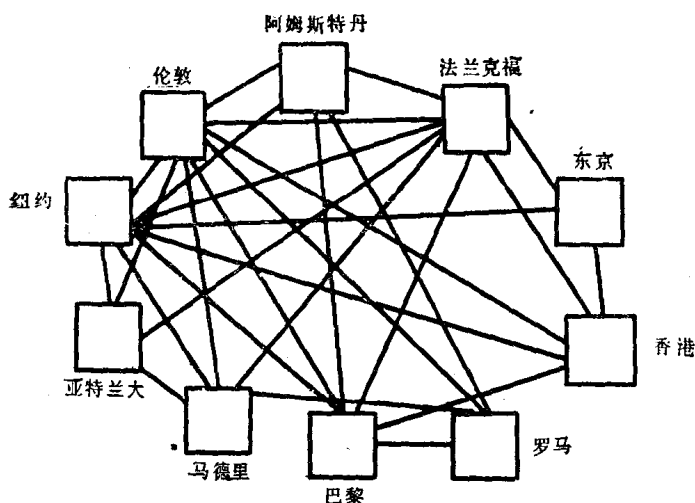


图 1-2 基干网, SITA, 1983

以上的A型报文。电报式的业务,称作B型,由大约200字符长的报文构成。在典型的一年里传送了4亿以上这类报文。对这些非对话式报文不提出严格的时间要求。

1983年,整个SITA网包括了181个交换中心,它们连接着10400个预约终端、11500个打印终端和54个航班预订系统。(参见(SITA)中的全图)显然,此网很大,需要大量的资源以实现高效和高经济效益的运行。它在世界范围内的运行表明了当今世界上国际电信的作用。(在(SCHW 1977)中有关于早期SITA网的更详细的和技术性的描述)

现在我们回到如图1-1所示的网络来更抽象地讨论网络的概念。先讨论连到网上的“用户”(Users)。至此,我们一直很不确切地使用用户这个词。在SITA网的例子中,用户就是终端和主计算机。在语音网中,绝大多数情况下,用户就是想对话的人。(在语音自动应答系统发达的情况下,就不再那么肯定了。)在通常的数据网情况下,用户这个词的含义要复杂得多。它可能代表一个坐在键盘或个人计算机前的人,可能代表远处的一个由计算机控制的视频终端或打印机,可能代表一台计算机或者代表计算机内的一个