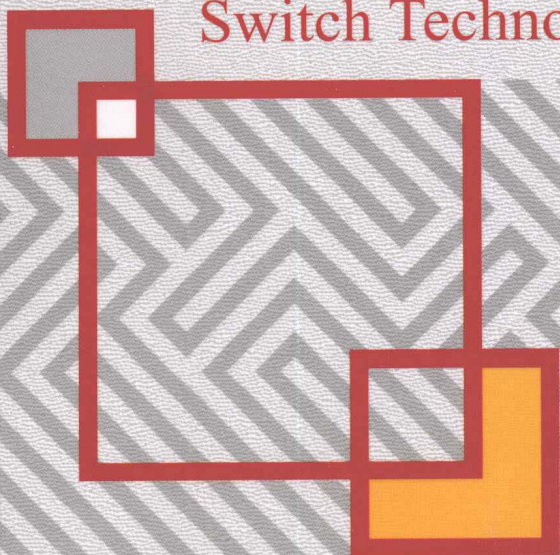


21世纪高等院校信息与通信工程规划教材  
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

# 现代网络交换 技术

罗国明 主编  
陈涓 施扬 张曙光 编著

Modern Network  
Switch Technology



 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

  
精品系列

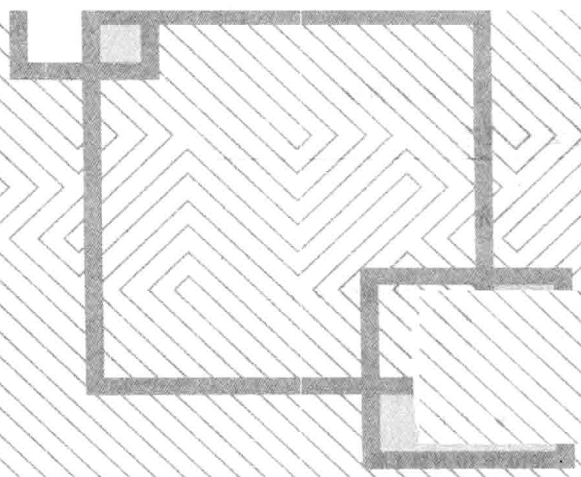


21世纪高等院校信息与通信工程规划教材  
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

# 现代网络交换 技术

罗国明 主编

陈涓 施扬 张曙光 编著



人民邮电出版社

北京



精品系列

## 图书在版编目(CIP)数据

现代网络交换技术 / 罗国明主编 ; 陈涓, 施扬, 张曙光编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2010.10  
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材  
ISBN 978-7-115-23351-6

I. ①现… II. ①罗… ②陈… ③施… ④张… III.  
①通信网—数据交换—高等学校—教材 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第176331号

## 内 容 提 要

本书从现代通信网络发展与融合的角度,全面系统地阐述了各类交换技术及其内在联系,并对推动通信网演进和发展的新技术进行了讨论。全书共分11章,内容包括:绪论、电路交换技术、信令系统、分组交换技术、智能网技术、局域网交换技术、路由器与IP交换技术、移动交换技术、IMS技术和光交换技术。本书各章均按照导言、正文、小结和习题的形式进行展开,便于教学和自学。

本书内容新颖、概念准确、论述严谨、图文并茂,系统性、可读性和适用性强。本书既注重基本概念和基本原理的阐述,又力图反映交换技术的最新发展,同时注重技术、原理与应用的结合。本书可作为高等院校本科通信、电子及相关专业的教学用书,也可作为通信与网络工程技术人员的自学用书或技术参考书。

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

### 现代网络交换技术

- 
- ◆ 主 编 罗国明  
编 著 陈 涓 施 扬 张曙光  
责任编辑 蒋 亮
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京艺辉印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 21.5 2010年10月第1版  
字数: 527千字 2010年10月北京第1次印刷

---

ISBN 978-7-115-23351-6

定价: 38.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223  
反盗版热线: (010)67171154

目前,适应教育转型需要,反映人才培养方案对教学内容要求,体现技术发展、演进和应用特色,系统、全面地介绍现代网络交换技术的相关教材还比较缺乏。为此,我们根据教学需要,面向通信、电子及相关专业编写了《现代网络交换技术》这本教材。编者根据多年在通信网与交换领域从事教学、科研、工程实践的经验和体会,以及对网络交换理论和实际问题的深刻理解,对教材内容进行了精心设计,较好地把握成熟、实用技术与技术热点之间的关系,既反映网络交换技术的发展趋势和规律,又不盲目迎合新技术的炒作,使读者对现代网络交换技术有一个清晰而全面的认识,掌握分析和解决问题的基本理论和思维方法。

全书共 11 章。第 1 章概论,介绍交换的基本概念及各类交换技术的产生和发展演进。第 1 章是本教材的总纲,后续各章皆围绕本章展开。第 2 章介绍经典的电路交换技术,包括数字程控交换机的软硬件结构、数字交换原理、呼叫处理原理、程序的执行管理和电路交换机的技术指标等,并对电话网的相关内容进行了阐述。第 3 章介绍信令的基本概念、No.7 信令系统、TUP、ISUP、SCCP、TCAP 和 No.7 信令网等有关信令方面的基本知识和典型信令流程。第 4 章介绍分组交换技术,阐述了分组交换原理、X.25、帧中继和 ATM 技术。第 5 章介绍智能网技术,重点阐述智能网的概念、体系结构及智能网系统的基本组成,并对几种典型的智能网业务的实现和信令流程进行介绍。第 6 章对局域网体系结构和局域网交换技术进行介绍,并对局域网技术的发展进行了展望。第 7 章介绍路由器与 IP 交换技术,重点阐述了 IP 技术基础、路由器的工作原理和典型的路由协议,并对 MPLS 技术及其应用进行介绍。第 8 章介绍 NGN 和软交换,阐述了 NGN 的体系结构,软交换的基本原理,软交换组网设备、主要协议及软交换的组网应用。第 9 章介绍移动交换技术,具体内容包括 GSM/GPRS 组网结构、功能实体、编号计划及移动网的发展演变,同时对移动通信的一般呼叫过程、移动性管理、会话管理、漫游与切换、网络安全和主要移动通信业务的信令流程进行介绍,并对移动软交换及 3G 核心网进行了讨论。第 10 章介绍 IMS 技术,包括 IMS 的由来、体系结构、通信流程和 IMS 与软交换、NGN 的关系等,并对基于 IMS 的固移融合进行了讨论。第 11 章介绍光交换技术,包括光交换的基本概念、光开关、光交换网络、光交换系统,以及自动交换光网络(ASON)。

本书每章开始都有引言,然后阐述教学内容,在每章结尾进行小结并给出习题和思考题供老师和学生参考。本书建议教学时数为 40 小时,其中,第 1 章~第 7 章为基本

## 2 | 现代网络交换技术

内容，在此基础上选学第 8 章～第 11 章。本书第 1、3、4、9、10 章由罗国明编写，第 2、8 章由施扬编写，第 5、6、7 章由陈涓编写，第 11 章由张曙光编写，全书由罗国明负责统稿总成。

在本书编写过程中，得到解放军理工大学通信工程学院领导的大力支持，通信工程学院电信交换教研室为此提供了许多方便，同时参考了附录中所列的众多参考书和资料，在此向这些领导、老师、同仁和参考书的编写作者表示衷心的感谢。

由于现代网络交换技术发展迅速，加之作者水平有限，书中错误及不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2010 年 8 月于南京

# 目 录

|                  |    |                    |    |
|------------------|----|--------------------|----|
| 第1章 绪论           | 1  | 2.4.2 呼叫处理程序组成     | 48 |
| 1.1 交换与通信网       | 1  | 2.4.3 呼叫处理程序结构     | 49 |
| 1.1.1 交换机的引入     | 1  | 2.4.4 呼叫处理实现原理     | 50 |
| 1.1.2 交换式通信网     | 2  | 2.5 程序的执行管理        | 55 |
| 1.2 通信网分层模型      | 5  | 2.5.1 程序的分级与管理     | 55 |
| 1.2.1 开放系统互连参考模型 | 5  | 2.5.2 时钟级程序的调度     | 57 |
| 1.2.2 分层模型的相关术语  | 7  | 2.5.3 基本级程序的调度     | 58 |
| 1.3 交换技术的分类      | 9  | 2.5.4 故障级程序的调度     | 59 |
| 1.3.1 电路交换技术     | 9  | 2.6 交换机相关技术指标      | 59 |
| 1.3.2 分组交换技术     | 10 | 2.6.1 性能指标         | 59 |
| 1.3.3 快速分组交换技术   | 13 | 2.6.2 QoS 指标       | 60 |
| 1.3.4 ATM 交换技术   | 13 | 2.6.3 可靠性指标        | 61 |
| 1.3.5 计算机网络交换技术  | 14 | 2.7 电话通信网          | 61 |
| 1.4 交换技术的发展      | 17 | 2.7.1 基本概念         | 61 |
| 1.4.1 电路交换的发展    | 17 | 2.7.2 电话网的结构       | 62 |
| 1.4.2 分组交换的发展    | 19 | 2.7.3 编号计划         | 66 |
| 1.4.3 宽带交换的发展    | 21 | 2.7.4 同步方式         | 67 |
| 1.4.4 NGN 与软交换   | 22 | 2.7.5 网络管理         | 69 |
| 本章小结             | 24 | 本章小结               | 73 |
| 习题与思考题           | 24 | 习题与思考题             | 75 |
| 第2章 电路交换技术       | 25 | 第3章 信令系统           | 76 |
| 2.1 交换机的硬件结构     | 25 | 3.1 概述             | 76 |
| 2.1.1 话路系统       | 26 | 3.2 随路信令           | 77 |
| 2.1.2 控制系统       | 29 | 3.2.1 用户线信令        | 77 |
| 2.2 数字交换原理       | 33 | 3.2.2 线路信令与记发器信令   | 78 |
| 2.2.1 时隙交换的概念    | 33 | 3.2.3 中国 No.1 信令   | 79 |
| 2.3.2 复用器与分路器    | 36 | 3.3 共路信令           | 81 |
| 2.2.3 数字交换网络     | 38 | 3.3.1 No.7 信令概述    | 82 |
| 2.3 交换机软件系统      | 41 | 3.3.2 No.7 信令的功能结构 | 83 |
| 2.3.1 交换软件组成     | 41 | 3.3.3 No.7 信令单元格式  | 85 |
| 2.3.2 交换软件特点     | 43 | 3.4 电话用户部分         | 87 |
| 2.3.3 操作系统       | 44 | 3.4.1 TUP 消息格式和编码  | 87 |
| 2.4 呼叫处理程序       | 47 | 3.4.2 TUP 消息       | 88 |
| 2.4.1 接续过程与状态转移  | 47 | 3.4.3 信令传送程序示例     | 89 |

|                           |     |                            |     |
|---------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 3.5 ISDN 用户部分 .....       | 90  | 4.4.3 帧中继交换原理 .....        | 129 |
| 3.5.1 ISUP 消息结构 .....     | 90  | 4.4.4 带宽管理和拥塞控制 .....      | 131 |
| 3.5.2 常用 ISUP 消息 .....    | 91  | 4.5 ATM 交换技术 .....         | 132 |
| 3.5.3 ISUP 功能和支持的业务 ..... | 92  | 4.5.1 ATM 技术基础 .....       | 132 |
| 3.5.4 基本的呼叫控制过程 .....     | 93  | 4.5.2 ATM 协议模型 .....       | 137 |
| 3.6 信令连接控制部分 .....        | 94  | 4.5.3 ATM 流量和拥塞控制 .....    | 141 |
| 3.6.1 SCCP 概述 .....       | 94  | 4.5.4 ATM 信令 .....         | 144 |
| 3.6.2 SCCP 的功能结构与业务 ..... | 95  | 本章小结 .....                 | 145 |
| 3.6.3 SCCP 消息格式 .....     | 96  | 习题与思考题 .....               | 146 |
| 3.6.4 SCCP 地址编码 .....     | 96  | <b>第 5 章 智能业务交换</b> .....  | 147 |
| 3.6.5 SCCP 寻址与选路 .....    | 99  | 5.1 概述 .....               | 147 |
| 3.7 事务处理能力 .....          | 101 | 5.1.1 智能网的提出 .....         | 147 |
| 3.7.1 概述 .....            | 101 | 5.1.2 智能网的基本概念 .....       | 148 |
| 3.7.2 TCAP 的功能结构 .....    | 101 | 5.1.3 智能网的演进 .....         | 149 |
| 3.7.3 TCAP 应用示例 .....     | 103 | 5.2 智能网概念模型 .....          | 149 |
| 3.8 信令网 .....             | 104 | 5.2.1 业务平面 .....           | 150 |
| 3.8.1 基本概念 .....          | 104 | 5.2.2 全局功能平面 .....         | 152 |
| 3.8.2 信令网的结构和特点 .....     | 105 | 5.2.3 分布功能平面 .....         | 153 |
| 3.8.3 信令网的可靠性措施 .....     | 106 | 5.2.4 物理平面 .....           | 154 |
| 3.8.4 我国的 No.7 信令网 .....  | 107 | 5.3 固定智能网 .....            | 156 |
| 3.8.5 信令路由及路由选择原则 .....   | 108 | 5.3.1 固定智能网结构 .....        | 156 |
| 本章小结 .....                | 108 | 5.3.2 典型业务 .....           | 160 |
| 习题与思考题 .....              | 109 | 5.4 移动智能网 .....            | 163 |
| <b>第 4 章 分组交换技术</b> ..... | 110 | 5.4.1 移动智能网结构 .....        | 163 |
| 4.1 概述 .....              | 110 | 5.4.2 典型业务 .....           | 167 |
| 4.2 分组交换原理 .....          | 110 | 5.5 Internet 与智能网 .....    | 168 |
| 4.2.1 统计复用 .....          | 111 | 5.6 下一代网络与智能网 .....        | 169 |
| 4.2.2 逻辑信道 .....          | 112 | 本章小结 .....                 | 171 |
| 4.2.3 虚电路与数据报 .....       | 113 | 习题与思考题 .....               | 171 |
| 4.2.4 路由选择 .....          | 115 | <b>第 6 章 局域网交换技术</b> ..... | 172 |
| 4.2.5 流量控制与拥塞控制 .....     | 117 | 6.1 局域网的基本概念 .....         | 172 |
| 4.3 X.25 建议 .....         | 120 | 6.1.1 网络拓扑结构 .....         | 172 |
| 4.3.1 分层协议结构 .....        | 120 | 6.1.2 传输介质 .....           | 174 |
| 4.3.2 LAPB 的帧结构 .....     | 121 | 6.2 局域网标准与体系结构 .....       | 176 |
| 4.3.3 链路层操作过程 .....       | 122 | 6.2.1 局域网标准——IEEE 802      |     |
| 4.3.4 分组层 .....           | 123 | 工作组 .....                  | 176 |
| 4.4 帧中继技术 .....           | 126 | 6.2.2 局域网体系结构 .....        | 177 |
| 4.4.1 帧中继基本概念 .....       | 126 | 6.2.3 组网设备 .....           | 180 |
| 4.4.2 协议结构与帧格式 .....      | 127 | 6.2.4 以太网 .....            | 182 |

|                          |            |                     |            |
|--------------------------|------------|---------------------|------------|
| 6.3 交换式局域网               | 190        | 8.3.3 信令网关          | 240        |
| 6.3.1 第二层交换              | 190        | 8.3.4 SIP 终端与服务器    | 242        |
| 6.3.2 第三层交换              | 193        | 8.4 软交换主要协议         | 243        |
| 6.3.3 第四层交换              | 195        | 8.4.1 H.248 协议      | 243        |
| 6.4 局域网技术的发展             | 196        | 8.4.2 H.323 协议      | 247        |
| 本章小结                     | 197        | 8.4.3 SIP           | 248        |
| 习题与思考题                   | 198        | 8.5 软交换组网技术         | 250        |
| <b>第 7 章 路由与 IP 交换技术</b> | <b>199</b> | 8.5.1 软交换组网方案       | 250        |
| 7.1 IP 技术基础              | 199        | 8.5.2 软交换网的编号       | 250        |
| 7.1.1 TCP/IP 协议结构        | 199        | 8.5.3 软交换相关问题       | 251        |
| 7.1.2 编址与域名服务            | 201        | 8.6 软交换的组网应用        | 253        |
| 7.1.3 IP 分组格式            | 207        | 8.6.1 软交换在固定网中的     |            |
| 7.1.4 TCP 与 UDP          | 208        | 应用                  | 253        |
| 7.2 IP 路由器               | 211        | 8.6.2 软交换在移动网中的应用   | 255        |
| 7.2.1 功能结构               | 212        | 本章小结                | 257        |
| 7.2.2 路由算法               | 213        | 习题与思考题              | 258        |
| 7.2.3 路由协议               | 214        | <b>第 9 章 移动交换技术</b> | <b>259</b> |
| 7.3 IP 与 ATM 的结合技术       | 221        | 9.1 移动通信概述          | 259        |
| 7.3.1 IP/ATM 结合模型        | 221        | 9.2 公用蜂窝移动网         | 260        |
| 7.3.2 IP 交换              | 223        | 9.2.1 网络结构          | 260        |
| 7.3.3 标签交换               | 223        | 9.2.2 编号计划          | 263        |
| 7.4 多协议标记交换              | 224        | 9.2.3 移动网的发展演变      | 264        |
| 7.4.1 基本概念               | 224        | 9.3 移动交换基本技术        | 265        |
| 7.4.2 工作原理               | 225        | 9.3.1 一般呼叫过程        | 265        |
| 7.4.3 MPLS 的发展与应用        | 228        | 9.3.2 自动漫游          | 268        |
| 本章小结                     | 230        | 9.3.3 越区切换          | 268        |
| 习题与思考题                   | 231        | 9.3.4 网络安全          | 270        |
| <b>第 8 章 NGN 与软交换技术</b>  | <b>232</b> | 9.4 接口与信令           | 272        |
| 8.1 下一代网络概述              | 232        | 9.4.1 空中接口信令        | 272        |
| 8.1.1 NGN 的定义和特点         | 232        | 9.4.2 基站接入接口        | 274        |
| 8.1.2 NGN 功能结构           | 233        | 9.5 移动应用部分          | 276        |
| 8.2 基于软交换的 NGN           | 234        | 9.5.1 MS 位置更新信令流程   | 278        |
| 8.2.1 软交换的概念             | 234        | 9.5.2 MS 始发的呼叫流程    | 279        |
| 8.2.2 NGN 网络结构           | 235        | 9.5.3 MS 终结的呼叫流程    | 280        |
| 8.2.3 软交换设备功能            | 236        | 9.5.4 短消息业务信令流程     | 281        |
| 8.2.4 软交换的特点             | 237        | 9.5.5 越区频道切换信令流程    | 282        |
| 8.3 软交换组网设备              | 237        | 9.6 通用分组无线电业务       | 283        |
| 8.3.1 综合接入设备             | 238        | 9.6.1 GPRS 网络架构     | 284        |
| 8.3.2 媒体网关               | 239        | 9.6.2 GPRS 网络业务     | 287        |



|                      |     |                     |     |
|----------------------|-----|---------------------|-----|
| 9.6.3 移动与会话管理        | 288 | 习题与思考题              | 318 |
| 9.6.4 GPRS 信令流程      | 292 | <b>第 11 章 光交换技术</b> | 319 |
| 9.6.5 GPRS 业务流程示例    | 294 | 11.1 概述             | 319 |
| <b>9.7 移动软交换技术</b>   | 296 | 11.2 光交换器件          | 320 |
| 9.7.1 基本概念           | 296 | 11.2.1 光开关          | 320 |
| 9.7.2 网络结构           | 296 | 11.2.2 波长转换器        | 323 |
| 9.7.3 向 3G 核心网演进     | 298 | 11.2.3 光存储器         | 323 |
| 9.7.4 全 IP 核心网的发展    | 301 | <b>11.3 光交换网络</b>   | 324 |
| 本章小结                 | 304 | 11.3.1 空分光交换网络      | 324 |
| 习题与思考题               | 305 | 11.3.2 时分光交换网络      | 325 |
| <b>第 10 章 IMS 技术</b> | 307 | 11.3.3 波分光交换网络      | 325 |
| 10.1 概述              | 307 | 11.3.4 混合型光交换网络     | 326 |
| 10.2 IMS 的体系结构       | 307 | 11.3.5 自由空间光交换网络    | 327 |
| 10.2.1 接口描述          | 310 | <b>11.4 光交换系统</b>   | 328 |
| 10.2.2 编号与标识         | 311 | 11.5 自动交换光网络        | 331 |
| 10.3 IMS 通信流程        | 312 | 本章小结                | 334 |
| 10.4 IMS 与软交换        | 315 | 习题与思考题              | 335 |
| 10.5 基于 IMS 的固移融合    | 316 | <b>参考文献</b>         | 336 |
| 本章小结                 | 318 |                     |     |

通信的目的是实现信息的传递。从广义上说,无论采用何种方法,使用何种介质,只要将信息从一地传送到另一地,均可称为通信,如古代的烽火报警、驿站传书,近代的邮政、电话通信及数据通信等。由“通信”到“电信”,仅仅一字之差,却引发了一场革命,拉开了信息通信技术发展的帷幕。今天我们所说的通信,通常是指电通信,即电信。随着通信网向数字化、智能化、综合化、宽带化、个人化方向的快速发展,各种交换技术不断涌现,并将按下一代网络(NGN)框架在控制、业务等层面进行融合。

## 1.1 交换与通信网

### 1.1.1 交换机的引入

在通信系统中,信息是以电信号或光信号的形式传输的。如图 1-1 所示,一个通信系统至少应包括终端和传输介质。终端将承载信息的信息,如话音、数据、图像、视频等转换成适合传输介质传输的信号传出去,同时将来自传输介质的信号还原成原始信息;传输介质则把信号从一个地点传送到另一个地点。这种仅涉及两个终端的单向或交互式的通信系统称为点对点通信系统。

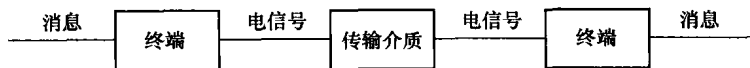


图 1-1 点对点通信

当存在多个终端且希望它们中的任何两个都能进行点对点通信时,最简单、最直接的方法就是把所有终端两两相连,如图 1-2 所示。这种连接方式称为全互连。全互连组网可以实现任何两个终端之间的通信需要,但存在下列不足:

- (1) 连接线对的数量随终端数的平方增加,当存在  $N$  个终端时,需要的连接线对数为  $N(N-1)/2$ 。
- (2) 当终端相距较远时,需要大量的长途线路。
- (3) 每个终端都有  $N-1$  对线与其他终端相接,因而每个终端需要  $N-1$  个线路接口。
- (4) 增加第  $N+1$  个终端时,必须增设  $N$  对线路。当  $N$  较大时,无法实用化。

因此,在实际应用中,全互连组网仅用于终端数目少、地理位置集中、可靠性要求很高

的场合。上述问题将随着用户数量的增加而变得更加突出。为此，人们考虑在用户分布密集的中心安装一个装置，把每个用户的终端（如电话机）用各自专用的线路连接到这台装置上，如图 1-3 所示。

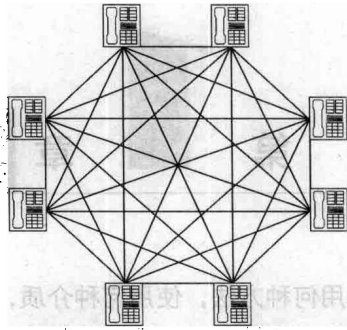


图 1-2 多用户全互连通信

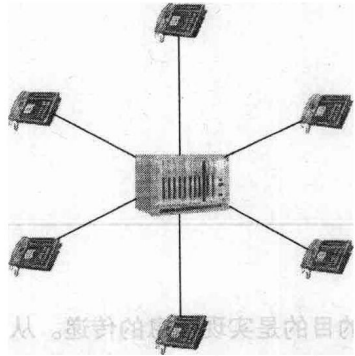


图 1-3 引入交换节点

这台装置相当于一个开关，因此在英文中称为“Switch”，交换技术称为“Switch Technology”。当任意两个用户需要通信（交换信息）时，该装置可以立即将这两个用户终端之间的通信线路连通（称为“接续”），让用户进行通信。当用户通信完毕后，该装置又可以立即把两个用户之间的连接线断开。由此可见，这台装置能够完成在任意两个用户之间交换信息的任务，因此称之为交换设备或交换机。有了交换设备， $N$  个用户只需要用  $N$  对连接线就可以满足通信要求了，这显然可以大大降低线路的投资费用。这里虽然增加了交换设备的费用，但由于它的利用率很高，相比之下，总的投资费用将下降，特别是当用户数量较多时更是明显。引入交换设备后，用户之间的通信方式就由点对点通信转变成交换式通信。

### 1.1.2 交换式通信网

如图 1-4 所示，最简单的通信网可以仅由一台交换机组成，每个用户（电话机或终端）通过一条专用的用户环线（简称用户线）与交换机中的相应接口相连接。

由交换机组成的通信网称为交换式通信网。交换式通信网的一个突出优点是很容易组成大型网络，以电话通信为例，当终端数目较多，且分散在相距很远的不同地区时，可以用交换机组成如图 1-5 所示的电话通信网。

在电话通信网中，直接连接电话机或终端的交换机称为本地交换机或市话交换机，相应的交换局称为端局或市话局；仅与其他交换机连接的交换机称为汇接交换机。当各交换机之间相距很远，必须使用长途线路连接时，汇接交换机也称为长途交换机。在电话网中，交换机之间的线路称为中继线。显然，长途交换设备仅涉及交换机之间的通信，而市内交换设备则既涉及交换机之间的通信，也涉及与用户终端之间的通信。类似地，市内汇接交换机也可只涉及交换机之间的通信。图 1-5 中的用户交换机常称为 PBX（Private Branch Exchange），用于集团内部通信。当 PBX 具有自动交换能力时，又称为 PABX（Private Automatic Branch Exchange）。公用电话网只负责接续到 PBX，进一步从 PBX 到电话机的接续常需要由话务员转接，或采用特殊的直接拨入设备（DID）。

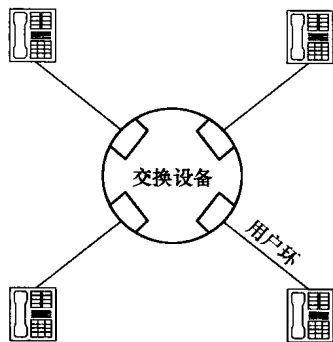


图 1-4 由一台交换机组成的通信网

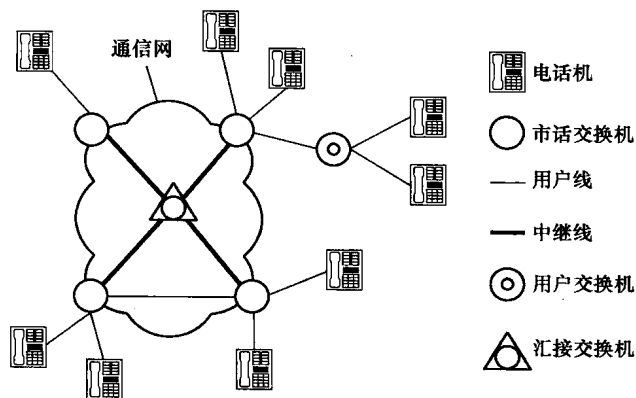


图 1-5 由多台交换机组成的通信网

由此可见，交换机在通信网中起着非常重要的作用，它就像公路网中的立交桥，可以使路上的车辆（信息）安全、快捷地通往任何一个道口（交换机输出端口）。按需实现任意入线与任意出线之间的互连是交换机最基本的任务。从交换机完成用户之间通信的不同情况来看，交换机应能控制以下 4 种接续。

- (1) 本局接续：指本局内各用户线之间的接续。
- (2) 出局接续：指用户线与出中继线之间的接续。
- (3) 入局接续：指入中继线与用户线之间的接续。
- (4) 转接接续：指入中继线与出中继线之间的接续。

为了完成上述接续，交换机必须具备以下最基本的功能。

(1) 为了能正确发现和判断用户的呼叫请求，交换机必须能正确接收和分析来自用户线或中继线的呼叫信号。

(2) 为了能正确发现和判断是哪一个用户发出的呼叫请求，交换机必须能正确接收和分析来自用户线或中继线的地址信号。

(3) 为了能正确与呼叫用户（主叫）给定的目标用户（被叫）建立接续，交换机必须能按目的地址进行选路，以及在中继线上转发信号。

(4) 能控制交换机内端口之间连接的建立。

(5) 能按照收到的释放信号要求拆除连接。

在局域网中也有被称为 LAN Switch 的交换机，或称网络交换机。LAN Switch 的基本任务是从输入端口进入的数据包根据其目的地址转发到输出端口，只要目的地址不变，出入口之间的对应关系就保持不变，相当于建立了端口之间的连接。因此，LAN Switch 和电话交换机具有类似的功能。

## 1. 通信网的定义

对于通信网的定义，站在不同的角度，具有不同的观点。从用户的角度来看，通信网是一个信息服务设施，甚至是一个娱乐服务设施，用户可以利用它获取信息、发送信息、参与娱乐等；而从工程师的角度来看，通信网则是由各种软硬件设施按照一定的规则互连在一起，完成信息传递任务的系统。工程师希望这个系统可管、可控、可运营。因此，我们给通信网下一个通俗的定义：通信网是由一定数量的节点（包括端系统、交换机）和连接这些节点的

传输系统有机地组织在一起的,按照约定的规则或协议完成任意用户间信息交换的通信体系。用户使用通信网可以克服空间、时间等障碍进行有效的信息交换。

## 2. 网络工作方式

在通信网中,网络将信息由信源传送到信宿有两种工作方式:面向连接(CO, Connection Oriented)方式和无连接(CL, Connectionless)方式。这两种工作方式可以比作铁路交通和公路交通。铁路交通是面向连接的,例如从北京到南京,只要铁路信号提前往沿路各站一送,道岔一合(类似交换),火车就可以从北京直达南京,一路畅通,准时到达。公路交通是无连接的,汽车从北京到南京一路要经过许多立交或岔路口,在每个路口都要进行选路,遇见道路拥塞时还要考虑如何绕行,如果拥塞情况较多就会影响运输,或者延误时间,或者货物受到影响,时效性(通信中称为服务质量)难以得到保证。

(1) 面向连接网络。面向连接网络的工作原理如图 1-6 所示。假定 A 站有三个数据分组要送往 C 站。A 站首先发送一个“呼叫请求”消息到节点 1,要求网络建立到 C 站的连接。节点 1 通过选路确定将该信息发送到节点 2,节点 2 又决定将该信息发送到节点 3,节点 3 又决定将该消息发送到节点 6,节点 6 最终将“呼叫请求”消息投送到 C 站。如果 C 站接受本次通信请求,就响应一个“呼叫接受”消息到节点 6,这个消息通过节点 3、2 和 1 原路返回到 A 站。现在连接已经建立,A 站和 C 站之间就可以经由这条建立的连接(图中虚线所示)来进行通信了。A 站需要发送的三个分组依次经过这个连接传送,各分组传送时不再需要选择路由。因此,来自 A 站的每个数据分组穿过节点 1、2、3、6,而来自 C 站的每个数据分组穿过节点 6、3、2、1。数据传送结束后,A、C 任意一站均可发送一个“释放请求”来终止连接。

(2) 无连接网络。无连接网络的工作原理如图 1-7 所示。假定 A 站有三个数据分组要送往 C 站,A 站直接将分组 1、2、3 按序发给节点 1。节点 1 需为每个数据分组独立选择路由。在分组 1 到达后,节点 1 获知输出至节点 2 的队列短于节点 4,于是它将分组 1 放入输出至节点 2 的队列。同理,对分组 2 的处理方式也是如此。对于分组 3,节点 1 发现现在输出到节点 4 的队列最短,因此将分组 3 放在输出到节点 4 的队列中。在通往 C 站的后续节点上,都作类似的选路处理。这样,每个分组虽都包含同样的目的地址,但并不一定走同一路由。另外,分组 3 先于数据分组 2 到达节点 6 也是完全可能的,因此,这些分组有可能以一种不同于它们发送时的顺序到达 C 站,这就需要 C 站重新对分组进行排列,以恢复它们原来的顺序。

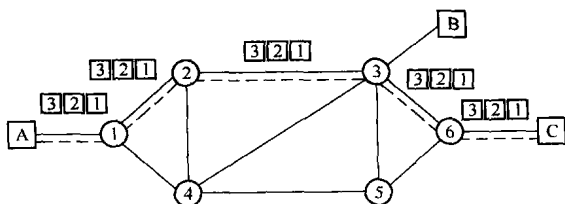


图 1-6 面向连接网络的工作原理

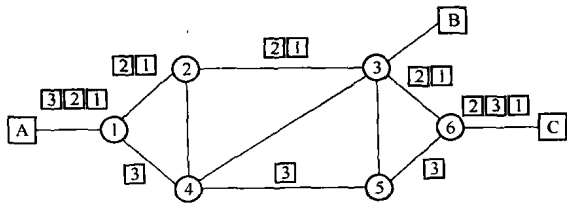


图 1-7 无连接网络的工作原理

面向连接和无连接的主要区别如下:

(1) 面向连接网络对每次通信总要经过建立连接、传送信息、释放连接三个阶段,而无连接网络并不为每次通信过程建立和拆除连接。

(2) 面向连接网络中的每一个节点必须为每一个呼叫选路,一旦路由确定连接即建立,



路由中各节点需要为接下来进行的通信维持连接的状态；无连接网络中的每个节点必须为每个传送的分组独立选路，但节点中不需要维持连接的状态。

(3) 用户信息较长时，面向连接方式通信效率较高；反之，使用无连接方式要好一些。

## 1.2 通信网分层模型

在通信网中，信息传递过程涉及诸多操作，如比特流传送、同步、流量控制、差错控制、拥塞控制、路由选择、会话过程管理和数据加密等。因此，寄希望由单一通信实体完成所有的操作和功能是不切实际的，同时也不利于定义具体的操作功能。现代通信网采用分层结构，主要原因如下。

(1) 分层可以降低网络设计的复杂度。网络功能越来越复杂，在单一模块中实现全部功能几乎不可能。如果每一层都基于其下面一层提供的功能进行构建，可以简化系统设计。

(2) 方便异构网络设备间的互连互通。用户可根据需要决定采用哪个层次的设备实现互连，例如终端用户关心的往往是应用层的互连，运营商关心的是网络层互连，它们使用的互连设施必然有所不同。

(3) 增强网络的可升级性。层次之间的相对独立和良好的接口设计，使得某层设施的升级更新不会对上、下层功能产生影响，便于提高整个网络的稳定性和灵活性。

(4) 促进竞争和设备制造商的分工。分层的实质是开放，任何制造商的产品只要遵循接口标准，就可以在网上运行，这打破了以往专用设备易于形成垄断的格局。另外，制造商可以分工制造不同层次的设备，例如软件提供商可以分工设计操作系统和应用层软件，硬件制造商可以分工设计不同层次的设备，开发设计工作可以并行展开，网络运营商则可以购买不同厂商的设备，并将它们互连在一起。

在不同网络系统中，划分的层数、每层的命名和功能各不相同，但其分层设计的思想基本相同，即每一层的设计目的都是为其上一层提供某种服务，同时屏蔽下层的实现细节。

### 1.2.1 开放系统互连参考模型

自从 20 世纪 60 年代数据通信问世以来，国际上各大厂商为了在数据通信领域占据主导地位，纷纷推出了各自的网络体系架构和标准，例如 IBM 公司的 SNA、Novell IPX/SPX 协议，Apple 公司的 AppleTalk 协议，DEC 公司的 DECNet，以及广泛流行的 TCP/IP 协议体系。同时，各大厂商针对自己的协议生产出了不同的硬件和软件。各厂商的共同努力无疑促进了网络技术的快速发展和设备种类的迅速增加。但由于多协议并存，网络变得越来越复杂，而且厂商之间的设备大都不能兼容，很难进行互通。为了解决网络之间的兼容性问题，帮助各个厂商生产出可兼容的网络设备，国际标准化组织 (ISO) 于 1984 年提出了开放系统互连参考模型 (OSI-RM, Open System Interconnection Reference Model)。这里，“开放”的意思是：只要遵循 OSI 标准，一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循同一标准的其他任何通信系统进行通信。现在，OSI 模型已经成为通信界尤其是网络界共同遵守的标准。许多主要的协议 (如 TCP/IP) 和网络 (如 X.25、FR、ATM、Internet 等) 均有相应的网络分层模型，这大大提高了引入新技术的方便性及对各种通信网的适应性。

为了方便在以后各章讨论问题，本书将有关 OSI 的内容放在第 1 章中介绍。如图 1-8 所

示，OSI 建议的参考模型具有七个层次。各层的主要功能如下：

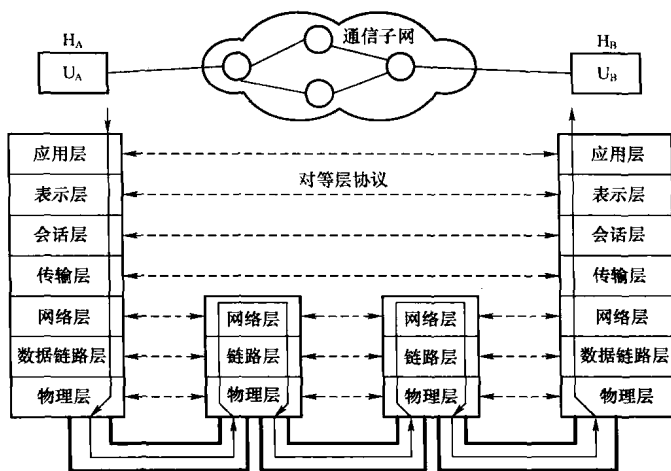


图 1-8 OSI-RM 的分层结构

(1) 物理层：该层功能是对物理线路进行数字化，以便透明地传送比特流。“透明”是指上层交给下层的数据不会被过滤或屏蔽掉，能够原样通过。如在电话线路上进行数据通信，需要使用调制解调器。发端调制解调器对数字信号进行调制后发送到线路，收端调制解调器对模拟信号进行解调后恢复出数字信号。调制解调器属于物理层设备，它与 PC 机的接口通常为 RS-232，RS-232 就是典型的物理层接口标准。

物理层传输的基本单位是比特。

(2) 数据链路层：该层的功能是在相邻节点之间无差错地传送以帧为单位的数据。帧包含控制信息和上层业务数据。帧中设有地址、序号、校验等控制信息，以便进行差错控制、流量控制等。常用的数据链路层协议是 ISO 推荐使用的高级数据链路控制 (HDLC, High-level Data Link Control) 规程。HDLC 是面向比特的数据传输控制规程。

数据链路层传输的基本单位是帧。

(3) 网络层：该层的功能是在网络的端到端之间传送分组。网络层需要选择合适的路由，使分组通过一段段的数据链路由网络的一端传送到另一端。对于大型网络，路由选择和流量控制较复杂。网络层服务可分为面向连接和无连接两种方式。面向连接服务也可称为虚电路服务，是一种可靠的、保证顺序的、无丢失的服务。无连接服务也常称为数据报服务，不保证顺序，可能有丢失，但简单、易于实现。网络层提供的服务使得它的上层不需处理网络中的数据传输和交换问题。值得指出的是，网络类型不同，功能差异很大。例如由广播信道所构成的通信子网，由于不存在路由选择问题，故一般不需要设置网络层。而对于一个通信子网来说，网络层是它的最高层。

网络层所传输信息的基本单位称为分组或包。

(4) 传输层 (运输层)：该层的功能是在网络层提供的服务基础上，为端到端用户提供可靠的通信服务。传输层只存在于端系统中，网络节点中一般没有传输层。如果网络层服务质量较高 (如虚电路服务)，传输层协议可以简单些；如果网络层质量不高 (如数据报服务)，传输层协议就较复杂。

传输层传输信息的基本单位是分段报文。

(5) 会话层：会话层又称会晤层，其任务是管理和协调两个计算机之间的信息交互；提供建立和使用连接的方法，一个连接就是一个“会话”；对会话进行管理，如单/双工选择等；为方便重传而进行通信任务分解和同步，当传输层连接出现故障时，整个通信活动不必从头开始，只需从同步点重传。

会话层传送的信息的基本单位也叫报文，但它与传输层的报文有本质的不同。

(6) 表示层：表示层主要解决用户信息的语法表示问题，向上对应用层提供服务。表示层对信息格式和编码起转换作用，例如将 ASCII 码转换成 EBCDIC 码等，同时将欲交换的数据从用户的抽象语法转换成适合 OSI 系统内部使用的传送语法。表示层还提供信息压缩的功能，如采用哈夫曼编码对文本进行压缩。此外，对传送的信息进行加密与解密也是表示层的任务之一。

表示层传送的信息也是以报文为单位的。

(7) 应用层：该层的功能是确定应用进程的性质，并为其提供通信接口。根据性质不同，应用层提供不同的功能和服务，如电子邮件、联机控制、可靠传输、远地操作等。由于应用种类繁多，因此应用层很复杂。

值得注意的是，尽管 OSI-RM 理论上相对完整，各层协议也考虑得较周到，但其实现却较复杂。目前，完全符合 OSI 七层协议的商用产品几乎没有，在市场上真正取得优势的是 TCP/IP 协议结构，它已经成为事实上的标准。但 OSI-RM 的设计思想为人们理解通信网奠定了基础。

## 1.2.2 分层模型的相关术语

### 1. 对等层间通信

在分层模型中，将位于不同系统（包括端系统和中间系统）的相同层称为对等层。在对等层之间进行通信的进程称为对等进程。如图 1-9 所示，对等层间通信产生和处理的对象称为协议数据单元（PDU, Protocol Data Unit）。因此，相应地有应用层协议数据单元（APDU, Application Protocol Data Unit）、表示层协议数据单元（PPDU, Presentation Protocol Data Unit）、会话层协议数据单元（SPDU, Session Protocol Data Unit）等。通常，把传输层数据单元称为段（Segment），网络层数据单元称为分组或包（Packet），数据链路层数据单元称为帧（Frame），物理层数据称为比特流（Bit）。

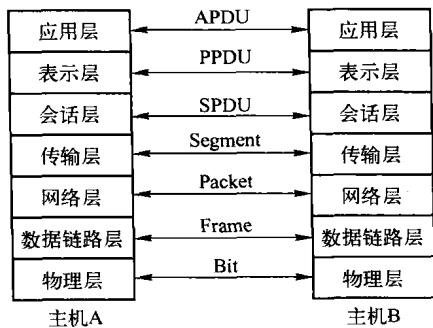


图 1-9 对等层间通信

在 OSI 参考模型中，主机的每一层并不能直接与对端对应层直接通信，而是通过下一层为其提供的服务来间接地与对等层通信。下层通过服务访问点（SAP, Service Access Point）为上层提供服务。例如，一个主机的传输层和另一个主机的对等传输层利用数据段进行通信。传输层的数据段向下交给网络层，成为网络层数据包的组成部分，网络层数据包又成为数据链路层帧的组成部分，最后在物理层转换成比特流，通过传输介质传送到对端物理层，再依次到达对端数据链路层、网络层、传输层，实现对等层之间的通信。为了保证对等层间能够准确无误地传递信息，对等层间必须运行相同的协议。例如，利用应用层服务 E-mail 的应用进程不会和对端应用层 Telnet 的应用进程通信，但可以对端 E-mail 的应用进程通信。

封装 (Encapsulation) 是实现同等层间通信的必要手段。封装是指主机或网络节点 (Node) 将要传送的数据用特定协议头封装打包的过程。OSI 七层模型的每一层都对数据进行封装, 以保证数据能够正确无误地到达目的地, 被终端主机理解和执行。

为简化描述, 一个具有五层协议的数据封装和解封过程如图 1-10 所示。

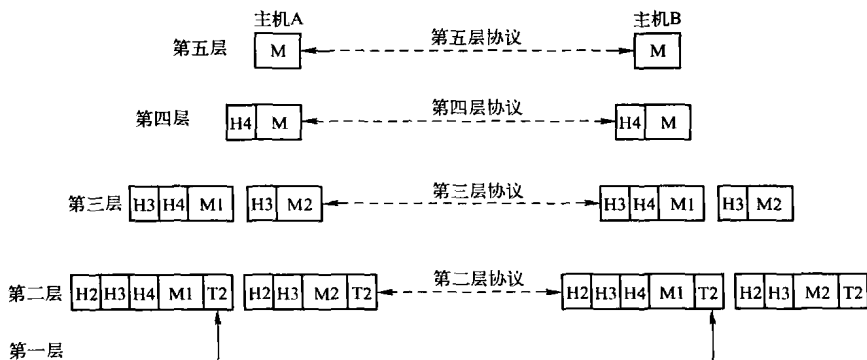


图 1-10 对等层数据封装和解封过程示例

在源端, 主机 A 将报文 M 自上而下传递, 并逐层打包 (第五层和第一层除外)。图中报文 M 由运行在第五层的一个进程产生, 该应用进程将 M 交给第四层传输, 第四层将 H4 字段加到 M 的前面以标识对端对报文的处理内容, 然后将打包后的数据传到第三层, H4 字段包含相应的协议控制信息, 例如消息序号。假如底层不能保证消息传递的有序性, 目的地主机的第四层利用该字段仍可按顺序将消息传到上层。第三层一般实现网络层的功能, 在该层协议对报文的最大长度是有限制的, 因此第三层必须将上层输入的超长数据分割成较小的单元, 每个单元称为一个分组或包, 并将第三层的控制信息 H3 加到每一个分组上, 图 1-10 中报文 M 被分割成分组 M1 和 M2 两部分。然后第三层根据分组转发表决定通过哪一个输出口将分组传到第二层。第二层除了为每一个分组加上控制信息 H2 外, 还为每个分组加上一个定界标志 T2, 它表示一个帧的结束, 也表示下一个帧的开始, 然后将帧交到第一层进行比特传输。在目的端, 分组则逐层向上传递, 每一层执行相应的协议处理并将消息逐层解封, 即 H $n$  字段只在目的端的第  $N$  层被处理, 然后被剥离, H $n$  字段不会出现在目的端的第  $N+1$  层。

## 2. 接口与服务

(1) 实体与服务访问点。所谓实体 (Entity), 是指任何可发送或接收信息的硬件或软件进程。第  $N$  层实体通常由两部分组成: 相邻层间的接口和第  $N$  层通信协议。层间接口由原语集合和相应的参数集共同定义, 它是第  $N$  层通信功能的执行体。第  $N$  层实体负责实现第  $N+1$  层需要的服务, 在这种模式中, 第  $N$  层是服务提供者, 而第  $N+1$  层则是服务的用户。第  $N$  层通信协议负责对等层间通信实体之间的交互, 因此, 把位于不同系统同一层中的实体叫做对等层实体。

服务只在服务访问点 (SAP) 处有效, 也就是说, 第  $N+1$  层必须通过第  $N$  层的 SAP 来使用第  $N$  层提供的服务。第  $N$  层可有多个 SAP, 每个 SAP 必须有唯一的逻辑地址或称为插口号来标识。

OSI 定义了如下 4 种用于层间信息交换的原语: ①请求原语 (Request); ②指示原语 (Indication); ③响应原语 (Response); ④证实原语 (Confirm)。