

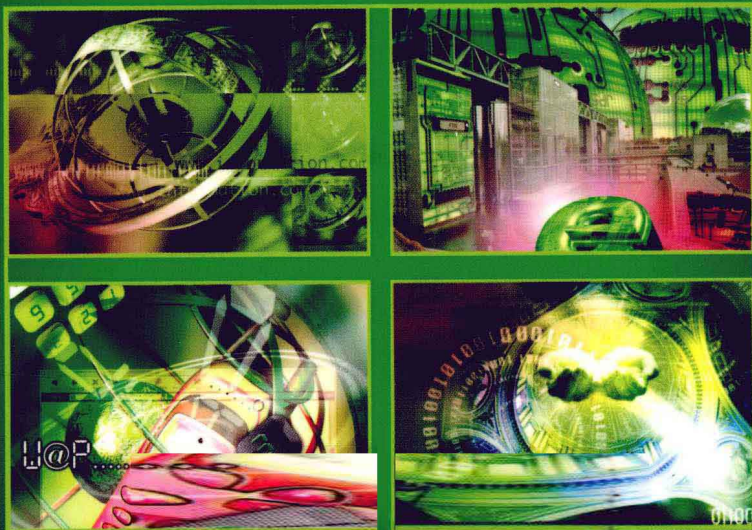


本书赠送电子教案

◆普通高等教育电子信息类规划教材◆

现代交换技术

MODERN SWITCHING TECHNOLOGIES



刘丽 吴华怡 李新宇 冯莉芳 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电子信息类规划教材

现代交换技术

刘丽 吴华怡 李新宇 冯莉芳 编著



机械工业出版社

本书系统地介绍了现代通信中的各种交换技术, 主要包括信令系统、电路交换、分组交换、ATM 交换、IP 交换、MPLS 交换、光交换和软交换技术, 并重点介绍了各类交换技术的原理、特点及分类, 同时还对相关技术做了比较, 对未来交换技术的发展进行了展望。

本书可作为高等院校通信专业及其相近专业的高年级本科生的教科书或参考书, 也可供具有一定通信理论基础的学生、科研人员和工程技术人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代交换技术 / 刘丽等编著. —北京: 机械工业出版社, 2011.6

普通高等教育电子信息类规划教材

ISBN 978-7-111-34135-2

I. ①现… II. ①刘… III. ①通信交换—高等学校—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第063999号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑: 李馨馨

责任编辑: 李馨馨 赵东旭

责任印制: 杨 曦

北京市朝阳展望印刷厂印刷

2011年5月第1版·第1次印刷

184mm × 260mm · 16印张 · 396千字

000 1-3000册

标准书号: ISBN 978-7-111-34135-2

定价: 32.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

交换作为信息网络的核心，现在已经融入了更多的先进技术。交换技术源于电话通信，其基本任务是在大规模网络中支持用户之间话音、文本、数据和图像等媒体信息端到端的有效传输。随着越来越多先进的通信技术的涌现，现代通信网中的交换方式主要体现为电路交换、分组交换、ATM 交换、IP 交换、MPLS、光交换和软交换等。

全书分为 8 章。第 1 章绪论，主要对各种交换技术做简要概述，从通信网与交换技术的发展历程入手，介绍了通信网的分类，简介了全书其余 7 章的重点内容；第 2 章介绍了信令的基本概念、分类、信令方式、中国 No.1 信令、No.7 信令及我国 No.7 信令网的结构；第 3 章着重介绍了电路交换技术的相关知识，包括数字交换网络的基本结构和分类、数字程控交换系统的硬件结构、软件结构以及性能分析；第 4 章主要介绍了分组交换技术的基本原理，分组交换网的典型应用 X.25 网络的基本协议和工作原理，并简要介绍了帧中继技术的原理和应用；第 5 章主要介绍了 ATM 交换技术，包括 ATM 的传输模式、信元结构、协议参考模型、交换原理和信令结构等；第 6 章主要介绍了 IP 交换技术的基本知识、标记交换基本概念、MPLS 的基本原理以及标记分发协议；第 7 章主要介绍了光交换的定义、特点，光交换技术的主要分类，光交换系统的核心器件，同时还对纯光交换和电交换进行了比较，并就光交换技术的发展趋势进行了讨论；第 8 章重点介绍了软交换技术，包括软交换的概念、功能、支持业务、体系结构、主要设备以及标准协议。本书系统地介绍了现代交换技术的各个层面，希望对读者学习、理解和研究现代交换技术提供帮助。

本书由北京科技大学的刘丽、吴华怡、李新宇和冯莉芳共同编著。其中，刘丽编写第 1 章和第 5 章，吴华怡编写第 6 章和第 7 章，李新宇编写第 3 章和第 4 章，冯莉芳编写第 2 章和第 8 章。

本书编写过程中参考了有关文献资料，在此对文献作者表示感谢，还要感谢所有对本书的编写与出版给予过帮助和支持的家人与朋友。

本书配有电子课件，读者可以从机械工业出版社网站（www.cmpedu.com）下载。

由于时间紧迫，加之编者水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

| | |
|----------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 通信网与交换技术概述 | 2 |
| 1.2 电路交换 | 4 |
| 1.3 分组交换和帧中继 | 6 |
| 1.3.1 分组交换 | 6 |
| 1.3.2 帧中继 | 8 |
| 1.4 ATM 交换 | 8 |
| 1.5 MPLS 技术 | 9 |
| 1.6 光交换 | 10 |
| 1.7 软交换 | 11 |
| 1.8 小结 | 12 |
| 1.9 习题 | 13 |
| 参考文献 | 14 |
| 第 2 章 信令系统 | 15 |
| 2.1 信令的基本概念和分类 | 16 |
| 2.1.1 信令的基本概念 | 16 |
| 2.1.2 信令的分类 | 17 |
| 2.1.3 信令方式 | 20 |
| 2.2 模拟用户线信令 | 21 |
| 2.2.1 用户话机发出的信令 | 21 |
| 2.2.2 交换机发出的信令 | 22 |
| 2.3 中国 No.1 信令 | 23 |
| 2.3.1 线路信令 | 24 |
| 2.3.2 记发器信令 | 27 |
| 2.4 No.7 信令系统 | 32 |
| 2.4.1 No.7 信令概述 | 32 |
| 2.4.2 No.7 信令系统的功能结构 | 35 |
| 2.4.3 信令消息传递部分 | 36 |
| 2.4.4 信令连接控制部分 | 40 |
| 2.4.5 事务处理能力部分 | 44 |
| 2.4.6 电话用户部分 | 46 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| 2.4.7 综合业务数字用户部分 | 52 |
| 2.5 我国 No.7 信令网的结构 | 55 |
| 2.6 小结 | 58 |
| 2.7 习题 | 60 |
| 参考文献 | 60 |
| 第 3 章 电路交换技术 | 61 |
| 3.1 电路交换概述 | 62 |
| 3.2 数字交换网络 | 64 |
| 3.2.1 交换系统的基本结构 | 64 |
| 3.2.2 交换网络的构成和分类 | 65 |
| 3.2.3 交换单元 | 67 |
| 3.2.4 多级交换网络 | 76 |
| 3.3 数字程控交换系统的硬件结构 | 86 |
| 3.3.1 硬件功能结构 | 86 |
| 3.3.2 话路子系统 | 87 |
| 3.3.3 控制子系统 | 91 |
| 3.4 数字程控交换系统软件 | 92 |
| 3.4.1 软件功能结构 | 92 |
| 3.4.2 呼叫处理程序 | 93 |
| 3.4.3 任务调度 | 94 |
| 3.5 性能分析 | 97 |
| 3.5.1 交换机的可靠性指标 | 97 |
| 3.5.2 话务负荷能力 | 97 |
| 3.5.3 呼叫处理能力 | 98 |
| 3.6 小结 | 99 |
| 3.7 习题 | 99 |
| 参考文献 | 100 |
| 第 4 章 分组交换技术 | 101 |
| 4.1 分组交换技术概述 | 102 |
| 4.2 分组交换的基本原理 | 102 |
| 4.2.1 报文交换与分组交换 | 103 |
| 4.2.2 同步时分复用和统计时分复用 | 105 |
| 4.2.3 路由选择策略和流量控制机制 | 106 |
| 4.2.4 虚电路方式和数据报交换方式 | 108 |
| 4.2.5 分组交换技术的特点 | 110 |
| 4.3 X.25 协议 | 111 |
| 4.3.1 X.25 协议的主要功能与特点 | 112 |
| 4.3.2 X.25 协议的层次结构 | 112 |
| 4.4 帧中继 | 119 |

| | | |
|--------------|-------------------------------|------------|
| 4.4.1 | 帧中继概述 | 119 |
| 4.4.2 | 帧中继协议栈结构和帧格式 | 120 |
| 4.4.3 | 帧中继交换原理 | 121 |
| 4.5 | 小结 | 122 |
| 4.6 | 习题 | 123 |
| | 参考文献 | 123 |
| 第 5 章 | ATM 交换技术 | 124 |
| 5.1 | ATM 交换技术概述 | 125 |
| 5.2 | ATM 传送模式及其信元结构 | 126 |
| 5.2.1 | ATM 传送模式 | 126 |
| 5.2.2 | ATM 信元结构 | 127 |
| 5.2.3 | ATM 面向连接的工作方式 | 129 |
| 5.3 | ATM 协议参考模型 | 131 |
| 5.3.1 | ATM 协议结构 | 131 |
| 5.3.2 | ATM 物理层 | 132 |
| 5.3.3 | ATM 层 | 134 |
| 5.3.4 | 适配层 | 134 |
| 5.4 | ATM 交换原理 | 138 |
| 5.4.1 | ATM 交换的基本原理 | 138 |
| 5.4.2 | ATM 交换系统的基本结构 | 139 |
| 5.4.3 | ATM 交换网络 | 141 |
| 5.4.4 | ATM 缓冲策略 | 146 |
| 5.4.5 | 选路控制 | 148 |
| 5.5 | ATM 网络信令 | 150 |
| 5.5.1 | ATM 网络信令标准及其体系结构 | 150 |
| 5.5.2 | UNI 信令 | 152 |
| 5.5.3 | NNI 信令 | 155 |
| 5.6 | 小结 | 162 |
| 5.7 | 习题 | 162 |
| | 参考文献 | 163 |
| 第 6 章 | IP 交换与 MPLS 交换技术 | 164 |
| 6.1 | IP 技术概述 | 165 |
| 6.1.1 | TCP/IP 结构 | 165 |
| 6.1.2 | IP/ATM 结合的模型 | 173 |
| 6.1.3 | 各种 IP 交换技术的比较 | 175 |
| 6.2 | 标记交换的基本概念 | 176 |
| 6.2.1 | 体系结构 | 176 |
| 6.2.2 | 组件 | 178 |
| 6.2.3 | 标记分配方法 | 180 |

| | |
|--------------------------|------------|
| 6.3 MPLS 的基本原理 | 182 |
| 6.3.1 MPLS 标签的格式 | 182 |
| 6.3.2 MPLS 的网络结构 | 183 |
| 6.4 标记分发协议 | 187 |
| 6.4.1 TDP 功能 | 188 |
| 6.4.2 TDP 信息单元的类型 | 188 |
| 6.5 小结 | 189 |
| 6.6 习题 | 190 |
| 参考文献 | 190 |
| 第 7 章 光交换技术 | 192 |
| 7.1 光交换技术概述 | 193 |
| 7.2 光交换技术的分类 | 193 |
| 7.2.1 时分光交换 | 195 |
| 7.2.2 波/频分光交换 | 196 |
| 7.2.3 空分光交换 | 197 |
| 7.2.4 ATM 光交换 | 198 |
| 7.2.5 光分组交换 | 199 |
| 7.2.6 复合型光交换 | 201 |
| 7.2.7 光突发交换 | 203 |
| 7.2.8 光标记交换 | 204 |
| 7.2.9 智能光交换 | 205 |
| 7.3 光交换系统的核心器件 | 207 |
| 7.4 纯光交换和电交换的比较 | 207 |
| 7.5 光交换技术的发展趋势 | 209 |
| 7.6 小结 | 210 |
| 7.7 习题 | 210 |
| 参考文献 | 211 |
| 第 8 章 软交换技术 | 212 |
| 8.1 软交换技术概述 | 213 |
| 8.1.1 软交换概念的提出及定义 | 213 |
| 8.1.2 软交换的主要特点 | 213 |
| 8.1.3 软交换与 NGN 的关系 | 214 |
| 8.2 软交换的功能及支持的业务 | 215 |
| 8.2.1 软交换的功能 | 215 |
| 8.2.2 软交换支持的业务 | 216 |
| 8.3 软交换的体系结构及主要设备 | 217 |
| 8.3.1 软交换的体系结构 | 217 |
| 8.3.2 软交换的主要设备 | 218 |
| 8.4 软交换的接口 | 219 |

| | |
|----------------------|-----|
| 8.5 软交换的标准协议 | 220 |
| 8.5.1 软交换协议概述 | 220 |
| 8.5.2 MGCP | 222 |
| 8.5.3 H.248 协议 | 226 |
| 8.5.4 H.323 协议 | 231 |
| 8.5.5 SIP | 242 |
| 8.6 小结 | 247 |
| 8.7 习题 | 248 |
| 参考文献 | 248 |

第 1 章

绪 论

- 1.1 通信网与交换技术概述
- 1.2 电路交换
- 1.3 分组交换和帧中继
- 1.4 ATM 交换
- 1.5 MPLS 技术
- 1.6 光交换
- 1.7 软交换
- 1.8 小结
- 1.9 习题
- 参考文献

在人们的生产和社会活动中总伴随着信息的传递和交换，这一过程称为通信。为了实现多个终端之间的相互通信，后来又引入了公共交换节点用以实现信息的转发，这就诞生了交换技术。

不同的通信网络由于所支持的业务特性不同，其交换设备所采用的交换方式也各不相同。从信息传送模式来看，目前通信网所采用的交换技术包括电路传送模式、分组传送模式和异步传送模式，所涉及的交换方式包括电路交换、分组交换、ATM 交换、光交换和软交换等。本章主要对各种交换技术做简要介绍，为后续章节的学习打下基础。

1.1 通信网与交换技术概述

通信网是使用交换设备、传输设备，将地理上分散的用户终端设备相互连接起来实现通信和信息交换的系统。通信网由用户终端设备、传输系统和交换设备组成。终端设备包括通信系统的信源、信宿以及消息信号的变换器和反变换器；传输系统是连接网络节点的媒介，是信息的传送通道。在网络节点之间，一般有频分载波传输系统、PCM 准同步数字系列 (PDH) 和同步数字系列 (SDH)、数字微波传输系统、光纤传输系统等实现方式。交换设备是构成通信网的核心要素，是在终端之间和交换机之间进行路由选择、接续控制的设备。它的基本功能是完成接入交换节点传输链路的汇集、转接接续和分配，以实现多点到多点之间的信息转移交互。

通信网可按以下几种不同的角度分类：

- 按网络拓扑结构的不同可分为星形网、树形网、环形网和总线型网。
- 按所传输的信号形式的不同可分为数字通信网、模拟通信网。
- 按传输范围的不同可分为本地网、长途网、国际网。
- 按传输媒介的不同可分为有线通信网、无线通信网。
- 按业务种类的不同可分为电话通信网、数据通信网、综合业务数字网 (ISDN)。
- 按通信网采用的传送模式的不同可分为电路传送网 (PSTN、ISDN)、分组传送网 (PSPDN、FRN)、异步传送网 (B-ISDN)。

交换设备是构成通信网的核心设备，通信网支持业务的能力及表现出的特性与其所采用的交换方式密切相关，不同的交换技术形成了不同的通信网络。

交换技术源于电话通信，其基本任务是在大规模网络中支持用户之间话音、文本、数据、图像等媒体信息端到端的有效传输。也就是说，任何一个主叫用户的信息均可以通过网络中的交换节点发送到指定的任何一个或多个被叫用户。

通信系统至少应由终端和传输信道组成，仅由两个终端连接而成的通信系统称做点对点通信，一点发送多点接收的通信系统称做广播通信。

当存在多个终端，并且希望其中的任意两个终端之间都能进行点对点通信时，最直接的方法就是把所有终端都两两相连，如图 1-1 所示。这样的连接方式称做全互连方式。全互连方式存在下列一些缺点：

- 1) N 个终端互连时，需用 $N(N-1)/2$ 条线对，并且线对数量以终端数的平方增加。
- 2) 当这些终端相距较远时，大量的长途线路将成为最主要的投资成本。
- 3) 每个终端都须配置 $N-1$ 对线路与其他终端相连，每个终端需要 $N-1$ 个线路接口。

- 4) 当增加第 N 个终端时, 必须增加 N 对线路。
- 5) 每个用户终端出线过多, 使得出线选择非常复杂, 较难维护。

如果在用户分布密集地带安装一个设备, 并且在该设备中为每个终端配置一个专用线路接口, 通过一条专用线对(称做用户线)连接到终端, 那么当某一终端用户想要和任何其他终端用户通信时, 可由该中心设备完成所需要的选线和连接功能, 使得连接到该设备上的所有终端用户都能实现相互通信, 通信结束时再由该中心设备断开连线。这样的中心设备称做交换机。用户终端通过交换机互连的示意图如图 1-2 所示。有了交换机, N 个用户只需要 N 对线路就可以满足互连要求, 线路的投资费用大大降低, 用户线的维护也变得简单方便。尽管这样增加了交换设备的投资成本, 但交换设备可为更多的终端提供共享服务, 从而使总成本降低。

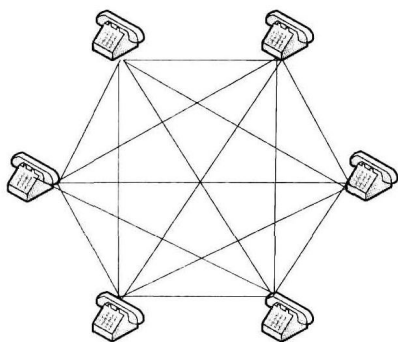


图 1-1 多终端全互连方式

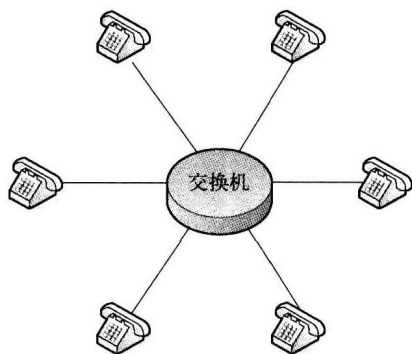


图 1-2 用户终端通过交换机互连的示意图

当用户终端数量很多并且分布的区域很广时, 就要设置多个交换节点, 交换节点间通过中继线相连, 并且随着网络覆盖范围的扩大, 交换节点之间不能通过网状连接方式进行互连, 而是要引入汇接交换节点, 组成如图 1-3 所示的通信网, 以便进一步节省网络传输资源。网络中直接连接用户终端的交换机称做本地交换机或端局交换机, 端局交换机既负责交换机之间的通信连接, 也完成与终端之间的连接服务; 只与各交换机连接的交换机称做汇接交换机, 汇接交换机只负责交换机之间的业务转移连接; 用户交换机完成企业内部之间以及与公共电信网络的电话交换。交换机和用户终端之间的线路称做用户线, 交换机之间的线路称为中继线。

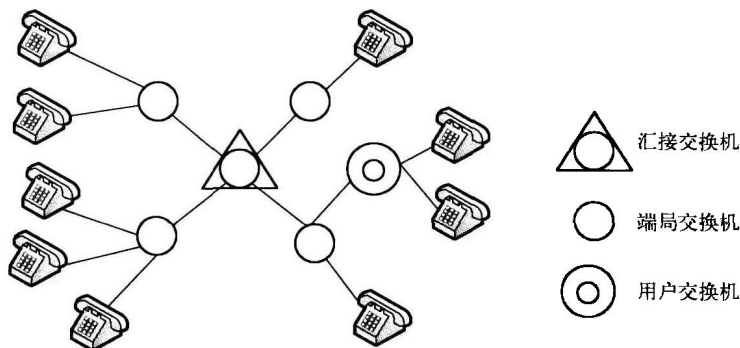


图 1-3 采用多个交换节点的通信网

电信网络中, 交换节点可控制以下几种类型的接续:

- 1) 本局接续, 即完成同一个交换机上连接的用户线之间的接续。
- 2) 出局接续, 即完成连接在交换节点上的用户线与出中继线之间的接续。
- 3) 入局接续, 即完成连接在交换节点上的入中继线与用户线之间的接续。
- 4) 转接接续, 即完成连接在交换节点上的入中继线与出中继线之间的接续。

为了完成上述的交换接续, 交换节点必须具备如下基本功能:

- 1) 能正确接收和分析从用户线和中继线发来的呼叫控制信号。
- 2) 能正确接收和分析从用户线和中继线发来的地址信号。
- 3) 能按目的地址正确地进行选路以及在中继线上转发信号。
- 4) 能控制连接的建立与拆除。

构成通信网的基本要素是终端设备、传输系统和转接交换设备。其中, 交换设备是通信网的核心。由于通信网上传送的业务包含了语音、数据、图像和传真等不同类型的信号, 各个业务的组织模式和要求不尽相同, 因而交换设备也有所不同。例如, 电话通信具有比较恒定的比特流特征, 对时延特性要求较为严格, 因此采用电路交换方式; 数据通信突发性较强, 对可靠性要求很高, 对时间特性要求较低, 常采用存储转发的分组交换方式; 图像通信要求较宽的频带占用, 并且对实时性和可靠性都有较高的要求, 因此需要结合电路交换和分组交换传送特性的 ATM 交换技术。下面分别介绍各种交换技术。

1.2 电路交换

电路交换是指交换设备为通信双方的信息传送建立一条专用的电路级的数据传输通路。这种传输通路是双向的, 是承载用户信息的物理层媒介, 可以是一对铜线、一个频段, 或者是时分复用电路上的一个时隙。电路交换方式采用预分配电路资源方式, 即在一次接续中, 电路资源预先分配给一对用户固定使用, 不管在这条电路上是否有数据传输, 电路都一直被占用, 直到双方通信完毕拆除连接为止。电路交换中交换设备只负责建立连接, 不对用户信息进行任何检测、识别或处理。

电话网就是采用电路交换方式。当用户需要发送数据时, 交换机就在主叫用户终端和被叫用户终端之间接续一条数据传输通路。打电话时, 首先摘下话机拨号, 拨号完毕, 交换机为双方建立连接, 等一方挂机后, 交换机把双方的线路断开, 为双方各自开始一次新的通话作好准备。因此, 电路交换的动作就是在通信时建立连接电路, 通信完毕时拆除连接电路, 整个过程不对通信双方传送信息的内容作任何处理。

1. 电路交换的工作过程

经由电路交换的通信包括呼叫建立、信息传输和连接拆除 3 个阶段。

(1) 呼叫建立

呼叫建立阶段通过呼叫信令完成逐个节点的接续过程, 建立起一条端到端的通信电路。以电话通信为例, 其呼叫建立过程可描述为: 主叫用户通过摘机发出请求信令, 交换机收到请求信令后, 检查接受该呼叫服务的可用资源环境, 如果有空闲可用的收号器和电路资源, 向主叫用户送拨号音, 主叫用户拨号告知交换机需要连接的被叫用户地址。交换机接收主叫

用户所拨号码后, 如果被叫用户属于本交换机所辖范围, 测试被叫忙闲状态, 被叫空闲则向被叫振铃并向主叫送回铃音, 否则向主叫送忙音。如果被叫用户不属于本交换机所辖范围, 则还应由主叫方交换机通过交换机之间的中继线向被叫方交换机或汇接交换机发送局间信令信号, 通知相关交换机协助建立主叫用户到被叫用户之间的通信电路。被叫用户收到振铃信号并摘机后, 各交换机建立主、被叫用户间的双向通信电路接续, 双方用户进入信息传输阶段(通话)。

(2) 信息传输

信息传输阶段是在已经建立的端到端的连接通路上透明地传送信号。主、被叫终端间的通信链路建立后, 双方用户通过用户线和交换机内部建立的接续链路以及中继线共同组成的通信电路进行双向通信。通信期间, 通信双方始终独占已建立的通信电路互传信息, 不允许其他通信使用该电路。

(3) 连接拆除

连接拆除阶段是完成一次连接信息传送后, 拆除该电路的连接, 释放节点和信道资源。在完成数据或信号的传输后, 由主叫或被叫向本地交换机提出终止当前通信的信令, 各节点相应拆除该电路的对应连接, 释放由本次通信电路所占用的节点和信道资源, 复原内部接续链路和占用的中继线等, 以供其他呼叫使用。

2. 电路交换的特点

电路交换是在通信之前先建立连接, 通信过程中固定分配带宽、独占信道的实时交换, 适用于语音、图像等实时性要求高的业务, 是目前电话网的基本交换方式。下面介绍电路交换的特点。

(1) 面向连接

电路交换技术在通信开始之前先建立一条端到端的连接, 连接建立后, 通信就沿着这条路径进行, 在通信期间始终占用这条信道, 通信完毕才释放所占用的信道。早期的电话通信网中, 为每一个呼叫建立的每一个连接实际上就是一条物理线路。后来产生了时分多路复用(Time Division Multiplex, TDM)技术, 可以将一条物理线路划分为若干个时隙。这样, 为每一个呼叫建立的连接也就变成了许多段线路中不同时段间的连接, 多个用户就可以通过特定的TDM时段来传送数字化的语音信号。

(2) 同步时分复用, 固定分配带宽

电路交换中数据传输采用同步时分复用技术。时分多路复用是将传输信号的时间分割成若干时间片(时隙), 利用不同时段传输各路不同信号, 多路信号使用各自的时隙。同步时分复用采用固定时间片分配方式, 即将传输信号的时间划分为基本时间单位(帧), 每帧占用时长为 $125\mu\text{s}$, 每帧再分成等长度的多个时隙, 并按顺序编号, 所有帧中编号相同的时隙组成一个恒定速率的子信道, 一个子信道传递一个话路的信息。

时分多路复用建立在抽样定理的基础上, 使用抽样定理将连续的基带信号变成在时间上离散的抽样脉冲。这样, 当抽样脉冲占据较短时间时, 在抽样脉冲之间就留出了时间空隙。利用这种空隙便可以传输其他信号的抽样值, 因此就有可能在一条信道同时传输若干基带信号。

电路交换设备将承载声音的模拟信号转换成脉冲调制(Pulse Code Modulation, PCM)

数字信号，在交换机之间进行交换和转移。PCM 一次群的帧结构是，在时长为 $125\mu\text{s}$ 的一个帧周期内共有 32 个时隙，其中有 30 个话路时隙，一个同步时隙和一个信令时隙。每个时隙时间为 $3.9\mu\text{s}$ ，传送 8 位码，所以在一个取样周期内，30/32 路 PCM 传输码率为 2.048Mbit/s ，而每一路码率为 64kbit/s ，即对每路通信所分配的带宽是固定的。在信息传送阶段不管有无信息传送，都占用该信道。

(3) 信息传送无差错控制，信息具有透明性

电路交换对所传送的信息不作处理，这称为透明传送，进行低速率数据传送时也不进行速率、码型的变换。此外，电路交换对传送的信息也不作差错控制，因此没有循环校验 (Cyclic Redundancy Check, CRC) 和重发等差错控制机制。

(4) 基于呼叫损失的流量控制

电路交换采用基于呼叫损失控制的方法来处理业务流量，过负荷时呼损率增加，但不影响已建立的呼叫。这种流量控制方法符合实时业务的特性。

电路交换方式的优点是实时性好、信息传输时延小，而且对一次接续来说，传输时延固定不变，适用于实时、大批量、连续的数据传输。其缺点主要表现为：

① 采用固定的分配带宽，电路利用率低，并且从电路建立到进行数据传输，直至通信链路拆除，通道都是专用的，因而不适合处理多速率的突发业务；

② 对传送信息没有差错控制机制，数据交换的可靠性没有保障，不适合对可靠性要求较高的数据传输业务。

1.3 分组交换和帧中继

1.3.1 分组交换

分组交换技术是为了适应数据通信和计算机通信的需要而发展起来的。由于数据通信对时间响应延迟的要求不太严格，而对传送差错率的要求很高，因此可采用分组的存储转发方式进行传输和交换。

分组交换将用户要传送的报文分割成若干定长或不定长的数据块（即分组），分组由分组头和其后的用户数据部分组成。分组头包含可供选路的信息和控制信息，如接收和发送地址标识、序号、优先等级、校验序列等控制信息。分组以存储转发方式在数据通信网内传输。分组交换技术传输可靠且线路利用率较高，是一种比较理想的数据通信方式。

1. 分组交换原理

分组交换以分组为单位进行传输和交换数据文件。其基本原理是采用存储转发技术，将到达交换节点的分组先送到存储器暂时存储，对所收到的各个分组分别处理，按其中分组头的选路信息选择去向，以先来先服务的原则在目的方向路由上排队等候，当相应的输出电路有空闲时，将信息发送到能到达目的地的下一个交换节点，完成转发，最后送到目的地址。这一存储转发的过程就是分组交换的基本过程。

分组交换利用统计时分复用原理，将一条数据链路复用成多个逻辑信道，以实现数据的分组传送。通过标记来识别属于同一用户的各个分组，能够动态分配带宽。

2. 分组交换方式

为适应不同业务的要求, 分组交换提供了两种交换方式, 即虚电路方式和数据报方式。

(1) 虚电路方式

虚电路方式是一种面向连接的数据交换技术, 即在用户传送数据之前通过发送呼叫请求分组建立端到端的虚电路, 一旦虚电路建立后, 属于同一呼叫的数据分组均沿着已建立的虚通路按顺序进行传送。当用户通信结束时, 通过发送呼叫清除分组来发出拆链请求, 由网络来拆除该连接。虚电路的连接不同于电路交换中的物理连接, 而是逻辑连接。交换机在用户发出呼叫请求时为该通信在经历的每段传输链路上分配一个逻辑信道标识, 在一条物理线路上可以同时建立多个虚电路, 以达到资源共享。

虚电路方式的每个分组头中含有对应于所建立的逻辑信道的标识, 因此不需进行复杂的选路。属于同一呼叫的各分组在同一条虚电路上传送, 按原有的顺序到达终点, 不会产生失序现象。虚电路方式对故障较为敏感, 当传输链路或交换节点发生故障时, 可能引起虚电路的中断, 需要重新建立。

(2) 数据报方式

数据报方式是一种面向无连接的数据交换技术。发送数据前不需要先建立连接, 每个分组头中包含详细的源和目的端点的地址信息, 各个分组依据分组头中的目的地址独立地进行选路; 属于同一呼叫的各分组可能沿着不同的路径到达终点, 会引起失序, 在网络终点必须对收到的分组按照报文的原始数据分组的组织顺序进行重排。由于各个分组可选择不同的路由, 对网络故障不敏感, 从而可靠性较高。数据报方式没有建立连接过程, 而是一边选路, 一边传送信息, 因而信息传送时延比面向连接方式的时延大。

3. 分组交换的特点

(1) 具有面向连接和无连接两种工作方式

虚电路采用面向连接的工作方式, 工作过程包括连接建立、数据传输和连接拆除。数据报采用无连接工作方式。

(2) 统计时分复用, 动态分配带宽

用户数据信息以分组为单位动态统计时分复用传输线路和网络资源, 提高了资源利用率。

同步时分复用采用固定时隙分配的形式, 对每路话路都固定地分配了一个公共信道的时隙, 是“对号入座”的位置化信道, 用户不传送信息也占有该信道, 这就造成了资源浪费。而统计时分复用能动态地将公共信道的时隙实行“按需分配”, 即根据信号源是否需要发送数据信号和信号本身对带宽的需求情况来分配时隙, 传输通道上某个用户的数据分组在时间上不占用固定的位置, 以“先来先服务”的原则进行复用传送, 通过标记来识别属于同一用户的各个分组, 能够动态分配带宽。

分组交换技术的这种统计复用的存储转发方式, 特别适合传输速率动态变化很大的数据业务。

(3) 信息传送有差错控制, 可靠性高

为保证数据传送的可靠性, 在数据分组中通常设置 CRC 校验码对数据信息进行检错和纠错, 并且采用逐段转发、出错重发的控制措施, 分组交换所采用的 X.25 协议的数据链路层和分组层都设有差错控制机制。

(4) 基于呼叫延迟机制的流量控制

分组交换的工作过程是存储转发，当数据流量较大时，分组被交换节点存储，排队等待处理，不像电路交换那样直接将过负荷的呼叫损失掉。

分组交换的主要缺点是需要用户在用户数据之外附加较多的传输控制信息，因此通信效率较低。由于网络附加的信息较多，影响了分组交换的传输效率。另外，交换机实现技术复杂。分组交换机需要对抵达的每个分组进行分析处理，以确定其特性和传输路径，必要时还需自动调整路由，因此要求交换机具有较高的处理能力。

1.3.2 帧中继

分组交换基于 X.25 协议，该协议包含 3 层，第一层为物理层，第二层为数据链路层，第三层为分组层，对应于 OSI 模型的下三层。分组交换的低速率主要是由复杂的协议处理引起的，特别是在各段链路上进行差错控制和流量控制。分组交换中复杂的协议处理使其难以满足高速率的数据通信，帧中继技术是在 X.25 分组交换技术基础上，在数字与光纤传输线路逐渐替代已有的模拟线路，用户终端日益智能化的条件下诞生并发展起来的一种快速分组交换传输技术。

帧中继简化了分组交换协议，只包含物理层和数据链路层，用户信息以帧（可变长）为单位进行传输，并对用户信息流进行统计复用。

帧中继仅完成 OSI 物理层和链路层的核心功能，将流量控制、纠错等功能交给智能终端去完成，大大简化了 X.25 分组交换协议。交换节点只负责传递分组，不会执行任何纠错、重发等，一旦检测出被损坏的分组，该分组就会被丢弃，检测帧丢失和请求重发是接收终端系统的工作，从而简化了交换节点机之间的处理过程。

帧中继采用虚电路技术，能充分利用网络资源，因而帧中继具有吞吐量高、时延低、适合突发性业务等特点。

帧中继使用光纤作为传输介质，因此误码率极低，能实现近似无差错传输，减少了进行差错校验的开销，提高了网络的吞吐量。帧中继主要应用在广域网（WAN）中，支持多种数据型业务，如局域网（LAN）互连、计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）、文件传送、图像业务等。

1.4 ATM 交换

随着 Internet 与多媒体技术的飞速发展，迫使电信网络向宽带综合业务数字网（Broadband Integrated Service Digital Network, B-ISDN）方向发展。这要求通信网络和交换设备既要能够传输高可靠性的数据业务，又要传输实时性的电话和电视信号业务，而电路交换和分组交换都不能够胜任这种综合的宽带高速交换任务。电路交换实时性好，但其信道带宽分配缺乏灵活性，当数据的传输速率及其突发性变化很大时，交换的控制就变得十分复杂，信道利用率低。分组交换有效地提高了信道利用率，并保证了数据的可靠性，但是当数据传输速率很高时，协议数据单元在各层的处理成为很大的开销，无法满足实时性很强的业务的时延要求，不适合于处理实时性要求高的通信业务。异步传送模式（Asynchronous Transfer Mode, ATM）是在融合了电路交换和分组交换的优点的基础上演进发展起来的一种