



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家级特色专业 · 通信工程 · 核心课程规划教材

现代交换原理与技术

Modern Switching Principles and Technology

(第3版)

罗国明 沈庆国 张曙光 彭来献 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>

014037831

TN91-43
11-3

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材

现代交换原理与技术

(第3版)

罗国明 沈庆国 张曙光 彭来献 编著



电子工业出版社

TN91-43
11-3

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIING



北航 C1725872

内 容 简 介

本书从下一代通信网与网络融合的角度,全面、系统地介绍与电信网、互联网和移动通信网相关的各类交换技术的基本概念和工作原理,并对推动通信网演进和发展的新技术进行讨论。全书共10章,主要内容包括:交换技术概论,电路交换,信令系统,分组交换,智能网业务交换,IP网与多层次交换,宽带IP网络与新一代互联网,下一代网络与软交换,移动交换,光交换。

本书概念准确、系统性强,论述严谨、教学功能突出,内容新颖、图文并茂。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,重视理论与实际的结合。本书可作为高等院校通信、电子及相关专业本科和研究生的教学用书,也可作为通信与网络工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代交换原理与技术 / 罗国明等编著. —3版. —北京:电子工业出版社,2014.4
国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材
ISBN 978-7-121-22626-7

I. ①现… II. ①罗… 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(2014)第045289号

责任编辑:韩同平 特约编辑:李佩乾

印 刷:北京季峰印刷有限公司

装 订:北京季峰印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:20.5 字数:580千字

印 次:2014年4月第1次印刷

印 数:3000册 定价:49.90元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

教材建设是高等学校组织教学和进行学科建设的重要内容。

为贯彻落实教育部“质量工程”的具体工作，把课程、教材建设与资源共享提上新的高度，电子工业出版社充分发挥在电子信息领域的教育出版优势和独树一帜的品牌影响力，适时推出了这套“国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材”。

与以往出版的同类教材相比，这套教材具有以下特点：

- (1) 专业特色鲜明：以本科通信工程专业的专业核心课程为主线。
- (2) 注重先进性、系统性、教学适用性：基本理论阐述精练，深入浅出，便于自学；注意吸收新理论、新技术成果；加强实践性与应用性，结合实例进行讲解。
- (3) 配套教学支持：每本教材配有教学课件（电子教案），部分重要课程配套出版教学辅导书。
- (4) 质量保证：本套教材特别吸纳或整合了以下优秀资源：
 - ① 多数教材来源于优秀教材的修订和再版，包括教育部“十五”、“十一五”等历届国家级规划教材、国家级或省部级获奖教材、历届全国统编教材等。
 - ② 多数作者为著名教材作者、国家级/省级教学名师、国家级/省级优秀教学团队负责人。
 - ③ 其他优秀教学资源，如国家级/省级精品课程、国家级教学示范中心等组织编写的、体现相应课程或课程群特色的配套教材。

为做好本套教材的编写、出版工作，我们聘请了多位国内通信教育领域的著名教授作为教材顾问，并聘请了清华大学、东南大学、上海交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校电子信息学院（系）的院长（系主任）成立教材编委会，从根本上保证了教材的高质量。在此对他们的辛勤工作表示衷心的感谢。

我们坚信：一流的教师队伍，一定有一流的教学理念和方法；一流的教学内容，需要配备一流的教材，从而体现一流的教学管理和教学质量。

电子工业出版社

《国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材》顾问委员

(按姓名音序排列)

迟惠生(北京大学)

程时昕(东南大学)

冯重熙(清华大学)

李承恕(北京交通大学)

吴伟陵(北京邮电大学)

吴诗其(电子科技大学)

谢希仁(解放军理工大学)

袁保宗(北京交通大学)

《国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材》编审委员

(按姓名音序排列)

主任委员 樊昌信(西安电子科技大学)

副主任委员

顾婉仪(北京邮电大学)

李建东(西安电子科技大学)

彭启琮(电子科技大学)

王金龙(解放军理工大学)

王希勤(清华大学)

王传臣(电子工业出版社)

吴镇扬(东南大学)

张思东(北京交通大学)

委员

安建平(北京理工大学)

鲍长春(北京工业大学)

陈咏恩(同济大学)

邓建国(西安交通大学)

段哲民(西北工业大学)

樊昌信(西安电子科技大学)

范平志(西南交通大学)

方勇(上海大学)

酆广增(南京邮电大学)

顾婉仪(北京邮电大学)

顾学迈(哈尔滨工业大学)

康健(吉林大学)

李建东(西安电子科技大学)

李晓峰(电子科技大学)

刘璐(山东大学)

彭启琮(电子科技大学)

仇佩亮(浙江大学)

唐朝京(国防科技大学)

唐向宏(杭州电子科技大学)

田宝玉(北京邮电大学)

王金龙(解放军理工大学)

王希勤(清华大学)

王祖林(北京航空航天大学)

王传臣(电子工业出版社)

韦岗(华南理工大学)

吴镇扬(东南大学)

徐昌庆(上海交通大学)

张德民(重庆邮电大学)

张思东(北京交通大学)

郑建生(武汉大学)

朱光喜(华中科技大学)

朱秀昌(南京邮电大学)

投稿联系方式: 韩同平编辑 (010)88254525 E-mail: hantp@phei.com.cn

序

通信网是现代信息社会的基础设施，交换设备是通信网的重要组成部分，交换技术是通信网的核心技术。随着通信网向数字化、综合化、智能化、宽带化、个人化方向的快速发展，各种新型交换技术，如多层交换、多协议标记交换、智能业务交换、NGN 与软交换、光交换技术等不断涌现，并将按下一代网络（NGN）的框架在传送、控制、业务等层面进行融合。交换领域出现的“新技术层出不穷，多种技术同时发展，技术可选择性不易确定”的局面，对于从事通信网与交换技术相关领域工作的专业人员，在这样的形势面前难免出现许多困惑，需要有一本专业书籍来帮助他们理清：哪些技术是最基本、最有用，而必须掌握的；哪些技术是当前发展的热点，虽然还不成熟但必须高度关注；哪些技术已经不再有发展前途，但其基本思想和技术要点仍然必须了解。呈现在读者面前的这本《现代交换原理与技术》教材就起到了这样的作用。

本书作者是解放军理工大学通信工程学院（原解放军南京通信工程学院）的几位教授和副教授。由于所处环境和研究任务的需要，通信工程学院是国内较早涉足通信网与交换技术领域的一所实力雄厚的高等院校。早在 20 世纪 80 年代初，该学院就设置了电信交换专业，开始进行以数字程控交换和分组交换为主的教学与科研。先后承担和完成了多项国家自然科学基金与国家“863”项目的研究，并与企业合作完成了 2000 门数字程控交换机、万门数字程控交换机、军用智能网、军用 ATM 交换机、32 万门级 CDMA 移动交换机等科研项目的研制，是国内在电信交换与通信网技术领域有较大影响的院校之一。

参编人员长期从事交换技术与通信网领域的教学与科研工作，具有丰富的实践经验，对通信网与交换各技术领域的理论和实践问题具有深刻理解。本教材在内容上进行了精心设计，对各种交换原理与技术进行了系统梳理和全面概括，把它们有机地联系在一起，形成一个较为完整的体系。较好地把握了成熟、实用的技术与技术发展热点之间的关系，把飞速发展的具体技术同基本原理较好地结合起来，全书层次清晰、内容深入浅出，系统性、先进性和适用性都较强，可读性好。

目前，电信网、互联网和有线电视网的融合正在成为网络发展与演进的主题，面对技术发展和人才培养的客观需要，各院校通信与电子类专业也在进行教学改革、优化课程体系，而市场上真正把握高等院校教学规律和特点，兼具知识性、实用性和教学性一体的教材并不多。本教材的出版，将在一定程度上满足这方面的需求。

中国科学院院士
中国工程院院士
北京邮电大学教授

第3版前言

第3版按照“注重基本理论、面向工程应用、适应技术发展”的思想进行修订，并进一步优化教材结构、更新教材内容。

第3版在结构和内容上的变化主要体现在：(1)在章节结构上，将第2章和第3章整合为一章——电路交换；将第7章和第8章整合为一章——IP网与多层次交换。(2)在基本原理方面，进一步加强电路交换与信令系统的基础性和教学性作用；突出分组交换原理和ATM的技术精髓，以及智能网的概念模型和工作原理；将与IP网相关的多层次交换技术进行整合，增强其原理性与系统性。(3)在技术发展方面，结合NGN近年来的发展和应用，增加IPV6、新一代互联网体系结构；充实IMS和光交换；增加面向LTE/4G网络的演进的分组核心网(EPC)等内容。

本教材具有以下特点：

(1)结构科学合理。本教材根据高等院校通信与电子类专业对通信网交换技术的教学需要，从下一代网络与“三网”融合，固定网与移动网融合的角度，对纷繁复杂的交换理论、原理和技术进行了系统的梳理和科学的组织，合理地把握了成熟、实用和技术热点之间的关系，同时注重理论与实际的结合，并将该领域最本质的原理与技术呈现给读者。体系新、内容精，反映了网络交换技术的最新发展。

(2)内容系统、精炼。按照教育认知规律，对教材内容进行了精心设计；将不断发展的交换技术同基本原理有机地结合起来，形成完整的知识体系。做到启发思维、诱导探索，学以致用。通过本教材进行教学，使学生能够建立起通信全程全网的思维理念，掌握分析问题和解决问题的方法，奠定任职教育和岗位培训的坚实基础。

全书按60学时进行设计；若课程学时数为40，建议讲授第1、2、3、4、6、8、9章，其他章节可根据需要进行选修。

参加第3版编写的人员有：罗国明负责第1、3、4、5、9章，沈庆国负责第6、7、8章，张曙光负责第2、10章，彭来献参与了部分章节的修订；全书由罗国明负责统稿，郑少仁教授负责全书的审定工作。

第3版充分吸收了长期从事通信网与交换类课程的多位老师的建议，以及读者的反馈意见。本书得到解放军理工大学通信工程学院领导的大力支持，通信工程学院系统工程教研中心为此提供了许多方便。在此向领导、老师、同仁和参考文献的提供者表示衷心的感谢。

由于通信网与交换技术发展迅速，加之作者水平有限，书中错误及不当之处，敬请读者批评指正。

编著者

于南京解放军理工大学

目 录

第1章 概论	(1)	2.7 电话通信网	(55)
1.1 交换与通信网	(1)	2.7.1 网络组织	(55)
1.1.1 交换机的引入	(1)	2.7.2 编号计划	(58)
1.1.2 交换式通信网	(2)	2.7.3 网同步	(59)
1.2 交换方式	(4)	本章小结	(60)
1.2.1 电路交换	(5)	习题与思考题	(62)
1.2.2 分组交换	(6)	第3章 信令系统	(63)
1.2.3 IP网交换	(10)	3.1 概述	(63)
1.3 交换与路由	(12)	3.2 随路信令	(63)
1.4 交换技术的发展演进	(13)	3.3 共路信令	(67)
1.4.1 电路交换技术的发展	(13)	3.3.1 NO.7信令概述	(67)
1.4.2 分组交换技术的发展	(15)	3.3.2 NO.7信令系统的功能结构	(68)
1.4.3 宽带交换技术的发展	(16)	3.3.3 NO.7信令消息格式	(70)
1.5 下一代网络与软交换	(18)	3.3.4 消息传递部分	(71)
本章小结	(19)	3.4 电话用户部分	(77)
习题与思考题	(20)	3.5 ISDN用户部分	(79)
第2章 电路交换	(21)	3.5.1 ISUP消息格式及编码	(80)
2.1 交换单元与交换网络	(21)	3.5.2 常用ISUP消息	(81)
2.1.1 基本交换单元	(21)	3.5.3 ISUP功能和支持的业务	(81)
2.1.2 交换网络	(25)	3.5.4 基本的呼叫控制过程	(82)
2.1.3 网络阻塞与CLOS网	(26)	3.6 信令连接控制部分	(83)
2.1.4 同步时分交换网络	(27)	3.6.1 SCCP概述	(83)
2.2 数字程控交换机硬件结构	(27)	3.6.2 SCCP的功能结构与业务	(83)
2.2.1 话路系统	(27)	3.6.3 SCCP消息与地址格式	(84)
2.2.2 控制系统	(31)	3.6.4 SCCP寻址与选路	(87)
2.3 数字交换网络及工作原理	(34)	3.7 事务处理能力(TC)	(88)
2.3.1 数字接线器	(34)	3.8 信令网	(91)
2.3.2 数字交换网络	(37)	本章小结	(94)
2.4 数字程控交换机软件系统	(39)	习题与思考题	(95)
2.4.1 交换软件组成与特点	(40)	第4章 分组交换	(97)
2.4.2 操作系统	(42)	4.1 概述	(97)
2.4.3 程序的分级与任务调度	(44)	4.2 分组交换原理	(97)
2.5 呼叫处理原理	(47)	4.2.1 统计时分复用与逻辑信道	(98)
2.5.1 接续过程与状态转移	(47)	4.2.2 虚电路与数据报	(99)
2.5.2 呼叫处理程序的结构	(49)	4.2.3 路由选择	(101)
2.5.3 呼叫处理程序的实现	(49)	4.2.4 流量控制与拥塞控制	(104)
2.6 交换机主要技术指标	(53)	4.3 X.25简介	(106)

4.4 帧中继技术.....	(112)	6.5.1 逐包式交换.....	(174)
4.4.1 帧中继及其技术特点.....	(112)	6.5.2 流式 IP 交换.....	(175)
4.4.2 协议栈结构与帧格式.....	(113)	6.6 多协议标记交换.....	(176)
4.4.3 帧中继交换.....	(114)	6.6.1 MPLS 网络结构.....	(177)
4.4.4 带宽管理和拥塞控制.....	(116)	6.6.2 等价转发类.....	(178)
4.5 ATM 交换技术.....	(117)	6.6.3 路径标识与标记分发机制.....	(178)
4.5.1 ATM 技术基础.....	(117)	6.6.4 环路控制.....	(180)
4.5.2 ATM 协议模型.....	(121)	6.6.5 MPLS 的发展与应用.....	(181)
4.5.3 ATM 交换机的基本组成.....	(125)	6.7 四层交换.....	(183)
4.5.4 ATM 信令.....	(127)	6.8 应用层交换.....	(185)
本章小结.....	(127)	本章小结.....	(187)
习题与思考题.....	(128)	习题与思考题.....	(188)
第 5 章 智能网业务交换.....	(130)	第 7 章 宽带 IP 网络与新一代	互联网.....
5.1 概述.....	(130)	7.1 宽带 IP 网络的关键问题.....	(189)
5.2 智能网概念模型.....	(132)	7.1.1 网络综合的历史与现状.....	(189)
5.2.1 业务平面.....	(132)	7.1.2 宽带 IP 网络的 QoS 保证.....	(191)
5.2.2 全局功能平面.....	(135)	7.1.3 IP 网络的安全问题.....	(192)
5.2.3 分布功能平面.....	(136)	7.2 综合业务模型.....	(193)
5.2.4 物理平面.....	(137)	7.3 区分业务模型.....	(196)
5.3 固定智能网.....	(138)	7.4 宽带 IP 承载网.....	(199)
5.3.1 固定智能网结构.....	(138)	7.4.1 基本概念.....	(199)
5.3.2 典型智能网业务.....	(142)	7.4.2 同步数字体系.....	(199)
5.4 移动智能网.....	(145)	7.4.3 IP over SDH.....	(200)
5.4.1 移动智能网结构.....	(145)	7.4.4 IP over DWDM.....	(201)
5.4.2 典型智能网业务.....	(148)	7.5 新一代互联网.....	(203)
5.5 智能网与下一代网络.....	(150)	7.5.1 IPv6 简介.....	(203)
本章小结.....	(152)	7.5.2 新一代互联网体系结构.....	(207)
习题与思考题.....	(152)	7.5.3 数据转发平面新技术.....	(209)
第 6 章 IP 网与多层次交换.....	(154)	7.5.4 新一代互联网技术的应用.....	(213)
6.1 IP 技术基础.....	(154)	本章小结.....	(213)
6.1.1 概述.....	(154)	习题与思考题.....	(214)
6.1.2 IP 地址与域名服务.....	(156)	第 8 章 下一代网络与软交换.....	(215)
6.1.3 报文格式.....	(159)	8.1 下一代网络概述.....	(215)
6.2 局域网与交换.....	(162)	8.2 基于软交换的 NGN 网络结构.....	(216)
6.2.1 局域网体系结构.....	(162)	8.3 软交换组网设备.....	(219)
6.2.2 局域网交换.....	(163)	8.3.1 综合接入设备.....	(219)
6.3 路由器.....	(165)	8.3.2 媒体网关.....	(220)
6.3.1 路由器结构与工作原理.....	(166)	8.3.3 信令网关.....	(221)
6.3.2 路由选择算法.....	(169)	8.3.4 SIP 终端与 SIP 服务器.....	(223)
6.3.3 路由选择协议.....	(170)	8.4 软交换的主要协议.....	(224)
6.4 交换层次的多样性.....	(173)	8.4.1 H.248 协议.....	(224)
6.5 三层交换.....	(174)		

8.4.2 H.323 协议	(228)	9.4.2 基站接入信令	(257)
8.4.3 SIP 协议	(229)	9.4.3 高层应用协议	(259)
8.5 软交换组网技术	(230)	9.5 通用分组无线电业务	(264)
8.5.1 软交换组网方案	(230)	9.5.1 GPRS 网络架构	(264)
8.5.2 软交换网络终端的编号	(231)	9.5.2 移动性与会话管理	(268)
8.5.3 软交换组网相关技术问题	(232)	9.5.3 GPRS 信令流程	(271)
8.6 软交换的发展与应用	(233)	9.6 移动软交换与 3G 核心网	(272)
8.7 IP 多媒体子系统	(234)	9.6.1 基本概念	(272)
8.7.1 IMS 的由来	(234)	9.6.2 3G 核心网	(274)
8.7.2 IMS 的体系结构	(234)	9.7 LTE/4G 演进的分组核心网	(277)
8.7.3 IMS 接口描述	(237)	本章小结	(282)
8.7.4 IMS 的编号与路由	(238)	习题与思考题	(283)
8.7.5 IMS 的通信流程	(239)	第 10 章 光交换	(284)
8.7.6 IMS 的发展与应用	(241)	10.1 概述	(284)
本章小结	(241)	10.2 光交换器件	(284)
习题与思考题	(242)	10.3 光交换网络	(289)
第 9 章 移动交换	(243)	10.4 光交换系统	(293)
9.1 移动通信概述	(243)	10.5 自动交换光网络	(296)
9.2 公用蜂窝移动网	(244)	本章小结	(299)
9.2.1 网络结构	(244)	习题与思考题	(299)
9.2.2 编号计划	(247)	附录 A 话务理论	(300)
9.2.3 移动通信的发展	(248)	A.1 话务量概念	(300)
9.3 移动交换基本原理	(249)	A.2 话务量与 BHCA 的关系	(302)
9.3.1 移动呼叫的一般过程	(249)	A.3 线群与呼损	(302)
9.3.2 漫游与越区切换	(252)	A.4 话务模型与工程计算	(304)
9.3.3 网络安全	(253)	附录 B 缩略语表	(305)
9.4 接口与信令	(255)	参考文献	(315)
9.4.1 空中接口信令	(255)		

第1章 概 论

1.1 交换与通信网

1.1.1 交换机的引入

信息需要从一方传送到另一方才能体现它的价值。如何准确而经济地实现信息的传输，这就是通信要解决的问题。从广义上说，无论采用什么方法，使用何种媒介，只要将信息从一方传送到另一方，均可称为通信，如古代的烽火报警、驿站传书，近代的邮政、电话和数据通信等。从一般意义上讲，通信即是指按约定规则而进行的信息传送。由“通信”到“电信”，仅仅一字之差，却牵动了一场革命，拉开了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，信息以电磁波形式进行传输，即电信。

一个电信系统至少应当由发送或接收信息的终端和传送信息的传输媒介组成，如图 1-1 所示。终端将包含信息的信息，如语音、数据、图像等，转换成适合传输媒介传输的电磁信号，同时将来自传输媒介的电磁信号还原成原始消息；传输媒介则负责把电磁信号从一方传输到另一方。这种只涉及两个终端的通信系统称为点对点通信系统。

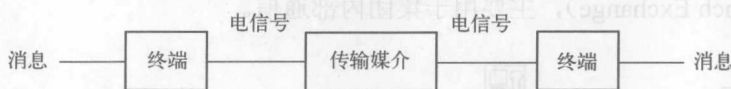


图 1-1 点对点通信系统

当存在多个终端，并希望它们中的任何两个都能进行点对点通信时，最直接的方法是把所有的终端两两相连，如图 1-2 所示。这样的连接方式称为全互连方式。

全互连是一种最简单、最直接的组织方式，但存在下列问题：

- (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) 当终端相距很远时，需要大量的长途线路；
- (3) 每增加 1 个终端时，必须新增 N 对线路；
- (4) 每个终端都与其他终端相连，需要配置很多线路接口。

因此，在实际应用中，全互连组网仅适用于终端数目少、地理位置较集中、可靠性要求很高的场合。

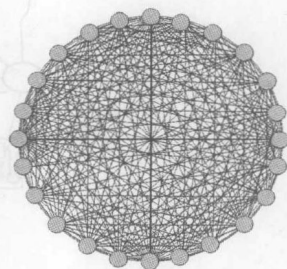


图 1-2 全互连方式示意图

上述问题将随着用户数量的增加而变得更加突出。为此，可以考虑在用户分布较集中的地区安装一台设备，把每个用户的终端（如电话机）或其他设备各自专用的线路连接到这台设备上，如图 1-3 所示。这台设备相当于一组开关（Switch），当任意两个用户需要通信时，该设备可以立即将这两个用户之间的通信线路连通（称为“接续”），让用户进行通信。用户通信完毕，该设备又可以立即把两个用户之间的连接线断开。由此可见，这台设备能够完成任意两个用户之间的信息交换任务，所以称之为交换设备或交换机，也可称为交换节点。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，特别是当用户数很大时更是如此。

根据 IEEE（电子和电气工程师协会）的定义，交换机的作用是在任意选定的两条用户线之间建立和（而后）释放一条通信链路。换句话说，交换机应能为连接到本机的任意两个用户之间建立一条通信链路，并能随时根据用户要求释放（断开）该链路。

引入交换设备后，用户之间的点对点通信就可由交换机来提供。交换机最早用于电话通信。最简单的通信网仅包含一台交换机，如图 1-3 所示。每个用户（电话机或通信终端）通过一条专用的用户线与交换机的相应端口相连接。实际的电话用户线常是一对绞合的塑胶线，线径在 0.4~0.7mm 之间。



图 1-3 单交换机通信网

1.1.2 交换式通信网

由交换机构建通信网的一个突出优点是很容易组成大型网络。例如，当终端数目很多，且分散在不同地区时，可以用交换机组成如图 1-4 所示的通信网。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。当交换机相距很远，必须用长途线路连接时，这种情况下的汇接交换机也称为长途交换机。交换机之间的连接线路称为中继线。显然，长途交换设备一般仅涉及交换机之间的通信，而本地市话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，本地汇接交换机也可只涉及交换机之间的通信。图 1-4 中，用户交换机常称为 PBX（Private Branch Exchange），主要用于集团内部通信。

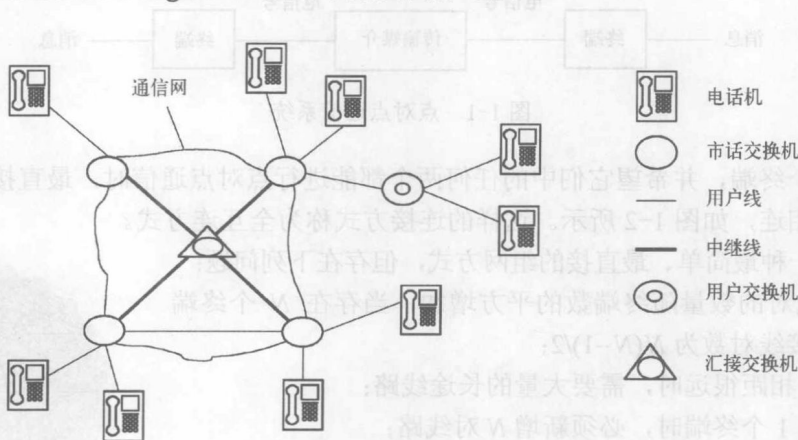


图 1-4 由多台交换机组成的通信网

按需实现任意入线（入端口）与任意出线（出端口）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。

本局接续：指在交换机内用户线之间的接续。

出局接续：指用户线与出中继线之间的接续。

入局接续：指入中继线与用户线之间的接续。

转接接续：指入中继线与出中继线间的接续。

为了完成上述接续任务，交换机必须具备以下基本的功能：

① 为了发现和判断用户的呼叫请求，交换机能正确接收和分析来自用户线或中继线的呼叫控制信号；

② 能正确接收和分析来自用户线或中继线的地址信号；

③ 能按目的地址进行路由选择，以及在中继线上转发信号；

④ 能控制交换机端口之间连接通路的建立；

⑤ 能按照收到的释放信号拆除已建立的连接。

在计算机局域网中也有被称为 LAN Switch 的交换机，俗称网络交换机。LAN Switch 的基本任务是将来自输入端口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，出入口端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，从不同的角度可以具有不同的观点。从用户角度看，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；而从工程师角度看，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，完成信息传送任务的系统。工程师希望这个系统应能可管、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。用户使用它可以克服空间、时间等障碍来进行有效的信息交换。

在通信网上，信息的交换可以在两个用户之间进行，在两个计算机进程之间进行，还可以在用户和设备之间进行。交换的信息包括用户信息（如话音、数据、图像等）、控制信息（如信令信息、路由信息等）和网络管理信息三类。由于信息在网上通常以电磁形式进行传输，因而现代通信网也称为电信网。通信网要解决的是任意两个用户间的通信问题，由于用户数目众多、地理位置分散，并且需要将采用不同技术体制的各类网络互连在一起，因此通信网必然涉及组网结构、编址、选路、控制、管理、接口标准、建设成本、可扩充性、服务质量保证等一系列在点对点通信中原本不是问题的问题，这些因素增加了设计一个实际通信网的复杂度。

2. 网络工作方式

在通信网中，将信息由信源传送至信宿具有两种工作方式：面向连接（CO, Connection Oriented）方式和无连接（CL, Connectionless）方式。这两种方式可以比做铁路交通和公路交通。铁路交通是面向连接的，如从北京到南京，只要铁路信号提前往沿线各站一送，道岔一合（类似于交换），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，路况对运输影响的结果是：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 1-5 所示。假定 A 站有三个数据分组要送到 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 通过选路确定将该请求发送到节点 2，节点 2 又决定将该请求发送到节点 3，节点 3 决定将该请求发送到节点 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。一旦连接建立，A 站和 C 站之间就可以经由这条连接（图中虚线所示）来传送（交换）数据分组了。A 站需要发

送的三个分组依次通过连接路径传送，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，依次穿过节点 1、2、3、6，而来自 C 站的每个数据分组依次穿过节点 6、3、2、1。通信结束时，A、C 任意一站均可发送一个“释放请求”信号来终止连接。

面向连接网络建立的连接可以分为两种：实连接和虚连接。用户通信时，如果建立的连接是由一段接一段的专用电路级联而成，无论是否有信息传送，这条专用连接（专线）始终存在，且每一段占用恒定的电路资源（如带宽），那么这种连接就叫实连接（如电话交换网）；如果电路的分配是随机的，用户有信息传送时才占用电路资源（带宽根据需要分配），无信息传送就不占用电路资源，对用户信息采用标记进行识别，各段线路使用标记统计占用线路资源，那么这些串接（级联）起来的标记链叫做虚连接（如分组交换网）。显而易见，实连接的资源利用率较低，而虚连接的资源利用率较高。

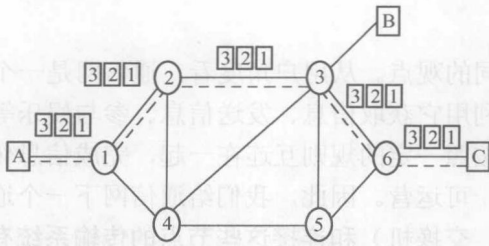


图 1-5 面向连接网络的工作原理

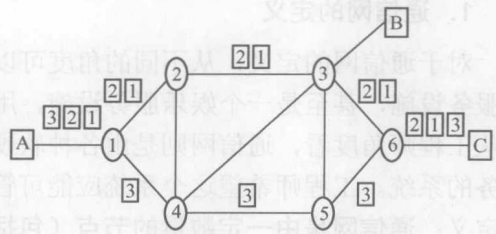


图 1-6 无连接网络的工作原理

(2) 无连接网络

无连接网络的工作原理如图 1-6 所示。同样，如果 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 为每个分组独立选择路由。在分组 1 到达后，节点 1 得知输出至节点 2 的队列较短，于是将分组 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 发现当前输出到节点 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，都做类似的选路和转发处理。这样，每个分组虽然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。

上述两种工作方式的主要区别如下：

- 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；而无连接网络则没有建立和释放的过程。
- ② 面向连接网络中的节点必须为相关的呼叫选路，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相应的连接状态；而无连接网络中的节点必须为每个分组独立选路，但节点中并不维持连接状态。
- ③ 用户信息较长时，采用面向连接方式通信效率较高；反之，无连接方式要好一些。

1.2 交换方式

交换机的任务是完成任意两个用户之间的信息交换。按照所交换信息的特征，以及为完成交换功能所采用的技术不同，出现了多种交换方式。目前，在电信网和计算机网中使用的主要交换方式如图 1-7 所示。

下面对各种交换方式进行简要说明。

1.2.1 电路交换

电路交换 (CS, Circuit Switching) 是最早出现的一种交换方式, 主要用于电话通信。电路交换的基本过程包括呼叫建立、信息传送 (通话) 和连接释放三个阶段, 如图 1-8 所示。

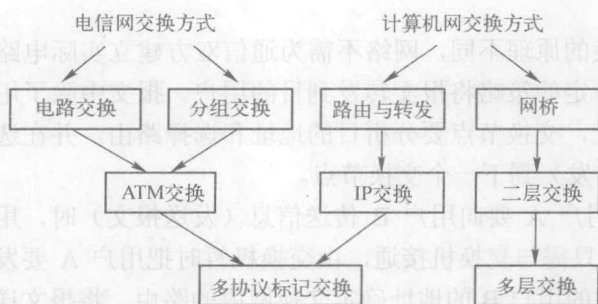


图 1-7 主要的交换方式

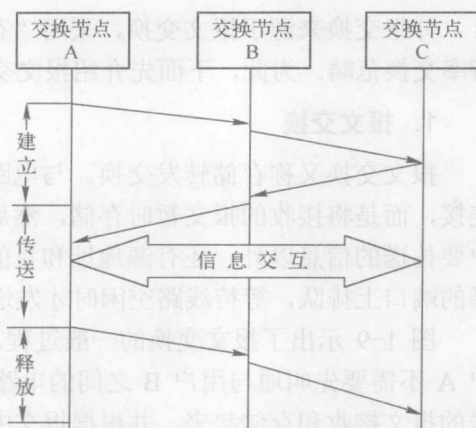


图 1-8 电路交换的基本过程

在双方开始通信之前, 发起通信的一方 (通常称为主叫方) 通过一定的方式 (如拨号) 将被叫方的地址告诉网络, 网络根据地址在主叫方和被叫方之间建立一条电路, 这个过程称为呼叫建立 (或称连接建立)。然后主叫和被叫进行通信 (通话), 通信过程中双方所占用的电路将不为其他用户使用。通信结束后, 主叫或被叫通知网络释放通信电路, 这个过程称为呼叫释放 (或连接释放)。通信过程中所占用的电路资源在释放后, 可以为其他用户通信所用。这种交换方式就称为电路交换。包括最早使用的磁石电话在内的人工电话交换通常都采用电路交换方式 (直至 20 世纪 90 年代 IP 电话出现)。

电路交换是一种实时交换, 当任一用户呼叫另一用户时, 交换机应立即在两个用户之间建立通话电路; 如果没有空闲的电路, 呼叫将损失掉 (称为呼损)。因此, 对于电路交换而言, 应配备足够的电路资源, 使呼叫损失率控制在服务质量允许的范围內。

电路交换采用固定分配带宽 (物理信道), 在通信前要先建立连接, 在通信过程中一直维持这一物理连接, 只要用户不发出释放信号, 即使通信 (通话) 暂时停顿, 物理连接也仍然保持。因此, 电路利用率较低。由于通信前要预先建立连接, 故有一定的连接建立时延; 但在连接建立后可实时传送信息, 传输时延一般可忽略不计。电路交换通常采用基于呼叫损失制的方法处理业务流量, 过负荷时呼损率增加, 但不影响已经接受的呼叫。此外, 由于没有差错控制措施, 用于数据通信时可靠性不高。

● 电路交换的主要优点:

- ① 信息的传输时延小, 对一次接续而言, 传输时延固定不变。
- ② 交换机对用户信息不进行处理, 信息在通路中“透明”传输, 信息的传输效率较高。

● 电路交换的主要缺点:

- ① 电路资源被通信双方独占, 电路利用率低。
- ② 由于存在呼叫建立过程, 电路的接续时间较长。当通信时间较短 (或传送较短信息) 时, 呼叫建立的时间可能大于通信时间, 网络的利用率较低。
- ③ 有呼损, 即可能出现由于被叫方终端设备忙或通信网络负荷过重而呼叫不通的情况。
- ④ 通信双方在信息传输速率、编码格式等方面必须完全兼容, 否则难于互通。

电路交换通常适合于电话通信、文件传送、高速传真等业务，而不适合突发性强、对差错敏感的数据通信。

1.2.2 分组交换

分组交换来源于报文交换，采用“存储-转发 (Store and Forward)”方式，同属于可变比特率交换范畴。为此，下面先介绍报文交换 (Message Switching)。

1. 报文交换

报文交换又称存储转发交换。与电路交换的原理不同，网络不需为通信双方建立实际电路连接，而是将接收的报文暂时存储，然后按一定的策略将报文转发到目的用户。报文中除了用户要传送的信息以外，还有源地址和目的地址，交换节点要分析目的地址和选择路由，并在选择的端口上排队，等待线路空闲时才发送 (转发) 到下一个交换节点。

图 1-9 示出了报文交换的一般过程。当用户 A 要向用户 B 传送信息 (发送报文) 时，用户 A 不需要先叫通与用户 B 之间的电路，而只需与交换机接通，由交换机暂时把用户 A 要发送的报文接收和存储起来，并根据报文中提供的用户 B 的地址确定交换网内的路由，将报文送到输出队列中排队，等到该输出线空闲时立即将该报文发送到下一台交换机，最后根据该报文的地址信息将报文投递到目的用户 B。

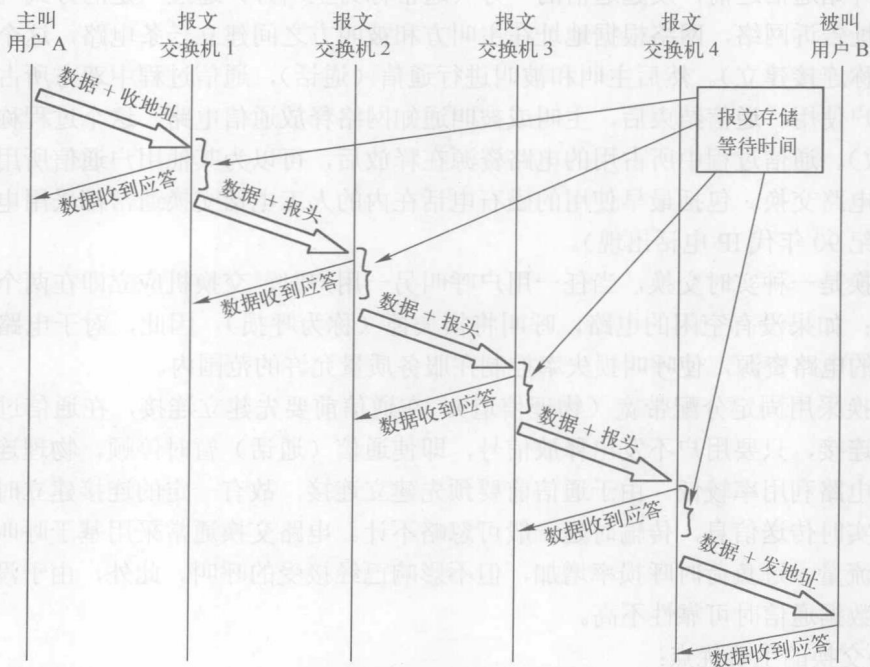


图 1-9 报文交换的一般过程

报文交换中信息的格式以报文为基本单位。一份报文包括三个部分：报头、正文和报尾。报头包括发端地址 (源地址)、收端地址 (目的地址) 及其他辅助信息；正文为用户要传送的信息；报尾是报文的结束标志，若报文具有长度指示，则报尾可以省略。报文交换的特征是交换机要对用户的信息进行存储和处理。

● 报文交换的主要优点：

- ① 信息以“存储-转发”方式通过交换机，输入输出电路的速率、编码格式等可以不同，

很容易实现各种不同类型终端之间的相互通信。

② 在信息传送(报文交换)的过程(从用户 A 到用户 B)中没有电路接续过程,来自不同用户的信息可以在一条线路上以报文为单位进行多路复用,线路可以以它的最高传输能力工作,电路利用率高。

③ 用户不需要叫通目的用户就可以发送报文;如果需要,同一报文可以由交换机转发给多个不同的用户,实现多播通信。

● 报文交换的主要缺点:

① 由于采用“存储-转发”,信息通过交换机时产生的时延大,而且时延的变化也较大,不利于实时通信。

② 交换机要有能力存储用户发送的报文,其中有的报文可能很长,要求交换机具有高速处理能力和大的存储容量。

2. 分组交换

电路交换的电路利用率低,且不适合异种终端之间的通信;报文交换虽然可以进行速率和码型的变换,具有差错控制功能,但信息传输时延较长且难以控制,不适合数据通信的实时性要求(注意:数据通信系统的实时性要求是指利用计算机进行通信时用户可以实时地交互信息,相比于话音的时延要求,数据通信的实时性要求要宽松得多)。分组交换可以较好地解决这些问题。

分组交换同样采用“存储-转发”方式,但不是以报文为单位,而是把报文划分成许多比较短的、规格化的“分组(Packet)”进行交换和传输的。分组长度较短,且具有统一的格式,便于交换机进行存储和处理。分组进入交换机后只在主存储器中停留很短的时间,进行排队处理,一旦确定了路由,就很快输出到下一个交换机。分组通过交换机或网络的时间很短(为毫秒级),能满足绝大多数数据通信对信息传输的实时性要求。根据交换机对分组的不同处理方式,分组交换有两种工作模式:数据报(Datagram)和虚电路(Virtual Circuit)。

数据报方式类似于报文交换,只是将每个分组作为一个报文来对待。每个数据分组中都包含目的地址信息,分组交换机为每一个数据分组独立地寻找路径,因此,一个报文包含的多个分组可能会沿着不同的路径到达目的地,在目的地需要重新排序。

虚电路方式类似于电路交换,两台用户终端在开始传输数据之前,同样必须通过网络建立连接,只是建立的是逻辑上的连接(虚电路),而不是物理连接。一旦这种连接建立之后,用户发送的数据(以分组为单位)将顺序通过该路径传送到目的地。当通信完成之后用户发出拆链请求,网络清除连接。由于分组在网络中是顺序传送的,因而不需要在目的地重新排序。

● 分组交换的主要优点:

① 可为用户提供异种终端(支持不同速率、不同编码方式和不同通信协议的数据终端)的通信环境。

② 在网络负荷较轻的情况下,信息的传输时延较小,能够较好地满足计算机实时交互业务的通信要求。

③ 实现了线路资源的统计复用,通信线路(包括中继线和用户线)的利用率较高,在一条物理线路上可以同时提供多条信息通路。

④ 可靠性高。分组在网络中传输时可以在中继线和用户线上分段进行差错校验,使信息传输的比特差错率大大降低,一般可以达到 10^{-10} 以下。由于分组在网络中传输的路由是可变的,当网络设备或线路发生故障时,分组可以自动地避开故障点,故分组交换的可靠性高。

⑤ 经济性好。信息以分组为单位在交换机中存储和处理,不要求交换机具有很大的存储