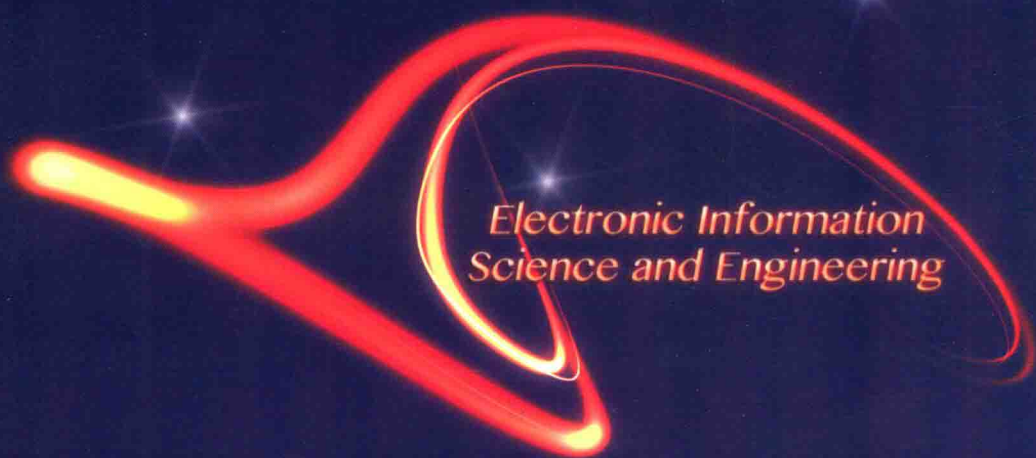




普通高等教育“十一五”国家级规划教材
电子信息科学与工程类专业精品教材



现代交换原理

Principles of Modern Switching (第4版)

Fourth Edition

© 崔鸿雁 陈建亚 金惠文 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子信息科学与工程类专业精品教材

现代交换原理

(第4版)

崔鸿雁 陈建亚 金惠文 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共 14 章,介绍了各类交换系统的基本概念和工作原理。主要内容包括:交换的定义,各类交换技术的特点及其发展过程;交换网络设计的基础理论和实现方法;电路交换系统的工作原理和各种接口电路的作用;交换系统的存储程序控制,包括呼叫处理过程、交换的软件系统和数据库等内容;信令的基础知识和 No. 7 信令系统;帧中继交换、ATM 交换和软交换的工作原理;路由器和 IP 交换技术的工作原理及实现技术;光交换元件,光交换技术及发展前景;IP 多媒体子系统的原理结构以及相关技术机制;SIP 协议产生、通信机制;VoLTE 技术的基本背景和技术,包括其基本架构、基本原理、基本流程等;软件定义网络的整体架构和关键技术,以及软件定义网络中的数据平面和控制平面概况;网络功能虚拟化的框架和主要技术。

本书可作为普通高等学校通信工程和电子信息工程类专业高年级学生网络交换类课程教材,也可作为通信工程技术人员的培训教材和参考用书。

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/崔鸿雁等编著. —4 版. —北京:电子工业出版社, 2017. 1
ISBN 978-7-121-30688-4

I. ①现… II. ①崔… 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(2016)第 312938 号

策划编辑: 陈晓莉

责任编辑: 陈晓莉

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

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: 18.5 字数: 528 千字

版 次: 2000 年 3 月第 1 版

2017 年 1 月第 4 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 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。

第 4 版前言

通信技术的发展为人类文明和社会进步带来了翻天覆地的变化,当前人类已步入了信息化时代,通信设施、通信网络和信息共享已成为日常必需品。在通信网络中,交换设备是一个很重要的设施,起着信息立交桥的作用。交换技术的发展总是依赖于人类的信息需求、传送信息的格式和技术,以及控制技术的发展。电话机的发明引出了电路交换技术,随着元器件的进步和计算机的出现,电路交换系统从人工接续发展到程控交换。数据设备和数据分组传输技术的使用产生了分组交换机和 Internet。光传输技术的不断进步,使得人们交互宽带多媒体信息成为可能,迫使交换技术的研究者们必须解决网络传送中的电子交换瓶颈问题,从而引发了全光交换技术的研究和试验高潮。总之,交换技术是人类进入信息社会必不可少的技术,交换技术还将随着应用和技术的进步而不断发展。

本教材的第 1 版为“面向 21 世纪高等学校电子信息类规划教材”(2000 年版),使用了 5 年多,印刷了 7 次。教材第 2 版被正式列为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”(2006 版)。修订时增加了第 10 章软交换技术,介绍了软交换技术的工作原理、主要技术、协议和业务供给方式等内容。教材第 3 版(2011 年版),第 8 章在第 2 版的基础上增加了“多协议标签交换技术”一节,介绍了 MPLS 的工作原理和相关协议。当前,通信网络沿着了 2G、3G、软交换、IMS、4G、LTE、5G 的方向演进,现在的通信网络主要是基于 VoLTE 以及 IMS 等技术运行,未来通信网络将沿着软件定义网络和网络功能虚拟化技术方向发展。软件定义网络(SDN)技术将数据平面和控制平面进行结构,实现网络开放,使得网络配置和管理更加灵活。网络功能虚拟化(NFV)通过使用 x86 等通用性硬件以及虚拟化技术,来承载很多功能的软件处理,从而降低网络昂贵的设备成本。以上几种技术集中体现了当前网络交换技术中发生的新变化。因此,我们在第 4 版教材中添加了第 9 章 IP 多媒体子系统、第 10 章 SIP 协议、第 11 章相关新技术 VoLTE、第 12 章软件定义网络原理,第 13 章软件定义网络的实现以及第 14 章网络功能虚拟化;并根据现代交换技术的变化删减了分组交换、ATM 交换、软交换等的部分内容,对第 2 章和第 5 章内容进行了重新编写。修改后的教材仍保持原有的风格特点。

各种交换技术是为了适应不同业务的需求而产生和发展的,但就其交换的实质而言,就是在通信网上建立起四通八达的立交桥,以达到经济、快速并满足服务质量要求的信息转移的目的。各种交换技术有其共性,为此我们把当前已出现的或将要出现的交换技术,按其发展先后,由浅入深,理论与技术并重,综合成一本有关现代交换原理的专门教材,加深对交换技术的理解,为读者打好电信技术的理论基础。本教材从通信网的概念出发,介绍交换设备在现代通信网中的位置及外部工作环境,根据各种速率、各种业务的特点及多媒体业务的需求,论述不同特点的交换系统的适应范围及其发展过程。由于交换网络是构筑交换系统的核心,在教材第 2 章专门讨论了多种交换单元及交换网络的组织结构和操作过程,并从理论上分析了无阻塞交换网络的结构。各种交换技术,从本质上讲是通信与计算机结合的产物,交换系统实质上是一个以计算机为基础,在实时多任务操作系统的控制管理下,完成信息处理任务的应用系统,在第 4 章中以电路交换为例介绍了存储程序控制交换的原理。信息在交换系统中的交互是依赖于信令或通信协议来实现的,通信协议和协议的参考模型是用于描述数据通信和通信网的基本手段,第 5 章中介绍了用户信令和局间信令系统。在本教材中分别设立章节来讨论电路交换、路由器、IP 交换、光交换以及新兴的软件定义网络、网络功能虚拟化、VoLTE 的技术原理、组织结构和特点,同时简要介绍分组交换、帧中继、ATM 交换、软交换等技术。

本教材第4版由崔鸿雁教授主编,陈建亚教授主审。其中第1章、第3章、第4章由金惠文教授编写;第2章、第5章、第7章、第8章由陈建亚教授编写;第6章由金惠文教授和陈建亚教授编写;第9章、第10章、第11章、第12章、第13章、第14章由崔鸿雁教授编写。

本书针对高等学校通信工程、电子信息工程专业的学生网络交换类课程,以及通信领域技术人员编写。对杨霖霏、王涛、周裕杰、张雨晨、赖巍、刘凯为本书收集、整理资料做出的贡献,作者也在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在一些不妥和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编著者
2016年12月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 交换与通信网	(1)
1.2 电话交换	(2)
1.3 数据交换	(3)
1.3.1 数据通信和语音通信的区别	(3)
1.3.2 利用电话网络进行数据传输	(4)
1.3.3 电路交换	(4)
1.3.4 报文交换	(5)
1.3.5 分组交换	(6)
1.4 宽带交换技术	(7)
1.4.1 电信业务和媒体传输特性	(7)
1.4.2 快速电路交换	(8)
1.4.3 快速分组交换——帧中继	(8)
1.4.4 异步转移模式(ATM)	(9)
1.4.5 IP 交换和标记交换	(11)
1.5 光交换技术	(12)
1.6 VoLTE 技术	(13)
1.7 软件定义网络	(14)
1.8 网络功能虚拟化	(14)
小结	(15)
习题	(15)
第 2 章 数字交换网络	(17)
2.1 基本交换单元	(17)
2.2 CLOS 交换网络模型	(23)
2.3 TST 交换网络	(26)
2.4 DSN 网络	(28)
小结	(31)
习题	(31)
第 3 章 电路交换技术及接口电路	(32)
3.1 电路交换技术的发展与分类	(32)
3.1.1 电路交换技术的发展	(32)
3.1.2 电路交换技术的分类	(33)
3.2 电路交换系统的基本功能	(33)
3.2.1 电路交换呼叫接续过程	(33)
3.2.2 电路交换的基本功能	(34)
3.2.3 控制系统的结构	(36)
3.3 电路交换系统的接口电路	(38)
3.3.1 模拟用户接口电路	(38)

3.3.2	数字用户线接口电路	(41)
3.3.3	模拟中继接口电路	(41)
3.3.4	数字中继接口电路	(42)
3.3.5	数字多频信号的发送和接收	(44)
	小结	(45)
	习题	(45)
第4章	存储程序控制原理	(47)
4.1	呼叫处理过程	(47)
4.1.1	一个呼叫的处理过程	(47)
4.1.2	用SDL图来描述呼叫处理过程	(48)
4.2	呼叫处理软件	(51)
4.2.1	扫描与输入	(52)
4.2.2	扫描周期的确定	(53)
4.2.3	数字分析	(55)
4.2.4	路由选择	(57)
4.2.5	通路选择	(57)
4.2.6	输出驱动	(59)
4.3	程控交换控制系统的电路结构	(60)
	小结	(62)
	习题	(62)
第5章	信令系统	(64)
5.1	概述	(64)
5.1.1	信令的概念	(64)
5.1.2	信令的分类	(65)
5.1.3	信令方式	(66)
5.2	模拟用户线信令	(67)
5.3	中国 No. 1 信令	(68)
5.3.1	线路信令	(68)
5.3.2	记发器信令	(68)
5.4	No. 7 信令系统	(69)
5.4.1	No. 7 信令系统的特点	(70)
5.4.2	我国 No. 7 信令网的组织结构	(70)
5.4.3	No. 7 信令的功能结构	(72)
5.4.4	No. 7 信令的消息传递部分	(76)
5.4.5	信令连接控制部分	(79)
5.4.6	事务处理能力应用部分	(81)
5.4.7	电话用户部分	(85)
	小结	(88)
	习题	(88)
第6章	分组交换与软交换技术	(90)
6.1	分组交换技术	(90)
6.1.1	分组交换技术的产生	(90)
6.1.2	分组的形成	(92)

6.1.3	交换虚电路的建立和释放	(95)
6.2	ATM交换技术	(96)
6.2.1	ATM技术的产生	(97)
6.2.2	ATM的传送模式和信元结构	(98)
6.2.3	ATM交换的基本原理	(102)
6.3	软交换技术	(103)
6.3.1	软交换技术的产生背景	(103)
6.3.2	软交换基本概念	(109)
6.3.3	软交换的体系结构与功能结构	(111)
	小结	(115)
	习题	(115)
第7章	路由器及IP交换技术	(116)
7.1	计算机通信的演进和发展	(116)
7.2	TCP/IP基本原理	(118)
7.2.1	TCP/IP的网络体系结构	(118)
7.2.2	IP协议	(119)
7.2.3	地址解析协议(ARP)	(121)
7.2.4	互联网控制报文协议(ICMP)	(122)
7.2.5	TCP协议	(123)
7.2.6	用户数据报协议(UDP)	(124)
7.2.7	IP的未来(IPv6)	(124)
7.3	路由器工作原理	(125)
7.3.1	路由器的报文转发原理	(125)
7.3.2	路由选择表的生成和维护	(127)
7.4	IP交换技术	(128)
7.4.1	IP交换机的构成及工作原理	(128)
7.4.2	IP交换中所使用的协议	(130)
7.5	标记交换技术	(133)
7.5.1	标记交换的工作原理	(133)
7.5.2	标记交换的性能	(137)
7.6	多协议标签交换技术	(138)
7.6.1	MPLS网络模型	(138)
7.6.2	MPLS协议	(140)
7.6.3	标签分发协议	(143)
7.6.4	标签分发与管理	(144)
7.6.5	标签交换路径	(146)
7.6.6	循环路径控制	(147)
	小结	(148)
	习题	(149)
第8章	光交换技术	(150)
8.1	概述	(150)
8.2	光交换元件	(151)
8.2.1	半导体光开关	(151)

8.2.2	耦合波导开关	(151)
8.2.3	硅衬底平面光波导开关	(151)
8.2.4	波长转换器	(152)
8.2.5	光存储器	(152)
8.2.6	空间光调制器	(153)
8.3	光交换网络结构	(153)
8.3.1	空分光交换网络	(154)
8.3.2	波分光交换网络	(155)
8.3.3	时分光交换网络	(156)
8.3.4	自由空间光交换网络	(157)
8.3.5	混合型光交换网络	(158)
8.4	多维交换系统	(159)
8.4.1	多维光网络结构	(159)
8.4.2	多维光交换网络应用	(160)
8.5	光交换的应用	(161)
8.5.1	光分插复用	(161)
8.5.2	光互连	(162)
	小结	(163)
	习题	(163)
第9章	IP 多媒体子系统	(164)
9.1	IMS 的由来	(164)
9.2	IMS 的特点	(164)
9.3	IMS 的体系结构	(166)
9.3.1	IMS 中的功能实体	(166)
9.3.2	IMS 中的接口和协议	(170)
9.4	IMS 的通信流程	(172)
9.4.1	IMS 入口点的发现	(172)
9.4.2	注册过程	(172)
9.4.3	会话的建立过程	(174)
9.4.4	会话的释放过程	(175)
9.4.5	IMS 通信实例	(175)
9.5	IMS 的安全机制	(179)
9.5.1	IMS 的安全体系	(179)
9.5.2	IMS 安全基础	(180)
9.5.3	IMS 安全的关键技术	(180)
9.6	IMS 的 QoS 机制	(181)
9.6.1	SBLP 的结构	(181)
9.6.2	SBLP 的执行过程	(182)
9.7	IMS 的计费	(183)
9.7.1	计费体系	(183)
9.7.2	基于流的计费	(183)
9.8	IMS 提供的典型业务	(183)
9.8.1	Presence	(183)
9.8.2	Message	(184)

9.8.3	PoC	(184)
9.8.4	Conference	(185)
9.9	IMS 与软交换的比较	(185)
9.10	IMS 的发展现状	(186)
	小结	(187)
	习题	(188)
第 10 章	SIP 协议	(189)
10.1	SIP 协议概述	(189)
10.2	SAP——会话通知协议	(192)
10.3	SDP——会话描述协议	(194)
10.4	SIP 功能实体	(197)
10.5	SIP 消息	(200)
10.5.1	SIP 消息总体描述	(200)
10.5.2	SIP 消息中的标题头	(201)
10.5.3	SIP 请求消息	(206)
10.5.4	SIP 响应消息	(210)
10.5.5	SIP 消息中的地址	(212)
10.6	SIP 通信流程	(213)
10.7	SIP 扩展	(217)
10.7.1	承载扩展	(217)
10.7.2	消息扩展	(217)
10.7.3	应用扩展	(218)
10.8	SIP 安全机制	(219)
10.8.1	SIP 面临的安全威胁	(219)
10.8.2	SIP 的安全策略	(219)
10.9	SIP 与 ISUP、H.323、BICC 的比较	(221)
	小结	(222)
	习题	(223)
第 11 章	VoLTE 技术	(224)
11.1	EPC 网络	(224)
11.1.1	EPC 概述	(224)
11.1.2	EPC 系统介绍	(225)
11.1.3	EPC 组网原则	(228)
11.2	VoLTE 基本概念	(229)
11.3	VoLTE 系统架构	(231)
11.4	VoLTE 基本原理	(232)
11.5	VoLTE 端到端详细流程	(233)
11.6	VoWiFi 与 VoLTE 的区别	(236)
	小结	(238)
	习题	(238)
第 12 章	软件定义网络	(239)
12.1	SDN 的背景	(239)
12.2	SDN 的整体架构	(240)

12.2.1	网络设备	(241)
12.2.2	南向接口	(241)
12.2.3	控制器	(241)
12.2.4	北向接口	(242)
12.2.5	应用服务	(242)
12.2.6	自动化	(242)
12.3	SDN 关键技术	(242)
12.3.1	SDN 的管控技术	(243)
12.3.2	SDN 的流控技术	(244)
12.3.3	SDN 接口技术	(245)
12.3.4	SDN 网络扩展技术	(245)
	小结	(246)
	习题	(246)
第 13 章	SDN 网络的组成	(247)
13.1	OpenFlow 交换机规范	(247)
13.1.1	交换机组成	(247)
13.1.2	流表	(249)
13.1.3	安全通道	(252)
13.1.4	OpenFlow 协议	(254)
13.1.5	OpenFlow 实例	(255)
13.2	SDN 控制器	(258)
13.2.1	SDN 控制器体系结构	(258)
13.2.2	SDN 控制器评估	(259)
13.2.3	主要 SDN 控制器简介	(260)
	小结	(265)
	习题	(265)
第 14 章	网络功能虚拟化	(266)
14.1	NFV 的基本概念	(266)
14.1.1	NFV 的起源	(266)
14.1.2	NFV 的定义和架构	(266)
14.2	虚拟网络功能	(268)
14.2.1	VNF 内涵	(268)
14.2.2	VNF 功能架构	(269)
14.2.3	VNF 接口	(269)
14.3	NFV 管理框架	(271)
14.4	NFV 弹性技术	(272)
14.5	NFV 安全技术	(275)
14.6	NFV 与 SDN 的关系	(277)
14.7	NFV 在运营商中的应用	(278)
	小结	(278)
	习题	(278)
附录	英文缩略语	(279)
参考文献		(286)

第1章 概 论

交换设备是通信网的重要组成部分,交换技术的发展与通信网的发展是分不开的,即交换技术与终端业务、传输技术必须相适应。因此,本章从目前通信网的现状,各类业务的特点,引出相应的交换技术及其发展。

1.1 交换与通信网

通信的目的是实现信息的传递。在电信系统中,信息是以电信号的形式传输的。一个电信系统至少应由终端和传输媒介组成,如图 1.1 所示。终端将含有信息的信息,如话音、图像、计算机数据等转换成可被传输媒介接受的电信号形式,同时将来自传输媒介的电信号还原成原始消息;传输媒介则把电信号从一个地点传送至另一地点,这样一种仅涉及两个终端的单向或交互通信称为点对点通信。

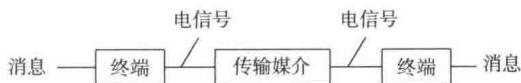


图 1.1 点对点通信系统

当存在多个终端,且希望它们中的任何两个都可以进行点对点通信时,最直接的方法是把所有终端两两相连,如图 1.2 所示。这样的一种连接方式称为全互连式。全互连式存在下列一些缺点:

- (1) 当存在 N 个终端时需用线对数为 $N(N-1)/2$,即线对数量随终端数的平方增加。
- (2) 当这些终端分别位于相距很远的两地时,两地间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。

因此,在实际中,全互连式仅适合于终端数目较少,地理位置相对集中,且可靠性要求很高的场合。

这些问题将随着用户数量增加而增加。为解决这些问题,可以设想,在用户分布密集的中心安装一个设备,把每个用户的电话机或其他终端设备都用各自专用的线路连接在这个设备上,如图 1.3 所示。

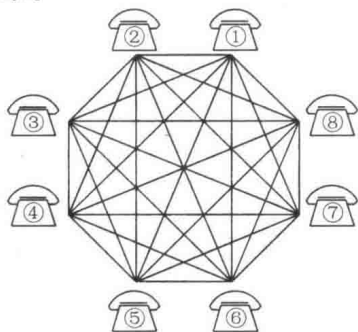


图 1.2 用户间互连

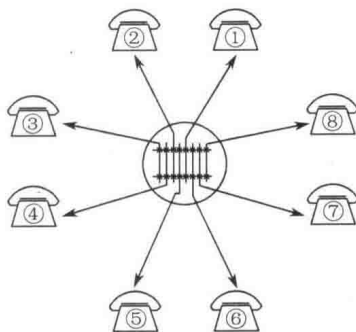


图 1.3 用户间通过交换设备连接

在图 1.3 中,在用户的密集中心区域,安装的设备用交叉节点“*”示意,此交叉接点相当于

一个开关节点,平时是打开的,当任意两个用户之间要交换信息时,该设备就把连接这两个用户的有关开关节点合上,也就是说,将这两个用户的通信线路连通。当两个用户通信完毕,才把相应的节点断开,两个用户间的连线就断开了。从这可以看出,该设备能够完成任意两个用户之间交换信息的任务,所以称其为交换设备。有了交换设备,对 N 个用户只需要 N 对线就可以满足要求,使线路的投资费用大大降低。尽管增加了交换设备的费用,但它的利用率很高,相比之下,总的投资费用将下降。

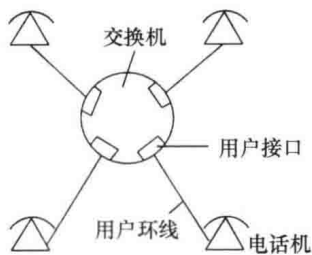


图 1.4 由一台交换机组成的通信网

最简单的通信网仅由一台交换机组成,如图 1.4 所示。每一台电话机或通信终端通过一条专门的用户环线(或简称用户线)与交换机中的相应接口连接。实际中的用户线常是一对绞合的塑胶线,线径在 $0.4\sim0.7\text{mm}$ 之间。

根据电子和电气工程师协会(IEEE)的定义,交换机应能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,任一台电话机均可请求交换机在本用户线和所需用户线之间建立一条通信链路,并能随时令交换机释放该链路。

交换式通信网的一个重要优点是较易于组成大型网络。例如,当终端数目很多,且分散在相距很远的几处时,可用交换机组成如图 1.5 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;仅与各交换机连接的交换机称为汇接交换机。当距离很远时,汇接交换机也称为长途交换机。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,而市内交换设备既涉及交换设备之间又涉及与终端的通信,市内的汇接交换设备,根据需要,也设有与终端通信的功能。

图 1.5 中的用户交换机(PBX)常用于一个集团的内部。PBX 与市话交换机之间的中继线数目常远比 PBX 所连接的用户线数目少,因此当集团中的电话主要用于内部通信时,采用 PBX 要比将所有话机都连至市话交换机更经济。当 PBX 具有自动交换能力时,又称为 PABX。PBX 与普通市话交换机的主要差别在于,前者的中继线与后者的用户线相连。因此,PBX 的每条中继线对于市话交换机只相当于一个普通的电话机,仅话务量较大。由于公共电话网只负责接续到用户线,进一步从 PBX 到话机的接续常需要由人工完成,或采用特殊的“直接拨入”(DID)设备。

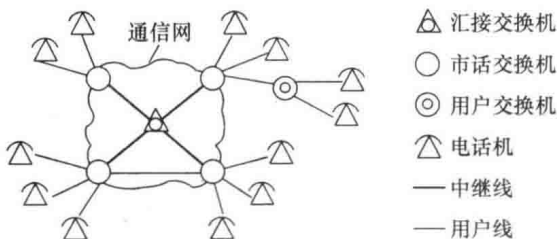


图 1.5 由多台交换机组成的通信网

1.2 电话交换

电话网络中任意两点之间进行通信,需要在两点之间有传输通道相连接,电话网络提供电路交换方式建立传输通道。在双方通信开始之前,主叫方(发起通信一方)通过拨号的方式通知网络被叫方的电话号码,网络根据被叫号码在主叫方和被叫方之间建立一条电路,显然这条电路包括主叫和被叫与相应的端局相连的用户线,以及交换局之间中继线路中的某一条脉冲编码调制

(PCM)话音通道,这个过程称为呼叫建立。然后主叫和被叫就可以进行通信,通话过程中双方所占用的通道将不为其他用户使用。完成通信后,主叫或被叫挂机,通知网络可以释放通信信道,这个过程称为呼叫释放。本次通信过程所占用的相关电路释放后,可以被其他通信过程使用。这种交换方式称为电路交换方式。因此,在电话交换中使用的是电路交换方式。

世界上第一代电话交换机采用的是空分电路交换方式,利用接点等开关元件构成电路交换网络。随着数字通信与 PCM 技术的迅速发展,采用 PCM 方式的数字交换网络得到广泛的应用。有关空分接线器,时间接线器组成的交换网络将在第 2 章交换单元与交换网络中介绍。

1.3 数据交换

1.3.1 数据通信和话音通信的区别

虽然话音通信使得人们之间信息交流变得非常方便,但是话音交流毕竟只是信息交流的一种方式。从 20 世纪 60 年代开始,计算机的使用日益普及,人们迫切需要进行共享计算机的计算机能力和计算机中存储的信息,计算机的联网成为现实的需要。1969 年美国军方建立的高级研究计划局(ARPA)网络,标志以资源共享为特点的计算机网络诞生。ARPA 网络的有关民用科技研究部分进一步演化成目前的国际互联网 Internet。计算机通信可视为数据通信。尽管数据通信和话音通信都是以传送信息为通信目的,但是两者仍具有不同之处。

(1) 通信对象不同

数据通信实现的是计算机和计算机之间,以及人和计算机之间的通信,而话音通信实现的是人和人之间的通信。计算机不具有人脑的思维和应变能力,计算机的智能来自人的智能,计算机完成的每件工作都需要人预先编好程序,计算机之间的通信过程需要定义严格的通信协议和标准,而话音通信则无需这么复杂。

(2) 传输可靠性要求不同

数据信号使用二进制数“0”和“1”的组合编码表示,如果一个码组中的一个比特在传输中发生错误,则在接收端可能会被理解成为完全不同的含义。特别对于银行、军事、医学等关键事务处理,发生的毫厘之差都会造成巨大的损失,一般而言数据通信的比特差错率必须控制在 10^{-8} 以下,而话音通信比特差错率可高到 10^{-3} 。

(3) 通信的平均持续时间和通信建立请求响应不同

根据美国国防部对 27000 个数据用户进行统计,大约 25% 的数据通信持续时间在 1s 以下,50% 的用户数据通信持续时间在 5s 以下,90% 的用户数据通信时间在 50s 以下。而相应话音通信的持续平均时间在 5min 左右,统计资料显示 99.5% 以上的数据通信持续时间短于电话平均通话时间。由此决定数据通信的信道建立时间要求也要短,通常应该在 1.5s 左右。而相应的话音通信过程的建立一般在 15s 左右。

(4) 通信过程中信息业务量特性不同

统计资料表明,电话通信双方讲话的时间平均各占一半,即对于数字 PCM 话音信号平均速率大约在 32Kb/s,一般不会出现长时间信道中没有信息传输。而计算机通信双方处于不同的工作状态传输数据速率是不同的。例如,系统进行远程遥测和遥控,传输速率一般只在 30b/s 以下;用户以远程终端方式登录远端主机,信道上传输的数据是用户用键盘输入的,输入速率为 20~300 b/s,而计算机对终端响应的速率则在 600~10000 b/s;如果用户希望获取大量文件,则一般传输速率在 100Kb/s~1Mb/s 是让人满意的。

由上述分析我们可以看到为了满足数据通信的要求,必须构造数据通信网络以满足高速传

输数据的要求。但是在 20 世纪 60 年代人们开始进行数据通信时利用的却是电话网络,只满足了当时对数据通信的要求。

1.3.2 利用电话网络进行数据传输

由于人们设计电话网络的目的是用于传输 0.3~3.4 kHz 模拟话音信号,所以如果使用这样的通道传输数据信息,在发送端必须有相应的设备将数字数据信号变换成为与信道相适应的信号格式(这个过程称为调制),在接收端必须将收到的模拟信号恢复成数字数据信息(这个过程称为解调)。由于通信一般是双向的,所以通常一个设备必须完成调制和解调的功能,完成上述功能的设备合称为调制解调器(MODEM)。

我们知道虽然在中继线上已经采用 PCM 数字信号传输话音信息,但是由于用户环路上仍旧是模拟信号,所以在实际中即使采用数字交换设备,允许网络中直接进行数字交换和传输,但是在发送端仍然必须将数字信号变成模拟信号(调制),经过发送端的用户线传输给发送交换机,在发送局端再将模拟信号变成数字信号。网络传输可以直接使用数字方法,但是在接收局端必须将数字信号变换成模拟信号,然后通过接收端的用户线传输给调制解调器再将模拟信号转变成数字信号交给计算机系统处理。由此可见,在电话网络中进行数字信号传输至少需经过 A/D 和 D/A 两次变换,增加了信号传输的开销。虽然网络内部对于每一路数字话音提供的是 64Kb/s 传输速率,但是因为用户环路传输的是模拟信号,从而限制了网络中可以传输的数字信息速率。

使用电话网络进行数字数据通信的低效率的原因不仅只是用户环路上只能进行模拟话音信息的传输,而且还和电话网络采用的交换方式有关。前面已介绍,电话网络进行通信之前必须建立传输通道,在主叫用户和被叫用户之间建立一条实际的物理通道,即网络分配给用户固定的电路资源。在通信过程中无论是否有信息进行传输,电路都被用户占用。利用无处不在的电话网络进行数据传输,只需通信的双方附加调制解调设备就可以进行低速数据传输,这就是目前访问 Internet 只要求用户拥有计算机、调制解调器和电话线就可以的原因。但是因为数据通信过程中传输的数据量波动较之于话音方式要大得多,所以这种利用电路交换分配固定电路资源的方式缺点也是显然的:一方面在数据量很大时信道无法满足传输要求,另一方面在数据量很小时会浪费网络传输资源。

1.3.3 电路交换

为了突破用户线上传输比特率的限制和当时空分交换的缺陷,人们在 20 世纪 70 年代提出了基于电路交换的数据网络,改造用户线允许直接进行数字信号的传输,这样整个网络数据传输为全数字化,即数字接入、数字传输和数字交换,这就是所谓的电路交换数据网络(CSDN),其中数字传输即 PCM 传输,数字交换即程控交换,而数字接入可以提供 64Kb/s 和 128Kb/s 速率的数字信号的直接接入,不必附加相应的调制设备再进行模拟信号和数字信号的转换工作。但是电路交换数据网络由于采用了类似于电话网络的电路交换,网络无法根据链路上传输的数据量合理分配资源,同样造成网络传输效率比较低。

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) 信息以数字信号形式在数据通路中“透明”传输,交换机对用户的数据信息不存储、分析和处理,交换机在处理方面的开销比较小,对用户的数据信息也不需要附加许多用于控制的信息,信息的传输效率比较高。
- (3) 信息的编码方法和信息格式由通信双方协调,不受网络的限制。

电路交换的主要缺点：

(1) 电路的接续时间较长。当传输较短信息时,通信通道建立的时间可能大于通信时间,网络利用率低。

(2) 电路资源被通信双方独占,电路利用率低。

(3) 通信双方在信息传输、编码格式、同步方式、通信协议等方面要完全兼容,这就限制了各种不同速率、不同代码格式、不同通信协议的用户终端直接的互通。

(4) 有呼损,即可能出现由于对方用户终端设备忙或交换网负载过重而呼叫不通。

1.3.4 报文交换

为了克服电路交换中各种不同类型和特性的用户终端之间不能互通,通信电路利用率低,以及有呼损等方面的缺点,提出了报文交换的思想,它的基本原理是“存储—转发”,即如果 A 用户要向 B 用户发送信息,A 用户不需要先叫通与 B 用户之间的电路,而只需与交换机接通,由交换机暂时把 A 用户要发送的报文接收和存储起来,交换机根据报文中提供的 B 用户的地址确定交换网内路由,并将报文送到输出队列上排队,等到该输出线空闲时立即将该报文送到下一个交换机,最后送到终点用户 B。图 1.6 给出报文交换网络传输进行数据通信的一般过程。

在报文交换中信息的格式是以报文为基本单位。一份报文包括三部分:报头或标题(发信站地址、终点收信站地址及其他辅助信息组成)、正文(传输用户信息)和报尾(报文的结束标志,若报文长度有规定,则可省去此标志)。

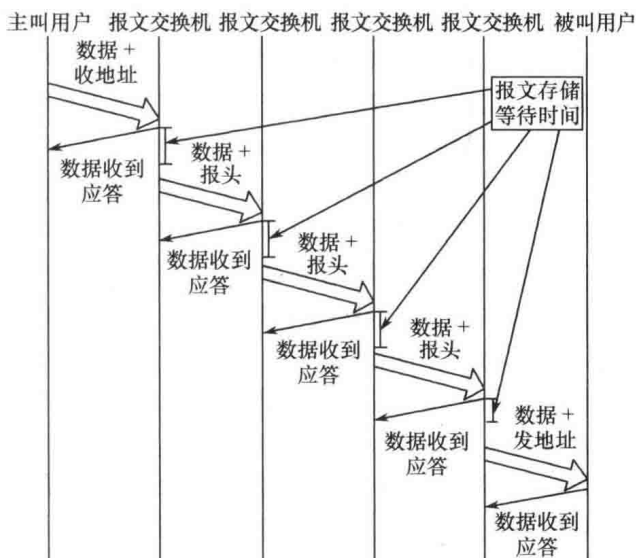


图 1.6 报文交换中数据通信过程

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) 报文以“存储—转发”方式通过交换机,输入、输出电路的速率、电码格式等可以不同,很容易实现各种不同类型终端之间的相互通信。

(2) 在报文交换(从用户 A 到用户 B)的过程中没有电路接续过程,来自不同用户的报文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,大大提高了线路的利用率。

(3) 用户不需要叫通对方就可发送报文,无呼损,并可以节省通信终端操作人员的时间。如果需要,同一报文可以由交换机转发到许多不同的收信地点,即实现同报文通信。

报文交换的主要缺点:

- (1) 信息通过交换机时产生的时延大,而且时延的变化也大,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,一般要配备磁盘和磁带存储器。
 - (3) 报文交换不适用于即时交互式数据通信。
- 报文交换适用于公众电报和电子信箱业务。

1.3.5 分组交换

前面介绍的电路交换不利于实现不同类型的数据终端设备之间的相互通信,而报文交换信息传输时延又太长,不满足许多数据通信系统的实时性要求(注意数据通信的实时要求是指利用计算机通信的用户可以交互传输信息,相比于话音延迟要求,数据实时传输延迟要求要宽松得多),分组交换技术较好地解决了这些矛盾。

分组交换采用了报文交换的“存储—转发”方式,但不像报文交换那样以报文为单位交换,而是把报文截成许多比较短的、被规格化了的“分组”(Packet)进行交换和传输。由于分组长度较短,具有统一的格式,便于在交换机中存储和处理,“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,一旦确定了新的路由,就很快输出到下一个交换机或用户终端。“分组”穿过交换机或网络的时间很短(“分组”穿过一个交换机的时延为毫秒级),能满足绝大多数数据通信用户对信息传输的实时性要求。

根据交换机对分组的不同的处理方式,分组交换可以分成两种工作模式:数据报(Datagram)和虚电路(Virtual Circuit)。数据报方式类似于报文传输方式,将每个分组作为一份报文来对待,每个数据分组中都包含终点地址信息,分组交换机为每一个数据分组独立地寻找路径,因此一份报文包含的不同分组可能沿着不同的路径到达终点,在网络终点需要重新排序。

虚电路方式是两个用户终端设备在开始互相传输数据之前必须通过网络建立逻辑上的连接,一旦这种连接建立以后,用户发送的数据(以分组为单位)将通过该路径顺序经网络传送到终点。当通信完成之后用户发出拆链请求,网络清除连接。可以看到这种方式非常类似电路交换中的通信过程。只不过此时网络中建立的是虚电路而非实际电路,在数据通信过程中不像电路交换方式是透明传输的,而会受到网络负载的影响,分组可能在分组交换机中等待输出线路为空后进行信息传输。有关分组交换技术将在第6章详细说明。

分组交换的主要优点:

- (1) 向用户提供了不同速率、不同代码、不同同步方式、不同通信控制协议的数据终端之间能够相互通信的灵活的通信环境。
- (2) 在网络轻负载情况下,信息的传输时延较小,而且变化范围不大,能够较好地满足计算机交互业务的要求。
- (3) 实现线路动态统计复用,通信线路(包括中继线路和用户环路)的利用率很高,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。每个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,使信息在分组交换网络中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”在分组交换网中传输的路由是可变的,当网中的线路或设备发生故障时,“分组”可以自动地避开故障点选择一条新的路由,而通信不会中断。
- (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容量,降低了网内设备的费用。对线路的动态统计时分复用也大大降低了用户的通信费用。分组交换网通过网络控制和管理中心(NMC)对网内设备实行比较集中的控制和维护管理,节省