



“十一五”规划教材

现代数字交换与通信网

朱世华 张亦希 黄俊



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



“十一五”规划教材

内容简介

现代数字交换与通信网

朱世华 张亦希 黄俊



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书论述了现代数字交换与通信网的基本概念、工作原理和实现技术。全书分为10章。第1章阐述现代程控数字交换与通信网的定义、术语、分类等基本概念,以及发展历史和现状。第2章介绍现代程控数字交换和通信网的理论基础——话务量理论。第3章介绍用户终端和传输系统的基本组成和工作原理。第4章介绍程控交换机中各类接口及接口电路的原理和实现技术,以及一些实用的专用集成电路等。第5章介绍数字交换网络设计的基础理论和具体实现方法。第6章讨论通信网的信令系统。第7章介绍现代交换和通信网的其它相关知识,包括:路由规划、编号制度、计费系统等。第8至10章讨论交换机的存储程序控制,包括软硬件结构、开发工具、功能概述、呼叫处理和运行、管理与维护等。

本书的主要读者对象是工科院校电子类专业高年级本科生和研究生,也适合于从事通信领域研究和生产的工程技术人员自学或参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代数字交换与通信网/朱世华等编著. —西安:西安交通大学出版社,2009.8
ISBN 978-7-5605-3100-7

I. 现… II. 朱… III. ①数字传输系统②通信网 IV. TN913.24 TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 150801 号

书 名 现代数字交换与通信网
编 著 朱世华 张亦希 黄俊
责任编辑 李 晶

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路10号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 西安新视点印务有限责任公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 20.625 字数 381千字 插页 1页
版次印次 2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3100-7/TN·115
定 价 29.80元

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdly@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前 言

本书是以《程控数字交换原理与应用》为基础,通过在内容和结构方面的适当修订而成。《程控数字交换原理与应用》于 1993 年第一次出版,它较重视对交换机设计和具体实现的介绍,能较好地帮助读者在理解原理的基础上提高实际设计能力。该书的内容深入浅出、通俗易懂,适应广大读者,因此被不少高校选为通信专业本科生教材。该书在 14 年时间里,共发行近 3 万册,为我国培养通信专业技术人员发挥了积极的作用。

随着电子、通信和计算机技术的不断更新换代,传统的电话交换机已由过去采用模拟交换技术、只能提供单一话音业务的交换设备,发展成为以数字交换和存储程序控制为特征的、能提供包括话音、数据和图像等多种业务的通用性通信网组网设备。因此,为了更好地满足读者的需要,有必要对《程控数字交换原理与应用》的内容和结构作必要的修订和补充。

首先,本书将话务理论基础与交换网络分开,作为独立的一章来介绍;其次,增加用户终端和传输系统的组成及工作原理;第三,在接口电路中删去了目前已较少使用的模拟中继接口电路,在信令系统中删去了相应的模拟局间信令,同时对原来的 7 号信令系统进行了扩充,增加了信令连接控制部分 SCCP、综合业务用户部分 ISUP 等方面的内容;最后,在存储程序控制中还增加了一种目前较流行的呼叫处理进程调度方法,以适应存储程序控制技术的发展。

本书除进行了以上修订外,基本保留了原书中的实际交换系统的例子、专业集成电路原理的介绍与应用,以及一些实用的曲线和图表,以供读者在实际工程中查用。并对原书各章习题修改补充。这些习题的目的不在于使读者获得某种普遍性的结论,而仅希望帮助读者理解和巩固正文中的内容。交换类著作中常采用大量的英文缩写词,这为初学者阅读带来一定困难。本书末尾附有英文缩写词语表,供读者阅读正文时对照。

本书的主要读者对象是通信、计算机及其他电子类专业高年级本科生和硕士生,也可作为从事通信领域科研、生产的工程技术人员的参考书。读者应具备概率论、数字电路、微机原理和数字通信原理的知识。

由于作者的水平和学识有限,书中不妥和错误之处在所难免,殷切地希望广大读者及同行专家批评指正。

作 者

2008 年 12 月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 交换与电信网	(1)
1.1.1 交换的起源和定义	(1)
1.1.2 电话交换网	(2)
1.1.3 呼叫与信令	(4)
1.1.4 电信业务与 ISDN	(6)
1.2 交换机的组成	(7)
1.2.1 交换网络	(8)
1.2.2 接口电路	(10)
1.2.3 控制系统	(12)
1.3 交换技术的发展	(16)
1.3.1 从模拟人工交换到数字程控交换	(16)
1.3.2 从电路交换到分组交换	(18)
1.3.3 从传统交换到现代交换	(21)
主要参考文献	(23)
习 题	(23)
第 2 章 话务理论基础	(25)
2.1 话务量	(25)
2.2 服务等级	(29)
2.2.1 泊松分布	(30)
2.2.2 爱尔兰-B 公式	(33)
2.2.3 爱尔兰-C 公式	(38)
主要参考文献	(42)
习 题	(42)
第 3 章 传输系统和用户终端	(44)
3.1 传输系统的基本原理	(44)
3.2 电信网中常用的传输系统	(45)
3.2.1 2 线传输系统	(45)

3.2.2	4 线传输系统	(48)
3.2.3	同轴电缆传输系统	(51)
3.2.4	微波、卫星和光纤传输系统	(57)
3.3	电信网的同步	(58)
3.4	数字复接技术	(65)
3.4.1	准同步数字体系 PDH	(65)
3.4.2	同步数字体系 SDH	(66)
3.5	用户终端	(75)
	主要参考文献	(78)
	习 题	(78)
第 4 章	交换机的接口电路	(80)
4.1	程控数字交换机的接口	(80)
4.2	模拟用户接口电路	(81)
4.2.1	2 线模拟接口 Z	(81)
4.2.2	2 线模拟接口电路的功能	(81)
4.2.3	2 线模拟接口电路的实现	(83)
4.2.4	SLIC 专用集成电路	(88)
4.2.5	PCM 编解码器专用集成电路	(89)
4.3	数字用户接口电路	(94)
4.3.1	数字用户接口电路的一般原理	(94)
4.3.2	几种常用的数字用户接口电路	(98)
4.4	用户模块	(111)
4.5	数字中继接口电路	(112)
4.5.1	数字接口 A	(112)
4.5.2	A 接口电路的实现	(112)
	主要参考文献	(121)
	习 题	(121)
第 5 章	交换网络	(125)
5.1	交换网络原理	(125)
5.1.1	交换网络的结构	(126)
5.1.2	集中与扩张	(130)
5.2	数字交换网络	(134)
5.2.1	数字时间交换器	(134)

5.2.2 集成单片时间交换器	(140)
5.2.3 数字空间交换器	(142)
5.2.4 多级数字交换网络	(145)
主要参考文献	(150)
习 题	(151)
第 6 章 信令系统	(155)
6.1 信令系统原理	(155)
6.1.1 信令的定义	(155)
6.1.2 信令的编码	(157)
6.1.3 信令的传输	(159)
6.2 终端信令	(162)
6.2.1 普通电话信令	(162)
6.2.2 程控电话信令	(165)
6.3 No.7 信令系统(一)	(167)
6.3.1 系统结构概述	(168)
6.3.2 用户部分(UP)	(169)
6.3.3 消息传递部分(MTP)	(176)
6.3.4 信令传输	(184)
6.4 No.7 信令系统(二)	(185)
6.4.1 增补后的 No.7 信令系统结构	(185)
6.4.2 SCCP 的消息及作用	(187)
6.4.3 TCAP 的原理和应用	(194)
6.4.4 ISDN 用户部分(ISUP)	(196)
6.5 No.7 信令系统在交换机中的实例	(204)
主要参考文献	(207)
习 题	(208)
第 7 章 网络规划和管理	(211)
7.1 路由规划	(211)
7.1.1 路由设计	(212)
7.1.2 路由选择	(217)
7.2 编号制度	(219)
7.3 计费系统	(222)
7.3.1 通信设备的投资与回收	(222)

7.3.2 计费方法	(226)
7.3.3 计费系统的实现	(228)
主要参考文献	(229)
习 题	(229)
第 8 章 存储程序控制	(232)
8.1 控制系统的结构与特点	(232)
8.1.1 基本结构	(232)
8.1.2 并行处理与多机控制	(236)
8.1.3 实际系统举例	(247)
8.2 软件生成技术	(250)
8.2.1 软件分类及生成工具	(250)
8.2.2 SDL 语言	(253)
主要参考文献	(258)
习 题	(259)
第 9 章 呼叫处理	(262)
9.1 控制系统软件的基本功能要求	(262)
9.1.1 用户业务功能	(263)
9.1.2 OAM 功能	(267)
9.1.3 PABX 功能	(269)
9.2 呼叫信令的接收与发送	(271)
9.2.1 模拟监测信令的扫描与输入	(271)
9.2.2 MF 信号解码	(273)
9.2.3 会议电话信号合成	(275)
9.3 呼叫处理过程	(277)
9.3.1 呼叫阶段的划分	(278)
9.3.2 本局呼叫处理过程	(279)
9.4 数据结构	(281)
9.4.1 用户接口数据	(281)
9.4.2 号码分析	(283)
9.4.3 路由及中继线路选择	(286)
9.4.4 接续链路选择	(288)
主要参考文献	(289)
习 题	(289)

第 10 章 运行、管理与维护	(294)
10.1 命令解释程序与人机语言	(294)
10.2 系统运行、管理及操作	(297)
10.2.1 接口管理	(297)
10.2.2 用户权限管理	(300)
10.2.3 话务量管理	(303)
10.2.4 运行方式	(305)
10.3 维护与诊断	(306)
10.3.1 故障检测	(307)
10.3.2 故障诊断	(308)
10.3.3 故障排除	(309)
主要参考文献	(310)
习 题	(310)
附录 爱尔兰-B 公式计算程序	(313)
部分习题答案.....	(314)
英文缩写词语表.....	(317)

第1章 概 论

1.1 交换与电信网

1.1.1 交换的起源和定义

交换技术是随电话的发明而出现的。仅在贝尔发明电话后两年即 1878 年,便出现了第一台交换机。

当存在 $N(N>2)$ 台电话机,且每一台话机都希望能随时与其它任何一台话机通话时,最直接的方法就是将它们按如图 1.1 中所示的方式两两连接起来。这种全互连方法要求每台话机都必须与其余 $N-1$ 台话机相连,相应地它必须有 $N-1$ 个连线端子。此外当我们在该系统中增加第 $N+1$ 台话机时,必须铺设连至已有的 N 台话机的 N 条连线,且需为原有的每台话机增加一个新的连线端子。显然,当话机数量较大且相距较远时,这种方法在经济和技术上都难以实现,它只适用于电话机的地理分布相对集中且服务质量要求高的场合。

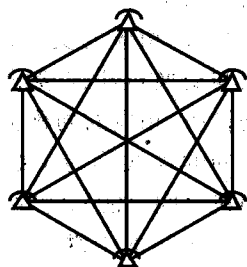


图 1.1 6 台电话机间的全互连连接

基于上述原因,人们很快发明了交换机。尽管交换机的实现原理与技术自第一台交换机出现已发生了很大的变化,但其基本作用仍是相同的,即实现任何一对电话机之间的相互通话。交换机在电话通信中的作用可用图 1.2 说明。每一台电话机都通过一对专门的导线(称为用户环线,简称为用户线)与交换机中的一个相应接口电路(称为用户接口电路)连接。实际中的用户线常是一对绞合的塑胶外包的铜线,线径在 $0.4\sim 0.7\text{ mm}$ 之间。若干对绞线之外再包上多层抗拉、防水、

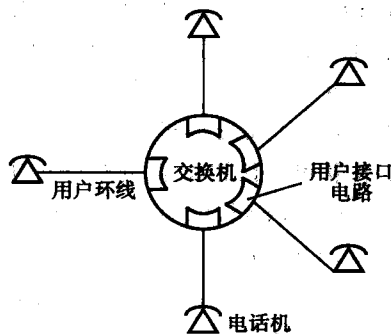


图 1.2 利用交换机实现多台电话机间的电话通信

屏蔽和防机械损伤的材料,形成所谓的双股电缆。IEEE(Institute of Electrical and Electronic Engineers)给交换机所下的定义是:能在任意选定的两条线路(用户线)之间建立和(而后)释放一条通信链路的设备。换言之,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。

1.1.2 电话交换网

当电话机的数量进一步增加且地理位置的分布进一步扩大时,简单地使用一台交换机连接所有的电话机仍是不适合的,这将使交换机变得过分庞大且大部分用户线过长。解决的方法是使用多台交换机组成一个交换式电话通信网(简称电信网^[1]),如图 1.3 中所示。图中与电话机直接连接的交换机称为本地交换机,相应的交换局称为本地局,而仅与交换机相连接的交换机称为汇接交换机,相应的局称为汇接局。交换机之间的连线称为中继线。由于两台交换机之间可能同时存在多路通话,因此它们之间的中继线通常有多条。为便于网络管理,这些中继线可按其特点和用途分为若干组,每组称为一个中继群。

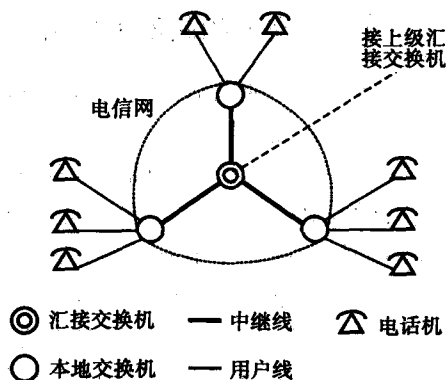


图 1.3 由多台交换机组成的电信网

在引入汇接和中继的概念后,1.1.1 节给出的交换机定义中所指的“线路”,现在除应包括用户线外,还应包括中继线。由图 1.3 可以看出,除用户线和电话机供各用户专用外,封闭曲线所包围的电信网由所有的用户终端(电话机)共享。

当电信网进一步扩大时,我们可将若干个图 1.3 中所示的汇接交换机通过更高一级的汇接交换机连接起来。如此重复,最终形成一个树形的等级制网络。国际电报和电话咨询委员会(CCITT, Consultation Committee of the International Telephone and Telegraph, 1993 年后更名为 ITU-T, International Telecommunication Union Group T)所规定的国际电话网可分多达七级。

在实际中,出于经济上的考虑,交换机的用途和网络连接关系(网络拓扑)并非如上述那样单纯。例如,一台交换机可以同时具有本地和汇接功能,即本地交换机具有汇接功能,或汇接交换机上连有电话用户线。此外,一台交换机除可与自己的上级交换机连接外,也可与其它同级交换机甚至其它上级交换机连接。

图 1.4 给出了城市电信网中的常见组成形式。在此例中,整个城市分为三个汇接区,3、8、9 号汇接交换机通过全互连方式连接起来。每个汇接区中所有的本地交换机通过该区的汇接交换机汇接。整个市话网再由 3 号和 8 号交换机通过长途线路与其它城市或上级(例如省级)网连接。显然,3 号交换机同时具有汇接和本地交换机的功能。

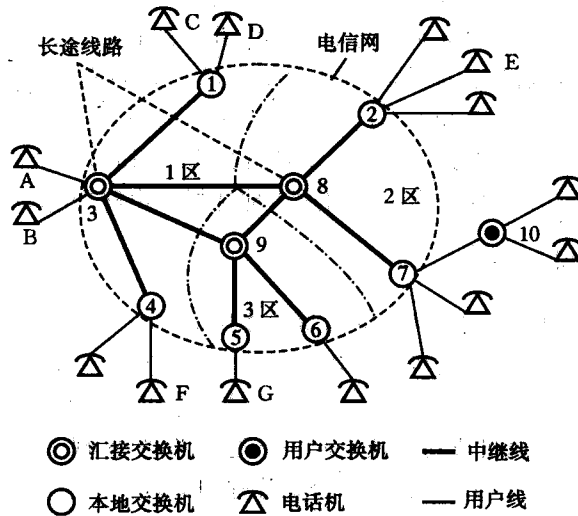


图 1.4 多台交换机构成的城市电信网

该网中本地交换机(即图 1.4 中 1~7 号交换机)又称为市话交换机,相应的交换局称为市话局。8 号汇接交换机又称为长话交换机,相应的交换局也称为长话局。显然,3 号交换机是长市话合一的交换机。

两台交换机之间的所有中继线构成一个局向。因此 1、2、4~7 号机各有一个局向,而 3、8、9 号机各有多个局向。仅具有一个局向的市话局称为端局,而具有多个局向的电话局称为中心局。

在我国,有一类特殊的端局交换机,称为农话交换机(目前正在逐步减少),它主要考虑了农村话务量较小和地理位置较分散的特点。因此农话交换机可看作是个别性能指标有差异(例如用户线较长)的一种特殊的端局交换机。

图 1.4 中的用户交换机(PBX, Private Branch Exchange)即 10 号交换机常用于一个集团的内部。PBX 在我国也常称为小交换机。它与市话交换机之间的中继线数目通常远比 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接到市话交换机更经济。当 PBX 具有

自动交换功能时,又称为 PABX(Private Automatic Branch Exchange)。PBX 与普通市话交换机的主要区别在于中继线不同:市话交换机与 PBX 之间的连线对于市话交换机来说是用户线,而对于 PBX 则是中继线。亦即 PBX 的中继接口电路连接着市话交换机的一个用户接口电路。因此市话交换机将 PBX 看作是一台普通的电话机,仅话务量较大。而 PBX 的中继接口电路则必须能模拟一台电话机工作,因此 PBX 的中继接口电路与市话交换机的中继接口电路有较大的差别。

在图 1.4 中,我们看到该城市与上级网络并不通过唯一的中继线连接。图中 3 号和 8 号交换机均通过长途线路与其它城市的长话局或上级局连接,这主要是出于经济上的考虑(见第 7 章)。于是该市话网中的任一台话机所发出的长途呼叫,出路将不是唯一的。例如,当话机 G 发出长途呼叫时,它既可经 5—9—3 号局呼出,也可由 5—9—8 号局呼出。如何适当地选择呼出路径称为呼叫的路由问题。

1.1.3 呼叫与信令

对于如图 1.4 所示的电信网,它的整体作用应当与一台交换机相同,即能在话机用户的要求下在主、被叫话机之间建立和释放(或拆除)一条通信链路。因此,电信网的每一次接续操作都由主叫话机发出通信请求开始,这时我们称该话机发起了一次呼叫。每当交换机成功地建立起一条通信链路,实现了主、被叫之间的通信时,我们称它成功地处理了一次呼叫,否则称呼叫失败。当主、被叫(在电信行业中也常称为发、受话)双方都连接着同一台市话交换机时,例如在图 1.4 中 A 呼叫 B 或 C 呼叫 D,等等,便称为本局呼叫。当呼叫涉及两台或两台以上交换机时,例如当话机 A 经 3、8、2 号交换机呼叫话机 E 时,对于 3 号交换机这是一次出局呼叫,对于 2 号交换机是一次入局呼叫,而对于 8 号交换机则是一次转接呼叫。由于在实际中,任何一台市话交换机都不可能单独存在,所以市话交换机必须具有处理本局、入局和出局呼叫的能力。而对于市汇合一的交换机,如图 1.4 中的 3 号交换机,则应具有本局、入局、出局和转接这所有四种功能。

如上所述,电信网的每一次操作都是在用户的请求下开始的。用户通过所谓的信令指导电信网操作。电信网也通过信令向用户传送有关接续过程的信息,指导用户进一步操作。一次成功的呼叫过程包括以下三个阶段:

(1)呼叫建立——由主叫话机向它所连接的本地交换机发出通信请求,并提供被叫话机的标志(如电话号码)。如果被叫方与主叫方不属于同一台本地交换机,则还应由主叫方交换机通过中继线向被叫方交换机或中转汇接交换机发送通信请求和被叫方电话号码等信号,直至有关的各交换机在相应的主、被叫用户线之间建立(也称作接续)起一条贯通的通信链路。

(2)消息传输——主、被叫终端通过用户线及交换机内部建立的链路和中继线

进行通信。

(3)释放——通话任一方向其本地交换机发出终止通信的信令,使本次通信所涉及链路中的各交换机释放其内部链路和所占用的中继线,以供其它呼叫使用。

当然,如果因交换机中无空闲链路、网络中无空闲中继线或被叫话机占线等原因造成呼叫失败时,将不存在后两个阶段。

在上述各个阶段,用户线和中继线中所传输的信号,其性质是不同的。在呼叫建立和释放阶段,用户线和中继线中所传输的是指导网络接续或拆线的命令;而在消息传输阶段,所有线路中传输的都是主、被叫终端之间的通信信息。我们称呼叫建立和释放阶段所传输的信号为信令,而消息传输阶段的信号为消息。电话机和本地交换机之间的信令称为用户线信令。如果将话机看作一个广义的用户终端,它也称为终端信令。此外,由于用户线信令是用户终端进入电信网的操作信令,它也常称为用户—网络信令。交换机之间通过中继线传递的信令称为局间信令(因为中继线常连着不同的交换局中的交换机)或称为网络内部信令。

图 1.5 给出了一次呼叫的典型例子。它说明了通话过程的三个阶段,以及电话机与交换机之间和交换机相互之间的信令交互关系。图中信令均以我们习惯使用的名称标出。各箭头及所标注的信令表示:主叫话机摘机,造成话机发出“摘机”信令,由用户线传至所连接的本地交换机 A;交换机 A 收到“摘机”后,发回“拨号音”;主叫话机用户听到拨号音后,向交换机拨送“号码”,等等。此外,注意图中黑实点的用法。例如“回铃音”由交换机 B 发出,由主叫话机接收,交换机 A 仅提供通路。不难看出,信令是话机与交换机之间或交换机相互之间的“对话”,而消息是在话机和话机之间的“对话”,此时交换机只相当于一条“直通”信道。

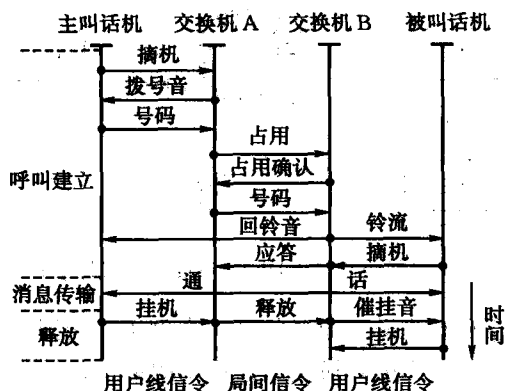


图 1.5 一次成功呼叫过程的三个阶段以及相应的信令交互关系

1.1.4 电信业务与 ISDN

至此,我们的讨论一直仅限于电话通信。在实际中,人们所习惯的用以交流的消息形式主要有语音、文字和图像三种。相应地存在着独立地传送语音的电信网和传送数据(包括文字)的电报网和计算机网。活动图像通信由于其所要求的传输带宽很大,至今除单向传播的电视网普遍存在外,专门用于全速全色实时活动图像交互通信的网络仍处于研究和发展阶段。

我们常把电信网所能传递的消息形式称为它所能提供的通信业务。因此,我们说电信网提供了话音通信业务;计算机网^[2]提供了数据通信业务,等等。

在图 1.3 或图 1.4 中,如果我们将电话机换成数据终端或图像终端,只要这些终端能模仿普通电话机发出和接收信令,且消息信号的传输特性与话音信号的相同,则上述电信网同样可用于传输数据和图像。事实上这种应用早已存在。在图 1.6 中,计算机利用一个调制解调器(MODEM, Modulator and Demodulator),即可通过电信网进行数据通信。调制解调器将计算机发出的信令(通常是二进制数字)转换成标准的电话信令,从而模仿了电话机指导交换机接续通信链路;然后将数字数据转换(术语称调制)成所谓的话音频信号,使其顺利通过原本为话音传输设计的信道。对于来自交换机的信令和消息,调制解调器则进行相反的处理。

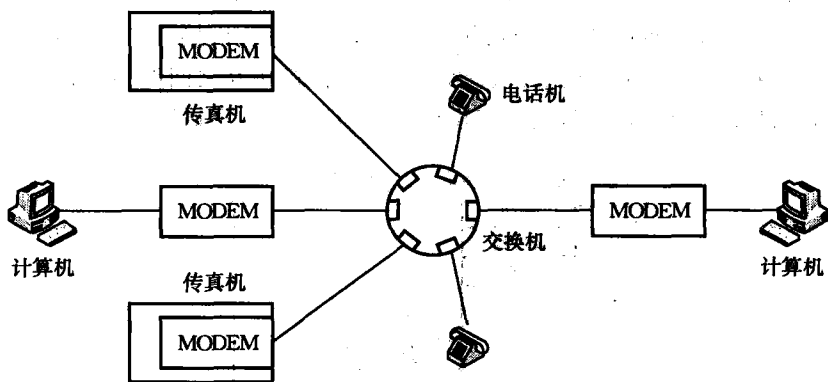


图 1.6 利用调制解调器(MODEM)通过电信网传送数据或图片

传真机是利用电信网传送非话业务的又一个例子。在图 1.6 中,传真机将待发送的图片上的黑白像素经过光电转换变成二进制的数字信号,然后由调制解调器转换成话音频信号。这里调制解调器同样需要模仿普通电话机收、发用户线信令。

由于电话业务的通信过程较简单,相应的信令系统也较简单,且话音信号频带很窄(4 kHz),因此上述通过调制解调器使用户终端适应网络的方法对非话业务

的带宽和功能都带来许多限制。彻底解决这一问题的方法是对原有电信网进行改造,使之适应各种非话业务的通信需要。由于传统的传输系统和交换接续链路的带宽都是按话音通信业务设计的,改造后的电信网应能随需要灵活地提供各种带宽的信道。此外,改造后的电信网应有功能更强大的信令系统,以满足各种复杂的呼叫需要。这样一种能同时提供各种通信业务的网络称为综合业务通信网,由于这在全数字化的传输和交换的条件下才能实现,因而也常称为综合业务数字网(ISDN, Integrated Services Digital Network)^[3]。

必须指出,传统的电信网虽可利用调制解调器实现非话业务通信,但由于电信网并没有任何改变,即网络仍是以支持话音通信为特征的,因而它不能称为综合业务通信网。

作为现代电信网重要组网设备的程控数字交换机,尽管其最初的出现仅是为完成电话交换,但其最高目标则是提供 ISDN 功能。本书在重点讨论电话程控交换的基础上,还将讨论有关 ISDN 交换的必要知识。

1.2 交换机的组成

尽管交换机的作用如 1.1 节所述,是简单而统一的,但却可因它所连接的外部网络环境、所连接的用户线及中继线的类型、交换机所需提供的功能、所采用的电路器件技术甚至是设计者的知识结构和个人习惯等因素,而在内部结构方面有很大的差异。但从总体上讲,其内部组成仍可大致分为三个部分:接口电路、交换网络 and 控制系统,如图 1.7 中所示。

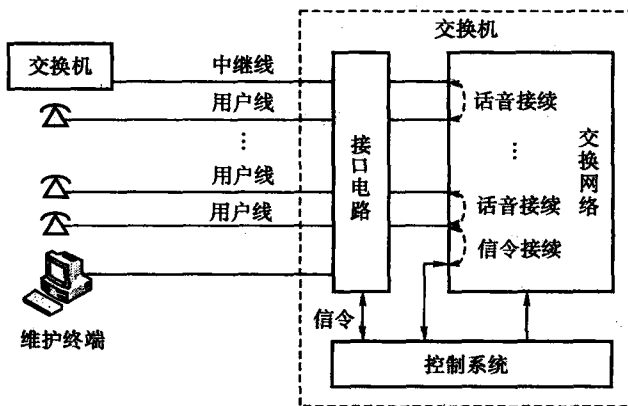


图 1.7 交换机的组成