

第 1 章 绪 论

§ 1.1 自动电话交换机的发展

最早的自动电话交换机是在 1892 年 11 月 3 日投入使用的。那是美国人史端乔创造的步进制自动电话交换机。史端乔是美国堪萨斯城的一个殡仪馆老板，他发觉每当城里发生死亡事件时，用户往往向话务员（人工交换机）说明要接通某一家“殡仪馆”，而那位话务员总是把电话接通到另一家殡仪馆。这使史端乔很生气，发誓要将电话交换机自动化。结果他成功了，取得了第一个自动电话交换机的专利权。以后就管这种交换机叫做史端乔交换机。

史端乔发明的是步进制交换机，在这个基础上各国又作了改进，于是就产生了德国西门子式自动交换机。这种“步进制”自动交换机的特点是由用户话机的拨号脉冲直接控制交换机的接线器动作。它属于直接控制方式。

以后又出现了旋转制和升降制的交换机。它们是属于间接控制方式的交换机。在这种交换机中，用户的拨号脉冲由叫做“记发器”的部件接收，然后由记发器通过译码器译成电码来控制接线器的工作。采用记发器以后，增加了选择的灵活性，而且可以不一定用十进制数，间接控制还可以允许选择器提高出线容量，从而可以使交换机的容量得到提高。

1919 瑞典工程师比图兰德（Betulander）和帕尔默格林（Palmgren）为一种叫做“纵横接线器”的新型选择器申请专利。这种接线器将过去的滑动摩擦方式的接点改成了压接触，从而减少了磨损，提高了寿命。

1926 年和 1938 年分别在瑞典和美国开通了纵横制交换机，接着法国、日本和英国等国也相继生产出纵横制交换机。

纵横制交换机有两个特点：第一个特点就是接线器接点采用压接触方式，减少了磨损，并且由于采用了贵金属使得接点接触的可靠性提高了；另一个特点是“公共控制”，这就是控制部分和话路分开。交换机的控制由“标志器”和“记发器”来完成。公共控制对用户拨号盘的要求低，中继布局灵活性高。

随着电子技术，尤其是半导体技术的迅速发展，人们在交换机内引入电子技术，称做电子交换机。最初引入电子技术的是在交换机的控制部分。而在对落差系数要求较高的话路部分则在较长一段时期未能引入电子技术，因此出现了“半电子交换机”和“准电子交

交换机”。它们都是在话路部分采用机械接点，而控制部分则采用电子器件。差别只是后者采用了速度较快的“簧簧接线器”。

只有在微电子技术和数字技术的进一步发展以后才开始了全电子交换机的迅速发展。

1946年第一台存储程序控制的电子计算机的诞生，对现代科学技术起到了划时代的作用，震撼着各个领域。这一新技术也使得人们有可能在电子交换技术中引入“存储程序控制”这一概念。

一开始，由于计算机的可靠性还不十分高，而交换机对其控制部件要求却很高，要求其在几十年内连续不断地工作，这对专用于交换机的计算机提出了很高要求，从而提高了成本。由于控制机的昂贵，当时采用的是集中控制方式，故控制系统较为脆弱。只有在大规模集成电路，尤其是微处理器和半导体存储器大量问世以后，这种状况才得到彻底改变。

早期的程控交换机是“空分”的，它的话路部分还保留机械接点。例如1965年美国贝尔公司投产开通的第一台商用的存储程序控制电子交换机 ESS No. 1 系统就是一台空分交换机。

20世纪60年代初期以来，脉冲编码调制（PCM）技术成功地应用在传输系统中，对通话质量和节约线路设备的成本都产生了好处。于是产生了将PCM信息直接交换的设想。各国都开始了研制PCM信息的交换系统。1970年法国首先在拉尼翁开通了第一台数字交换系统 E10 开始了数字交换的新时期。

数字交换机的诞生不但使电话交换跨上了一个新的台阶，而且对开通非电话业务，如用户电报、数据业务等提供了有利条件。它对今后实现综合业务数字网（ISDN）打下了基础，使之变成现实可行了。

§ 1.2 自动电话交换机的分类

自动电话交换机从信息传递方式上可分为：

模拟交换机：它对模拟信号进行交换。包括机电式交换机、空分式电子交换机和脉冲调制（PAM）的时分式交换机；

数字交换机：它对数字信号进行交换。这里的数字信号包括脉码调制（PCM）信号和增量调制（ ΔM ）信号。

自动电话交换机从控制方式上可分为：

布线逻辑控制交换机（简称布控交换机）：这里指所有控制逻辑用机电或电子元件做在一定的印制板上，通过机架的布线做成。这种交换机的控制部件做成后便不易更改，灵活性很小。

存储程序控制交换机（简称程控交换机）：这是用数字电子计算机控制的交换机（一般都是电子交换机）。采用的是电子计算机中常用的“存储程序控制”方式。即把各种控制功能、步骤、方法编成程序放入存储器，利用存储器内所存储的程序来控制整个交换机工作。要改变交换机功能，增加交换机的新业务，只要修改程序就可以了。这样就提高了

交换机的灵活性。

自动电话交换机还有其他分类方法，这里不作一一介绍。

§ 1.3 程控交换机的基本概念

程控交换机的基本结构如图 1.1 所示。图中分为话路和控制两部分。其话路部分可以和现在运行的纵横制交换机的话路部分相比拟。而控制部分则是一台数字电子计算机，它包括中央处理机(CPU)、存储器和输入/输出设备。

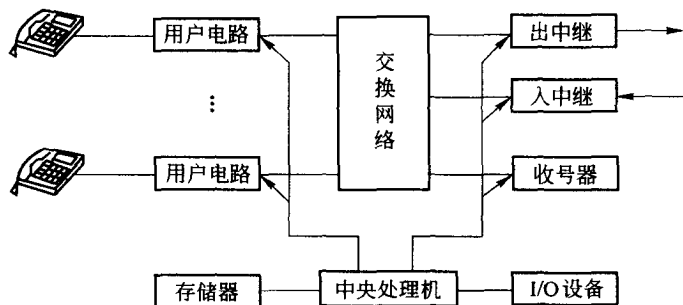


图 1.1 程控交换机结构框图

交换网络可以是各种接线器(如纵横接线器、编码接线器、笛簧接线器等)，也可以是电子开关矩阵(电子接线器)，它可以是空分的，也可以是时分的。交换网络由 CPU 送控制命令驱动。

出中继电路和入中继电路是与其他电话交换机的接口电路。它传输交换机之间的各种通信信号，也监视局间通话话路的状态。

用户电路是每个用户话机独用设备，只为一个用户服务。它包括用户状态的监视和用户直接有关的功能等。在电子交换机，尤其是在数字交换机中，用户电路的功能越来越加强了。

图中所示的中继器和用户电路包括收号器都受中央处理机控制。

这样就可以得出结论：程控交换机实质上是数字电子计算机控制的交换机。

§ 1.4 程控交换机的优越性

程控交换机的产生和发展在技术和经济上都带来了一系列的优越性。

1. 技术上的优越性

(1) 能提供许多新的用户服务性能。如缩位拨号、叫醒业务、呼叫转移等等。关于这一点将在下一节详细介绍。

(2) 维护管理方便，可靠性高。程控交换机可以通过故障诊断程序对故障进行检测和定位。在发生故障时紧急处理及时迅速。因此它在维护管理上和可靠性上带来了好处。

灵活性大。为适应交换机外部条件的变化，增加的新业务往往只要改变软件（程序和数据）就能满足不同外部条件（如市话局、长话局、汇接局或国际局等的不同需求）的需要。对将来新业务的发展也带来了方便。

(4) 便于向综合业务数字网方向发展。通信网的最终发展方向是要建立一个高质量、高速度、高度自动化的“综合业务数字网（ISDN）”。所谓“综合业务”是指把话音、数据、电报、图像等各种业务都通过同一设备处理，而“数字网”则是将上述数字化了的各种业务在用户间进行传输和交换。在今后的综合业务数字网中，程控交换机是不可缺少的设备。

(5) 有可能采用公共信道信号系统。采用公共信道信号系统以后，不但可以提高呼叫接续的速度和提供更多服务性能，而且还能提高通信质量。

(6) 便于利用电子器件的最新成果，使整机技术上的先进性得到发挥。

2. 经济上的优越性

(1) 交换设备方面

- 程控交换机主要采用电子器件。这样与纵横制比较可以节省大量有色和黑色金属；
- 程控交换机体积小，占用机房面积也小；
- 重量轻，可节省基建费用；
- 耗电省；
- 在集成电路大幅度降价的情况下，有可能大幅度降低程控交换机成本。

(2) 线路设备方面

程控交换机可以通过采用远端用户模块方式节省用户线，降低线路设备的费用。

(3) 维护和生产方面

由于检测和诊断故障的自动化，减少了维护工作量，节省了维护人员。在制造中工艺也简单了，提高了生产效率。

与程控模拟交换机相比，程控数字交换机有以下优点：

不仅在控制设备中，而且在交换网络中也使用了大规模集成电路。这导致交换技术与计算机技术的直接合并；

可使交换机设备的体积进一步缩小；

可以和 PCM 传输设备配合使用；

易于实现模块化技术，故可做到初装容量很小而终局容量很大的交换局；

易于实现无阻塞交换网络；

⑦ 易于实现无衰减交换；

⑧ 话音、数据和图像等信息都以 64 kbit/s 或 $n \times 64 \text{ kbit/s}$ 的数字信号进行交换，对实现 ISDN 有利；

⑨ 易于对话音加密。

§ 1.5 程控交换机的服务性能

由于程控技术可以将许多用户和话局管理服务特性事先编成程序放在存储器中，以

备随时取用，这就使程控交换系统比原先任何形式的交换机有利，它大大扩充了各种服务性能。程控交换机有以下各种用户服务性能。

1. 给一般用户的服务

(1) 基本服务包括：

自动电话呼叫服务 包括市内、长途、国际电话的自动拨号和自动计费；

接入到话务员，以便接至自动拨号所不能达到的用户和查询信息；

• 接入到录音通知 用来查询信息；

• 接入到特种服务；

公用电话服务；

捣乱用户跟踪；

• 中间服务。这项服务对象主要是对未能达到所需号码的呼叫。它可以插入并转至话务员或电话应答机，或给予一种信号音，把相应信息通知给主叫用户。未能达到的原因可能是：电话号码已改，一组号码已重新编号或交换局号改变；电话簿号码印错，拨入空号，拨入不使用的号码，中继路由故障、阻塞，用户暂时故障，由于未付费而暂停使用等等；

缺席用户服务；

呼叫禁止。用于设备有故障或用户未付费而暂停使用；

• 用户观察。对申告有差错的用户进行观察。

(2) 补充服务，包括以下几种：

• 缩位拨号；

呼叫转移。或叫“电话跟我走”；

• 遇忙转移。当被叫忙时，对该用户的呼叫自动转移至其他号码；

• 无应答转移。当振铃不应答，经一定时间后转移至另一号码；

叫醒服务；

呼叫等待。给已接通呼叫的用户发一个等待音，表示又有人正在呼叫他，他可以作出选择，是放弃原有呼叫而接受新呼叫还是保持原有呼叫；

遇忙回叫；

免打扰；

• 热线服务。为使一台话机既可以有热线服务又可以作普通呼叫，采用定时方式。即当用户摘机在一定时限内拨号即作普通呼叫处理。在一定时限内不拨号则作热线处理；

限制呼叫；

• 防止插入。有些用户线，譬如说既有电话业务又有数据业务，则不允许插入别的信号（强行通话或呼叫等待音等）；

会议电话，可能有几种方式：

(a) 话务员召集的会议电话；

(b) 用户控制并事先登记的会议电话；

(c) 用户控制的临时性会议电话；

(d) 可增加的会议电话，即可随时增加会议成员；

(e) 集合会议电话，事先安排，若干用户在规定时间内各自呼叫同一号码，从而建立会议电话；

- 用户处安装呼叫计次表；
- 及时呼叫计费通知。

2. 给各种用户交换机用户的服务

这种服务是为满足机关、企业、团体等集团用户对扩大和提高电话服务的要求而规定的。可以有不同种类的用户交换机：

- 人工和自动用户交换机 (PBX 和 PABX)；

其他各种类似的用户交换机，如集团电话等；

- 虚拟用户交换机 (CENTREX)。这是程控交换机的一种软件功能。它把公用交换机内部分用户组成一个用户群，该群内的用户具有一般用户交换机中分机的各项功能。而且对该用户群来说，也可能具有内部拨小号、打外线先拨零等普通用户交换机的特征。

用户交换机的特殊服务性能如下：

(a) 呼入时号码连选；

(b) 夜间服务；

除了上述服务之外，还有如为查询而保持呼叫、进行中的呼叫转移、多方会议电话等补充服务。

对于虚拟用户交换机的服务则应集中到公用交换局内，其中有一些服务性能和普通用户相同，如直接拨入、缩位拨号、三方呼叫、自动回叫、呼叫等待、呼叫转移、热线服务等。此外，虚拟用户交换机的“分机”还能有一些特殊服务。如：

- 直接拨出；
- 同组中分机间的拨号；
- 保留呼叫；
- 多方会议电话；
- 分机连选；
- 优先分机；
- 截取呼叫；
- 呼叫限制等。

3. 在管理和维护上的新业务

程控交换机在对交换机的管理和维护上也发展了新的业务，例如：

- 规定服务等级；
- 话务自动控制；
- 自动故障诊断；
- 用户号码改变；
- 计费和打印计费清单；
- 自动设备测试；

- 迂回路由寻找；
- 交换局无人值守等。

§ 1.6 程控交换技术的发展

目前程控交换技术在以下方面得到进一步发展：

- (1) 软、硬件模块化。软件采用高级语言 尤其是 CCITT 建议的高级语言。软件设计和数据修改采用数据处理机；
- (2) 在控制部分采用计算机局域网技术，将控制部分设计成开放式系统。这有利于今后适应新的业务和功能；
- (3) 在交换网络方面进一步提高网络的集成度和容量，制成大容量的专用芯片。如 $16\text{ k} \times 16\text{ k}$ 乃至 $32\text{ k} \times 32\text{ k}$ ……等等；
- (4) 进一步提高用户电路的集成度，降低成本，从而降低整个交换机的成本；
- (5) 进一步加强有关智能网、综合业务数字网性能的开发，从而适应新的要求；
- (6) 大力开发各种接口，包括各种无线接口和光接口；
- (8) 加强接入网的开发 为以后用户传输各种非话业务 包括宽带业务 打下基础；
- (7) 加强网络管理功能，并为进入管理网做好准备。

§ 1.7 当前世界通信的发展

多年以来，世界通信产业一直以超过国民经济的速度发展。进入 20 世纪 90 年代以来，全世界掀起一个建设“信息基础设施”的浪潮。由于通信网是信息基础设施的主体和骨干，受到各国政府的高度重视。许多发达国家纷纷制订“信息高速公路”计划，投入巨资建设本国通信网 加速信息化进程 争取在 21 世纪的世界经济竞争中继续保持优势地位。如日本计划 5 年内投资 800~1 000 亿美元 建设高级通信网 欧共体计划设资 5 000 亿美元 在 20 世纪内实现通信网全面现代化。各国通信业在世界范围内的竞争进行得热火朝天。

§ 1.7.1 当前世界通信产业发展特点

1. 世界通信技术进步越来越快

当今世界，技术已成为竞争的制高点。谁拥有新技术，谁就掌握了竞争和发展的主动权。而通信技术正是处于当代科学技术发展的前沿，发展极为迅猛。通信手段越来越现代化，技术应用的领域出越来越广阔。

发达国家的通信网正在加快向综合化、宽带化、智能化、个人化和全球化方向发展。先进的同步数字体系、异步传送模式、光纤用户环路、无线接入等技术将在本世纪末和下世纪初得到广泛应用。

随着通信技术的发展，各种通信业务也不断出现。电子信箱、电子数据交换、可视图文等高附加值业务已在发达国家广泛使用。今后，通信业务将向更高层次发展。综合数字通信业务、多媒体业务和个人通信业务等逐步进入市场。

2. 世界通信市场竞争日趋激烈

目前，世界通信市场格局发生新的变化。发达国家在继续发展本国通信产业的同时，积极开拓国际市场。其中发展中国家，特别是亚太地区成为争夺的焦点。中国被称做“全世界最大也是最后一个通信市场”，受到国际资本的广泛关注。他们急于进入中国市场，纷纷推出各种先进的技术和业务。这就使我们有条件接触各种先进的技术，同时也鞭策我们要努力学习新技能，不断提高自己，跟上通信发展的步伐。

§ 1.7.2 当代通信技术综观

综观当今电信技术的发展趋势，未来的电信网将朝着数字化、智能化、宽带化、个人化和全球化方向发展。网络将满足越来越广泛的网络资源和用户的需求。用户可以得到进行通信和信息交流的各种手段。网络的特征是：成本低、结构简单、功能高和标准化程度高。

从宏观角度来看，现代通信技术大体上可以包括以下几方面技术：

1. 传送网技术

传送网技术正从 PDH 准同步数字体系向 SDH 同步数字体系转变。

随着 SDH 技术的引入，传输系统不仅具有能提供各种通信信息的传递功能，而且还提供对信号的处理和监控等功能。数字交叉连接设备（DXC）和分插复用设备（ADM）的引入改变了过去点到点的传输概念，而发展成为一个“传递网”。在传送网中的传输媒介主要是光纤，其次是数字微波和卫星。

SDH 的发展方向是高速大容量。近年来，2.4 Gbit/s 的 SDH 系统已走向实用。10 Gbit/s 系统也已基本完成实验室工作。20 世纪末可以达到商用化。当传输速率达到 20 Gbit/s 时，将接近器件的极限。在此之后只有采用波分复用（WDM）或光时分复用（OTDM）才能进一步利用光纤的传输容量。

传送网技术发展的另一方向是增强组网灵活性和网络管理能力。SDH 为增强组网能力奠定了基础。分插复用设备提供了灵活地上/下电路的能力。数字交叉连接设备的引入使网络的拓扑结构变成动态可变的了。增强了网络适应业务发展的灵活性和安全性；可在更大范围内实现电路群的保护、调度和通信能力的优化利用。

与 SDH 同时发展的网络管理技术将进一步标准化。预计到本世纪末将可实现包括信息模型在内的高层规程的兼容互通，并通过远程软件加载改变配制。网管技术的发展又促使 SDH 自动保护倒换算法的发展。除通道保护环之外，复用段保护算法将趋成熟。在 2000 年前完成环网互通的标准并投入应用。今后还会进一步开发在全网范围内实现保护的算法，实现网络投资的优化。

2. 接入网技术

接入网覆盖从交换机的交换端口（ET）到用户终端设备（TE）之间的包括传输媒介在内的所有设备。它可能包括窄带和宽带交换的远端模块、复用器、数字交叉连接设备和用户传输系统等设备。

由于接入网直接与用户相连，其数量很大，且牵涉面也比较广，其投资费用要占整个通信网的 1/3 或者更大。从另一方面来讲，接入网又是电信部门向用户提供业务的窗口，

用户对业务的不同需求影响网络的结构和接入方式。因此，接入网技术是一个对业务、法规、技术和成本都十分敏感的领域。

由 ITU-T 国际电信联盟的电信标准部门提出的‘接入网交换侧 V5 接口’综合了数字交换与数字用户线的标准化接口，有利于在用户环路上引入新技术，充分发挥 64 kbit/s 通路的能力。在性能和经济上都比原有的模拟接口来得优越。V5 接口同时支持公用电话网 PSTN、ISDN、帧中继、分组交换、数字数据网 (DDN) 等业务。它对从现有网向 ISDN 和宽带网过渡提供了有利条件。

对于现有的用户线，人们想出各种方法来提高其利用率：如自适应脉冲编码调制 ADPCM 技术，高速数字用户线 HDSL 方式，不对称数字用户环路 ADSL 方式等。此外，还采用光纤用户环路，光纤/同轴电缆的混合系统 HFC 以及无线用户环路等各种技术。

3. ISDN 技术和 ATM 技术

ISDN 包括窄带的 N-ISDN 和宽带的 B-ISDN。当前，窄带的 ISDN 技术已经成熟并且已经商用化。但是由于其价格较高而又没有给用户带来太大的好处，前些年发展得并不很快。只有近年来 Internet 的发展才使 N-ISDN 有了长足的发展。

B-ISDN 能够提供各种宽带业务，它也能和现代的各种新技术如 SDH、ATM 和 IN 等融为一体，形成一个完整的现代通信网。

在 B-ISDN 中的交换采用异步传送模式 (ATM)。这是一种新型的交换方式，它可以把不同种类 (如语音、数据、图像) 不同速率 (固定、可变) 不同性质 (突发性、连续性) 以及不同性能要求 (时延要求、误码率要求) 的信息在网内实现透明传输。它可对通信网中各种各样的信息 (包括图像、数据和话音) 进行综合交换和传输。它能按需提供不同带宽和不同业务等级，使网络的资源能够得到充分利用；它能够比较容易地增加新业务；它也能降低通信网的建设和运行维护费用。

B-ISDN 在传送网上采用 SDH 和 DXC 等技术；在接入网上采用标准的用户—网络接口。它将是今后发展信息高速公路的一个重要基础。

4. 移动通信和个人通信技术

近些年来，无线通信技术的发展一直与网络的个性化发展紧密地联系在一起。移动通信系统，特别是陆地移动通信，主要指蜂窝移动通信、无线寻呼和无绳电话，和卫星移动通信的发展格外引人注目。这将是人类走向个人通信的一个重要环节。

目前的蜂窝移动通信所采用的数字技术、时分多址方式 (TDMA) 的第二代的数字蜂窝移动通信系统已经成熟。其主要代表有泛欧的数字移动通信系统 (GSM) 等。码分多址 (CDMA) 的数字蜂窝移动通信系统也日趋成熟。CDMA 比 GSM 突出的优点是具有更大的系统容量 (约为模拟的 10 倍以上) 有极强的抗干扰性能，无需频率动态分配，无需小区频率规划，组网灵活方便，无间断越区切换。再加之可使用双模用户机，与模拟网兼容。因此，在未来十年中，CDMA 将有广阔的应用前景。

微蜂窝数字移动通信是为解决具有高话务密度和人口密度地区的业务拥挤、信号阻塞、通话质量下降等问题而发展起来的。目前国际上较为成熟的系统都工作在微波低频段 (1.8~2.2 GHz)。其主要接入方式为 TDMA 和 CDMA。

卫星移动通信作为陆地移动通信的补充，解决了地域广阔的沙漠、海洋等话务量稀

少，地面网架设困难地区的通信问题。目前国际上已提出了十几种同步轨道、中低轨道卫星移动通信计划。

5. 智能网技术

智能网的基本设计思想是想把业务逻辑从交换机中分离出来，由集中的节点加以控制。这个节点叫做业务控制点（SCP）。它完成业务控制功能（SCF）和业务数据功能（SDF）。而交换机只实现交换接续逻辑，叫做业务交换点（SSP）。完成业务交换功能（SSF）和呼叫控制功能（CCF）。

智能网的概念进一步设想是把业务分解成若干“业务特征”由“与业务不相关的构件（SIB）通过业务逻辑来实现。因此，只要设计一套业务逻辑，把不同的 SIB 按一定的顺序链接起来，就能实现一种新业务，从而可以大大加快新的智能业务的开发。

智能网是一个结构上的概念。它可以用于电话网，也可以用于 ISDN 移动通信网、分组数据网等等，以使相应的通信网提高智能化程度。

6. 多媒体通信技术

多媒体技术是当今最热门的新技术之一，目前已经比较成熟。多媒体卡、多媒体计算机、节目制作系统、演示系统都已经出现，并且已经商用化。但它们一直处于单机工作状态。由于没有通信能力而缺乏实用价值。对于用户来说也希望能在通信网上进行多媒体信息的传送。这就促使多媒体技术能与通信技术结合起来。今后多媒体技术将广泛应用于通信领域。

未来多媒体通信的主要特征是：有线电视（CATV）、电话和计算机将连成网。将 CATV 的视听功能、计算机的交互功能和信息处理能力以及电话的双向沟通能力结合在一起，使得在网络的分布性和多媒体信息的综合性的基础上，得到最大限度的互补和发挥。

7. 支撑网技术

支撑网是电信网的重要组成部分。现代电信网的高层支撑网包括 No. 7 信令网、数字同步网和电信管理网。

No. 7 信令网是一个运行 No. 7 公共信道信令的信令网。它保证了电信网的正确运行。目前 No. 7 信令已是实用阶段，但是还在继续研究和开发新的功能，以满足业务网的新要求。

数字同步网主要提供数字电信网的时钟同步。其发展与所支撑的电信技术业务的发展关系十分密切。

电信管理网 TMN 提供一个有组织的网络结构以取得在各种操作系统之间、操作系统与电信设备之间的互连。它采用具有标准协议和信息的接口，进行管理信息的交换。

8. 因特网技术

因特网的发展使得地球变小了。人们之间的距离近了。

在因特网上连接的是各种不同类型的计算机，它包括 PC 机、小型机、大型机以至于巨型机。还有在人工智能实验室里才有的古怪机器。随着移动通信的发展，以及它和因特网的结合，在因特网上出现了大批“掌上电脑”。人们通过手机在因特网上发送、接受信息。人们还在因特网上炒股。

在因特网上可以获取各种信息，它们有最新的国际和国内的事件和新闻、天气预报；在网上图书馆翻阅各种资料；在各种数据库中搜索各种文件资料。

人们通过电子邮件系统进行通信、交流情报。

网上出现了“学校”。人们通过因特网来听课甚至完成学业。

医院可以通过因特网进行会诊，甚至手术。

人们可以在网上玩游戏，等等还有许多。

IP电话的出现对传统的以电路交换为基础的程控电话是一个不小的冲击。虽然目前还不至于达到取而代之的程度。但竞争已经开始了，并且前者由于价格上的优势，发展很快。

9. 下一代的通信技术

软交换技术将成为下一代通信的基础技术。它进一步发展了智能网中业务与呼叫控制分离，呼叫与承载分离的思想。

全光通信网是电信网从全电网到光电网进一步发展的第三代网络。他的特点是大容量、波长路由选择、高度的业务透明性、网络的可扩展性和网络资源重组的灵活性。

当然还有一系列技术问题需要解决。而且，随着社会经济科学技术的向前发展，会不断提出各种新的业务要求，从而促使电信技术进一步发展。

第 2 章 语音信号的数字化基础

我们经常遇见各种信号，总的说来信号可以分为两大类：

- (2) 模拟信号。这是数值上连续变化的信号，如话音信号、图像信号等；
- (1) 数字信号。这是离散的信号，它由许多脉冲组成，如电报信号、数据信号等。

在数字电话通信中，人们的说话声音信号是模拟信号，那么在发话端就要先经过变换器（叫做模/数变换器或叫 A/D 变换器）把它们变成数字信号后送入传输设备、传输线。在接收端再由反变换器（数/模变换器或 D/A 变换器）变成模拟（话音）信号。

许多路数字电话信号通常采用时间分割多路复用方法，因此各路数字话音信号在时间上是错开的。

数字信号有各种调制方法。常见的有以下两种。

脉冲编码调制（简称脉码调制）即 PCM。这是最早出现的一种数字调制方法，也是目前国际上应用最广的一种方法；

增量调制 又叫 M。这种调制方法的优点是电路简单。但它的缺点是在话音质量上不如 PCM 因而也不如 PCM 用得普遍。在这一章中只对 PCM 的基本原理进行介绍。

§ 2.1 时间分割多路复用原理

时间分割多路复用原理可由如图 2.1 的示意图来说明。图中设有 3 路信号（或 3 个用户）分别为第一路、第二路和第三路。在发送端有一个“选择器”按一定时间分配分别接通每一路信号。这样在“选择器”的输出端就会是 3 个话路的复用信号了。这个“选择

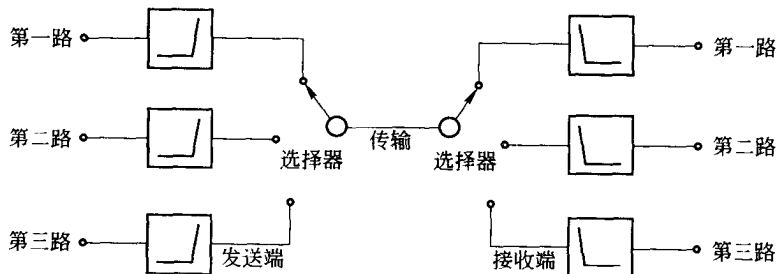


图 2.1 时分多路复用原理

器'实际上是完成'抽样'功能。这一段的波形如图 2.2 所示。在接收端,由'选择器'按次序将三路复用的话音信号分别分配给 3 个话路。当然,这是最粗线条的示意性说明。下面将会较详细地介绍时分多路复用和 PCM 的基本原理。

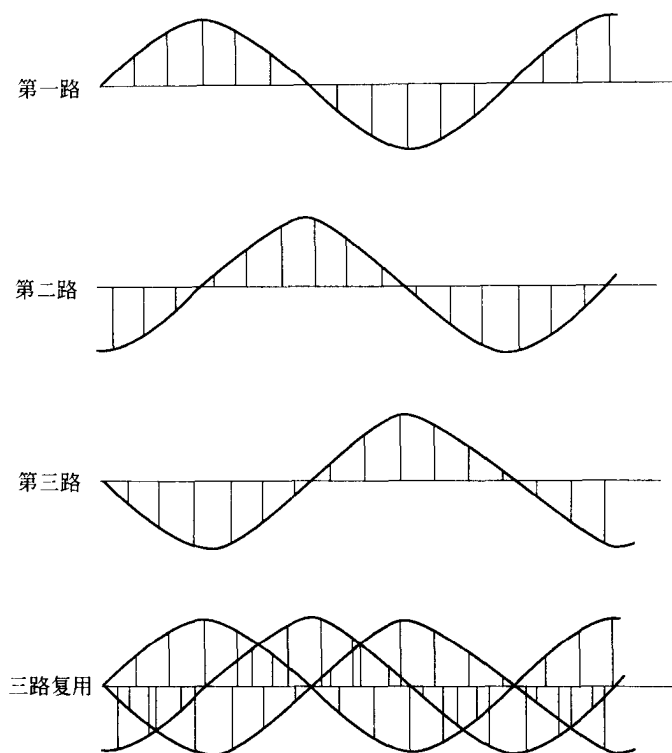


图 2.2 三路复用波形图

§ 2.2 模拟信号的抽样和抽样定理

模拟信号变成数字信号的第一步工作就是要对模拟信号进行抽样。所谓“抽样”是用很窄的矩形脉冲按一定周期读取模拟信号的瞬时值。图 2.2 中每一路信号就是用窄脉冲进行了抽样的。那么这就产生了一个问题,需要以多高的抽样频率进行抽样才能在接收端恢复成原来的信号呢?这个问题由著名的抽样定理给予了回答。抽样定理是这样规定的:传送限带连续信号时,只要传送信号的单个抽样值(脉冲)的序列就足够了。这些抽样值的幅度等于连续信号在该时刻的瞬时值,而重复频率 f_c 至少等于所传交流信号的 2 倍。

通常的通话频带的带宽是 4 kHz (话音频带规定为 300~3 400 Hz)。因此抽样频率取在 $f_c = 8\,000$ Hz 就足够了。

图 2.3 中示意性地画出了如何将模拟信号抽样的原理。图中共有 30 个话路,每一路首先经过低通滤波器,使之变成只有 4 kHz 带宽的限带信号。然后由抽样门进行抽样。抽样门出来的脉冲是经过脉冲调制过的信号,把它叫做脉冲幅度调制(简称脉幅调制)信

号。或者叫做 PAM 信号。PAM 信号易受干扰，不适于传输。因此要将它变成抗干扰性能强的信号。

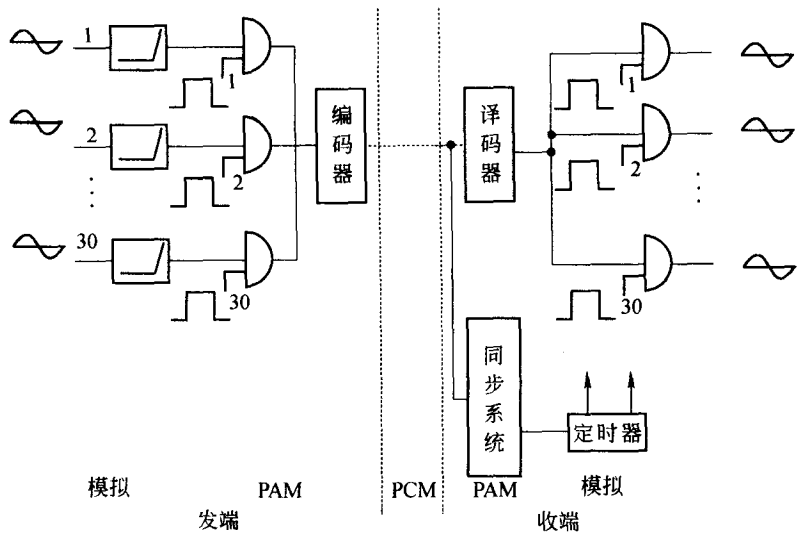


图 2.3 抽样原理示意图

§ 2.3 抽样信号的量化和编译码

由于抽样所得到的信号是从连续信号来的，因此抽样值的幅度大小可能有无限种。但是人们的耳朵只能辨别有限个大小幅度变化。而且为了以后编码，也需要有限个幅度大小的变化。因此必须要将抽样值用有限个“量”来表示。这个过程就叫做“量化”。量化过程就是把在输入端连续变化的有无限种幅度的模拟量变成在输出端的有限种幅度的模拟量。

例如我们将 0~8 V 范围内的模拟量分为 8 级 每级 1 V。即 0~1 V 为 0 级 1~2 V 为第 1 级……用这 8 级的量去量化输入信号。

量化方法大体上有以下三种：

- 舍去型。即将小于 $\frac{1}{2}V$ 的尾数舍去；
- 补足型。即将小于 $\frac{1}{2}V$ 的尾数补足为 $\frac{1}{2}V$ ；
- 四舍五入型。

那末对于不同的值就可能有不同的结果。表 2.1 所示为几个例子和采用不同的量化方法所得的不同结果。

表 2.1 量化举例

量化前的值/V	量化后输出值/V		
	舍去型	补足型	四舍五入型
6.6	6	7	7
6.1	6	7	6
0.1	0	1	0

以上的量化方法不管是哪一种都有一个共同特点，就是量化分级是均匀的，也就是说不论信号大小其绝对误差是相同的。

量化的误差其后果是产生“量化噪声”。对于均匀分级的量化，其量化噪声也是均匀的，这样对于小信号的信噪比就会很小。信噪比是通信上用以衡量通信质量的一个重要指标。它是这样表示的：

$$\text{信噪比} = 10 \lg \frac{\text{信号}}{\text{噪声}} \quad (\text{单位: dB})$$

一般要求信噪比大于 26 dB。显然在小信号时上述的量化噪声就可能太大而达不到这个标准。因此要求减少小信号时的量化噪声，或者说要求减少小信号时的量化误差。一般来说可以有两种解决办法：一种是将量化级差分得细一些，这样可以减少量化误差，从而减少量化噪声。但是这样一来量化级数多了，就要求有更多位编码及更高的码速，也就是要求更高的编码器。这样做不太合算。另一种办法是采用不均匀量化分组，就是说将小信号的量化级差分得细一些，将大信号的量化级差分得粗一些。这样可以使在保持原来的量化级数下将信噪比做得都高于 26 dB 这种做法叫做“压缩扩张法”，简称压扩法。

压扩法的基本原理可以从图 2.4 中看到。图中画出了两种不同的量化方法——线性量化法和压扩法，并且作了对比。图中有两个输入信号，一个是小信号，一个是小信号。而经过压扩法量化后的输出信号和线性量化后的输出信号相比产生了变化，输出信号幅度前者对后者来说 大信号压缩了 小信号扩大了。

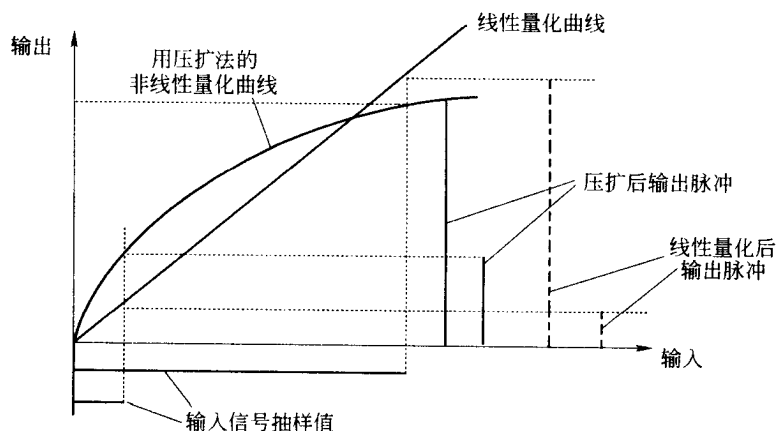


图 2.4 压扩法基本原理示意图

一般非线性压扩特性采用的是近似于对数函数的特性。CCITT 曾建议采用的压扩律叫做 A 律或 μ 律。A 律通用于欧洲，它是为 30/32 路 PCM 中采用的； μ 律通用于北美和日本，它是为 24 路 PCM 中采用的。我国采用的是 A 律。若遇到采用 μ 律的设备，则往往要求能对 A 律兼容。下面仅对 A 律进行一些介绍。

A 律的输入电压 u_x 和输出电压 u_y 的关系如下式所示：

$$u_y = \frac{A u_x}{1 + \ln A} \quad 0 \leq u_x \leq \frac{1}{A} \quad (\text{小信号})$$

$$u_y = \frac{1 + \ln Au_x}{1 + \ln A} \quad \frac{1}{A} \leq u_x \leq 1 \quad (\text{大信号})$$

上式中 第一个公式适用于 $u_x \leq \frac{1}{A}$ 的小信号 而第二个公式适用于 $u_x \geq \frac{1}{A}$ 的大信号。其中 u_x, u_y 均为归一化信号, 要求输入电压 u_x 经过压扩以后输出电压 u_y 的增量 u_y 为常数。

从上式可见, 在小信号时, u_y 和 u_x 是线性关系; 在大信号时, u_y 和 u_x 是对数关系。当 $u_x = 0$ 时 这时原点斜率应为

$$\left. \frac{du_y}{du_x} \right|_{u_x=0} = \frac{A}{1 + \ln A}$$

若令比值等于 16 则可得 $A = 87.6$ 。这就是当前采用的 A 律的压扩常数。

将这个 A 值代入上面二式 同时令 $u_y = \frac{1}{8}$, 即 u_y 值按照 $\frac{1}{8}$ 线性增长 可得表 2.2 的 u_x, u_y 的对应值。在表中每一项取 u_x 值的近似值 $u_{x近}$ 使得每一段的斜率为一个整数。根据表中结果 画出了如图 2.5 的曲线。表 2.2 中 u_x 和 u_y 的关系是曲线 而 $u_{x近}$ 和 u_y 的关系却是一种用二幂次分割的折线。这两条折、曲线很接近。在图 2.5 中只画出了 u_y 和 $u_{x近}$ 的折线。它将 y 轴分为均匀的 8 段, x 轴则不是均匀的 8 段。正负共有 16 段。但在 $u_x = 0 \sim \frac{1}{128}$ 和 $u_x = 128 \sim 64$ 这两段中的斜率都是 16, 也就是这两段是一条直线 相当于一。再加上 $u_{x近}, u_y$ 为负数时也有同样两段斜率为 16 的线 也可以合在一起。这样在最小值时的 4 段合成为一段, 16 段变成 13 段 或者说 图 2.5 中画的实际上是 13 折线。从图中可以看出, 对大信号的分段粗, 而对小信号的分段细。这就提高了小信号时的信噪比 使其满足 26 dB 的指标。

表 2.2 13 折线表

u_y	0	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{8}{8} = 1$
u_x	0	$\frac{1}{128}$	$\frac{1}{60.6}$	$\frac{1}{30.6}$	$\frac{1}{15.4}$	$\frac{1}{7.79}$	$\frac{1}{3.93}$	$\frac{1}{1.98}$	1
$u_{x近}$	0	$\frac{1}{128}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
$\frac{\Delta u_y}{\Delta u_{x近}}$		16	16	8	4	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$

从图中可见 量化共分为 ± 8 段 每段可以进一步区分为 16 个等份 每一等份为一个量化级。这样应该共有 $\pm 8 \times 16 = \pm 128$ 量化级。因此 在 32 路 PCM 中用 8 位码来表示。

经过上述量化以后的信号要通过编码处理变成一组码子, 它由各种码元组成。32 路 PDM 采用 8 位码 分为三部分 最高位为极性码 代表信号的极性 剩下的 7 位码正好代表 128 个量化级。其中高三位为段落码, 共有 8 段; 低 4 位为段内码 即每一段分为 16 个量化级。

常用二进制码有两种: 自然二进制码和折叠二进制码。自然二进制码为从 0000 至 1111 共 0~15 个量化级。折叠二进制码是前 8 段和后 8 段的编码呈折叠型的。这可以

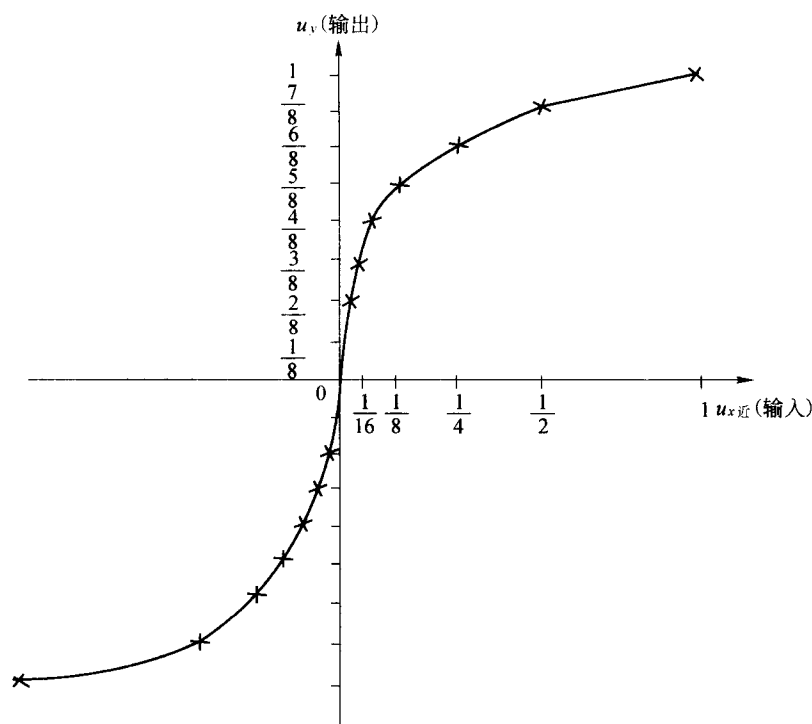


图 2.5 13 折线

通过将低 8 级的自然二进制码倒换位置 (即 0 级和 7 级倒换……) 得到。折叠二进制码对小信号产生的传输错误影响较小, 而话音信号中含量较多的是小信号。因此采用折叠二进制码较为有利。

§ 2.4 传输码型

编码器的输出码型有以下几种:

单极性不归零码 (NRZ), 这就是信号“1”有脉冲, 信号“0”无脉冲。其占空比为 100%;

单极性归零码 (RZ) 其占空比为 50 码元形式可见图 2.6。

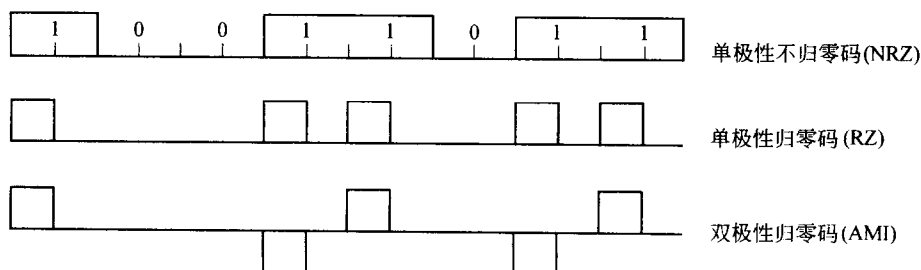


图 2.6 PCM 码型