

第1章 绪 论

本章概要：电信网络是支撑电话、移动电话和 Internet 技术发展的基础设施。所有电信网络实现的关键技术是交换技术。交换技术实现的方式主要分为电路交换、报文交换和分组交换三大类，电路交换是最早也是最成熟的交换技术。通过本章的学习，可了解交换技术的基本原理、程控交换机的结构以及电信技术的发展趋势。具体内容包括：

- 电话交换的基本原理
- 电话交换技术的发展
- 自动电话交换机的分类
- 电话交换机的基本任务与结构
- 电路交换、报文交换与分组交换
- 通信交换技术的发展

1.1 电话交换的基本原理

电话交换机的基本功能是交换。图 1-1 是由一台电话交换机和许多用户话机相连的示意图，交换机实现所有电话的连接和中转业务，需要时动态地将一用户接至另一用户。

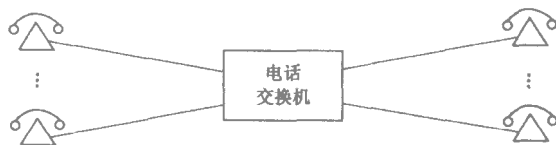


图 1-1 电话交换机与用户话机相连的示意图

电话通信的基本目标是在任何时刻、使任何两个地点的人们之间进行通话，因此必须具备三个基本要素：

发送和接收语音的终端设备——电话机。

远距离传输语音信号的传输设备——各种类型的传输设备，包括最简单的金属线缆、载波设备、微波设备、光缆和卫星设备等。

对语音信号进行交换接续的交换设备——各种类型的电话交换机。

这三者缺一不可，电话交换机在整个电话通信网中起着枢纽的作用，构成网中的各级结点。如果没有电话交换机就不可能组成电话通信网，也不会实现一个电话用户可以随时同世界上任何地方的另一电话用户进行通话的方便环境。

1.2 电话交换技术的发展

自 1876 年美国贝尔发明电话以来，电话通信和电话交换机取得了巨大的进步和发展，电话交换技术完成了由人工到自动的过渡。交换技术的发展经历了以下几个过程：

元器件的使用由机电式到电子式的过程。

接续部分的组成方式由“空分”向“时分”方向的发展。

控制设备的控制方式由布线逻辑控制（布控）向程序控制（程控）的发展。

交换的信号类型由模拟向数字的发展。

交换的业务由电话业务向综合业务（ISDN）方向的发展。

交换的信号带宽由窄带向宽带的发展。

电话交换技术的发展大致可划分为以下几个阶段。

1. 人工电话交换

1878 年美国制成了第一台磁石式电话交换机，它能配合磁石电话机工作。这种电话交换方式的特点是每部话机均备有电源电池，以手摇发电机作为发起呼叫信号的工具。在交换机上以用户吊牌接收呼叫信号，以塞绳电路连接用户的通话。这种设备结构简单，容量有限，难以适应发展的需要。接着出现了共电式电话交换机，这种交换机的特点是每个用户话机的电源由电话局统一通过用户线馈送，简化了用户话机，利用话机环路的接通作为呼叫信号。

这两种交换机都属于人工交换方式，手工地进行交换接续操作，速度慢，易出错，劳动强度大。

2. 机电制自动电话交换

1891 年美国史端乔发明了第一台步进制自动电话交换机，使用上升旋转型机械式接线器，通过用户拨来的号码脉冲控制选线。在话路中主要通过电磁铁控制选择机键的动作完成电话接续，在控制电路中则主要用继电器接点电路构成控制逻辑，自动完成各种控制功能，后经德国西门子公司加以改进，发展成为西门子式步进制自动电话交换机，我国早期安装这种交换机较多。与此同时，世界上还发明了旋转制、升降制、全继电器制等多种机电制交换机。

步进制自动电话交换机的特点是选择机键的动作幅度大、噪声响、磨损快、故障率高、传输杂音大和维护工作量大，而且不能用于长途自动电话交换。

1926 年瑞典制成了第一台纵横制自动电话交换机，沿用了电磁原理，但其话路的主要部件使用了纵横接线器。这种接线器动作小、噪声轻、磨损少，且采用了间接控制技术，选择和接续不由用户的拨号控制，从而克服了步进制交换机的很多缺点，尤其是可用于长途自动电话交换，20 世纪 50 年代后，得到了广泛的推广和使用。

3. 程控模拟电话交换

1965 年美国成功地开通了世界上第一台程控电话交换机（ESS1），将存储程序控制原理应用到了电话交换机的控制系统，其话路系统仍沿用了按纵横制原理构成的交换网络，以交换模拟语音信号。此后，又研制出多种模拟程控电话交换机，如日本的 D10、原联邦德国的 EWS 等。

4. 全数字电话交换

在传输中采用数字通信技术后，其优良的通信质量和性能改变了长期以来用模拟信号进行通信的局面。由于数字传输同模拟交换机衔接时需要进行数 / 模、模 / 数的变换，促进了对直接以数字信号进行交换的程控交换机的研制。1970 年在法国开通了第一部数字交换机 E10 后，许多新的数字交换系统相继问世，诸如英国的 X 系统，日本的 D60、D70、NEAX-61 和 F150，瑞典的 AXE-10，原联邦德国的 EWSD，美国的 ESS4 和 ESS5 等。

全数字电话交换机在话路中对 PCM 数字语音编码直接进行交换，控制部分则由存储程序控制的数字计算机或微计算机承担。这类交换机的体积小、工作速度快、可靠性高，尤其话路系统与 PCM 传输系统密切配合，不必进行数 / 模变换，与控制系统的工作速度相匹配，容量可以做得很大，而阻塞概率却极小，在使用中具有明显的优越性。

5. 综合业务数字交换

通信网的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”是指把语音、数据、电报、图像等各种业务都通过同一设备处理，在“数字网”实现上述数字化的各种业务在用户间的传输和交换。

6. 异步转移模式

异步转移模式 (ATM) 技术包括了异步时分交换和快速分组交换两者的特征。ATM 技术能使未来的宽带综合业务数字网 B-ISDN 处理从窄带语音、数字业务到宽带视频 (包括高清晰度电视) 业务范围的综合信息。ATM 能提供动态带宽和多媒体通信方法。

ATM 以“信元”为单位进行数字信息的交换与传输。“信元”具有固定长度，由 5 个字节的信头和 48 个字节的信息域，共 53 个字节组成。无论传送何种信息，都以面向连接的方式在一条虚电路上传送，该虚电路是通过呼叫处理功能在用户间半永久地建立的。ATM 的信息传送是异步的，信元在时间上没有固定的位置，信元流所载运的信息和时间之间没有任何联系。

ATM 可根据用户信息的有无来分割信元，适应于任何速率的通信，可高速率地传输突发业务。它是依靠标志码来区分各路信号的，通过改变标志码 (包含在信元的信头中) 来完成交换任务。ATM 技术能根据需要动态地分配有效容量，利用单一结构交换所有业务，可按需改变传送信息的速度，按照统计复用的原理进行传输和交换，适应任意速率的通信。对高速通信，信元的转移频次高；对低速通信，信元的转移频次低。

1.3 自动电话交换机的分类

1. 根据信息传递方式分类

模拟交换机：对模拟信号进行交换的交换机。通过普通电话机传出的语音信号是模拟信号，步进制、纵横制等交换机都属于模拟交换机。对于电子交换机来说，属于模拟交换机的有空分式电子交换机和脉幅调制 (PAM) 的时分式交换机。

数字交换机：对数字信号进行交换的交换机。目前最常用的是对脉冲编码调制 (PCM) 数字信号进行交换的数字交换机。

2. 根据控制方式分类

布线逻辑控制交换机：交换机的控制部分是将机电器件 (如继电器) 或电子元件做

在一定的印制板上，通过机架布线做成。这种交换机的控制部件做成后不好修改，灵活性小。

②) 存储程序控制交换机：交换机的控制部分类似计算机，采用的是计算机中常用的“存储程序控制”方式。即把各种控制功能、步骤、方法编成程序，利用存储器内所存储的程序来控制整个交换机的工作。需要改变交换机功能或增加新业务时，只需要修改程序或数据就能实现。这种方式大幅度地提高了交换机的灵活性。

1.4 电话交换机的基本任务与结构

1. 电话交换机的基本任务

电话交换机有四种基本呼叫任务，根据进出交换机的呼叫流向及发起呼叫的起源，可以将呼叫分为：本局呼叫、出局呼叫、入局呼叫和转移呼叫，如图 1-2 所示。

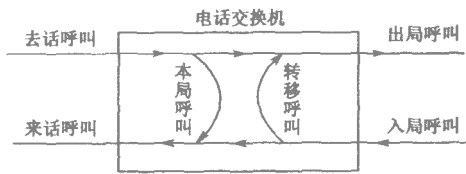


图 1-2 四种基本呼叫任务

将交换机理解为一个交换局，本局一个用户发起的呼叫，根据呼叫的流向可以分为出局呼叫或本局呼叫。主叫用户生成去话，被叫用户是本局中的另一个用户时，即本局呼叫；被叫用户不是本局的用户，交换机需要将呼叫接续到其他的交换机时，即形成出局呼叫。相应地，从其他交换机发来的来话，呼叫本局的一个用户时，生成入局呼叫；呼叫的不是本局的一个用户，由交换机又接续到其他的交换机，交换机只提供汇接中转的功能，则形成转移呼叫。除了汇接局一般只具备“转接呼叫”的功能外，每个局的电话交换机都具备这四种呼叫的处理能力。

至于长途和特种服务呼叫，可以看做是呼叫流向固定的出局呼叫。

2. 电话交换机的基本结构

电话交换机的基本结构由两大部分构成：话路系统和控制系统，如图 1-3 所示。

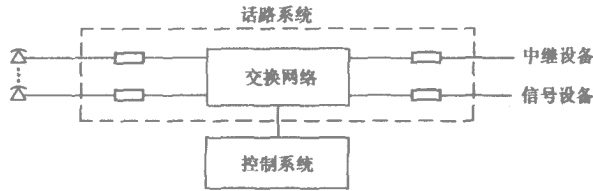


图 1-3 电话交换机基本结构

话路系统包括所有的提供电话接续任务的终端和交换设备。话路系统的核心部分是“交换网络”，从人工台的接线面板与塞绳电路，步进制的各级接线器，纵横制的用户级、选组级交换网络到数字交换机的数字交换网络，都是用来提供在各种交换方式下的通话通路的。话

路系统中还包括各种需要通过交换网络进行交换连接的终端，如用户电路、中继设备、信号设备等。

控制系统在需要的时候接通话路，提供语音信号传送的通路。电话交换机经历了从最初的人工进行控制接续到以数字电子计算机作为控制系统核心的过程，从基本的电话交换的控制功能来说，不论哪一种交换方式都具备，只是实现的手段和方法有所不同而已。

3. 程控交换机的基本概念

程控交换机的基本结构框图如图 1-4 所示。

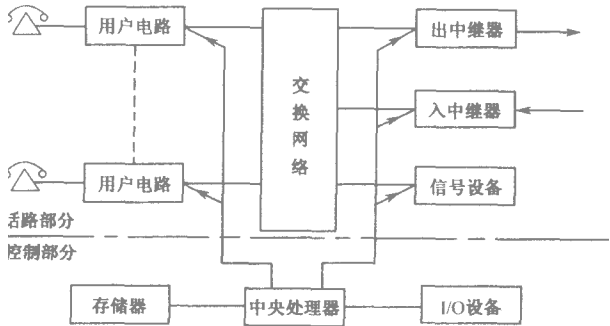


图 1-4 程控交换机的基本结构框图

控制部分包括中央处理器（CPU）、存储器和输入 / 输出设备。

话路部分由交换网络、出 / 入中继器、用户电路等组成。

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）。交换网络可以是模拟空分的，也可以是数字时分的，并由 CPU 发送控制命令驱动。

出中继器和入中继器是和中继线相连的接口电路（中继线用于互联交换机），传输交换机之间的各种通信信号，也可以监视局间通话话路的状态。

用户电路是每个用户独用的设备，包括用户状态的监视和与用户有关的功能。在电子交换机，尤其在数字交换机中，加强了用户电路的功能。

图 1-4 中所示的话路部分包括交换网络、中继器、用户电路以及信号设备，且都受控制部分的中央处理器控制。

所以说程控交换机实质上是数字电子计算机控制的电话交换机。

1.5 主要交换方式

交换方式主要有三种：电路交换、报文交换和分组交换。

1. 电路交换

电路交换是指在两个或多个终端之间建立单向或双向信息通路（如电话和用户电报）。这种交换方式是即时通信，整个交换过程不会在收、发之间引入可变的、能觉察的时延，公用电话网是电路交换的典型应用。

为了进行双向语音的交换，需要建立一条即时可用的通话路径，即在呼叫期间，提供相

应的路径或电路，因而此交换方式又称为“电路交换”。电路交换的方式是预先分配传输带宽，再利用控制信号建立接续路径，从而使信息不间断地流经网络。

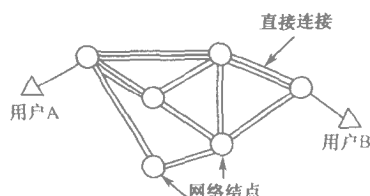


图 1-5 电路交换网络

电路交换中建立的通路，包括许多点到点的电路，在连接点由交换机连接，通路建立后，才可以传送语音或数据，直到挂机，才拆线释放电路。在电路交换系统中，每次呼叫所建立的通路是供通话双方专用的，如图 1-5 所示。

电路交换有以下几方面特点，首先它允许用户间连续地传送信息，用户需要以中等速率进行长时间通信时，这种交换方式比较适宜。其次，电路交换是交互工作方式，用户（或机器）间能够以要求的速率互相对话，如果一方询问，对方可以马上回答。

电路交换的缺点是用户必须在通信之前完成接续，而且在全部通信期间接续（由链路和交换机组成）必须处于可用状态。此外，在话务繁忙的情况下，电路交换不够有效。

一般电话的重要特点是双向语音信息的即时通信，由于语音的不连续，以及不可能同时说话而进行双向的传输，可以采用时分语音插空方法（TASI），在无声的间隔时间内，利用交换将其他路的语音插入到通路中去。利用这种技术能使传输容量提高 50%，但价格较贵，因而多用于长途传输设备。

时空语音插空方法是时分电路交换的一种形式，但它的抽样持续时间不受限制，时隙可以出现于任一通路位置上。这种方法属于“虚拟电路交换”的一种，只有在传送某路信息时才分给路径（或电路），其余时间路径用于传送其他信息。

2. 报文交换

非对话式的单向信息传输具有不同的特点，它可以在传送过程中引入时延或存储，存储时间可以从几分之一秒到几小时，这取决于传输设备的有效性。此时，交换设备中需要具有交换功能的存储器。

通常把在交换机中提供时延以达到交换目的的方法称为“报文交换方法”。在这种方法中，用户间信息的交换是通过发送一系列互相独立的消息而进行的，如图 1-6 所示。用户要传送的消息被作为一个整体由某结点转发到另一结点。这种消息在特定结点进行排队，逐个链路传送通过网络。网络中利用小型计算机对信息进行缓存，并向终点方向寻找连接到下个结点的路由。

报文交换过程的第一步是将信息传送到交换中心并存储，如果通向下一个交换中心的有关设备可以占用的话，则信息继续传送并存储到该中心。沿途的每个结点把信息存到磁盘中。如果所要选用的通路示忙，则信息需要在该结点排队、等待，并引起延时。这种存储、转发过程不断地进行，直到信息到达终点为止。

由于报文交换是为传送单向信息而设计的，因此不适于人或计算机间的实时对话，但中继线利用率高，即只在传送该信息期间占用通路，其他时间可做它用。而在电路交换中，当用户占用交换电路后，即使该通路不传数据，也不允许其他用户使用。

存储交换系统能够在高峰期间存储信息，等到线路空闲时再把信息转发出去，在信息高峰时有灵活的适应能力。这种交换系统不是按信息高峰时的参数进行设计的，因此系统的成

本较低。

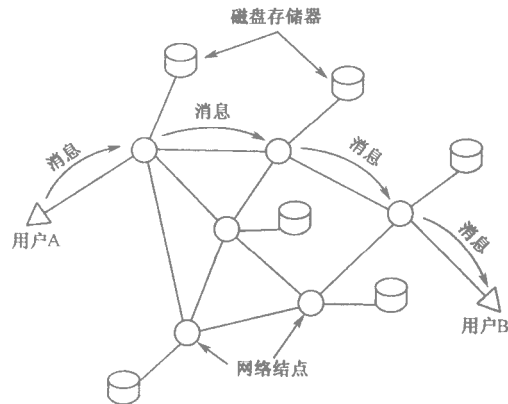


图 1-6 报文交换网络

报文交换的另一个优点在于不要求主叫用户和被叫用户同时工作。为了保证不同工作特性的终端互相通信，这种交换方式允许进行速率和码型的变换。

3. 分组交换

在用户话机或终端处存储数据信息，将传输信息限制成固定的长度与格式，并在前面加上地址码，就可以在结点上进行交换，这种交换方式就是分组交换。分组交换方式减少了结点的存储量，构成完整消息的各分组信息可以以分组为单位，独立地进行交换，而后通过不同路由传到其目的地。分组交换是报文交换的一种特殊形式，它包括组网与存储上的考虑，并应用了虚拟电路交换技术。

分组交换不是按信源到终端的整个路径分配带宽，而是逐段进行链路带宽的动态配置。信息不是在网络中连续传送，而是将信息分成许多有限长度的信息包，每个信息包中加入附加位作为地址和管理使用。信息以信息包为单位在网络中进行传送与交换，所以通常称为包交换或分组交换。各信息包分别进行处理，在任意给定瞬间各自寻找最佳可用路由传送出去，并在不同的宽带链路交接处，对每个信息包进行差错校验。在终点处，由另一分组交换机将拆开的各信息包重新装配成完整的消息，如图 1-7 所示。信息包在网络中的传送时间足够小，通常包延时约为 10~100ms。这意味着整个信息的延时在几秒以内。

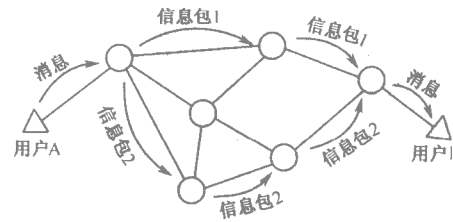


图 1-7 分组交换网络

分组交换的优点有二：一是多用户可同时共享传输设备，二是能自适应地为各个“信息包”选择路由。在分组交换系统中，借助快速用户扫描、交换，使多用户能够有效地共享网络资源；同时，采用缓冲存储器平滑话务流，使用户的速率与网络的速率协调起来。此外，可以重新分配资源，使网络具有克服暂时阻塞或链路/交换机故障的能力。

分组交换综合了电路交换与报文交换在速度和效率方面的优点，特别适合计算机系统之间的信息交换。

分组交换与报文交换的主要区别在于网络的工作速度，常用的报文交换系统注重的是用

户间信息应有低的传输错误率，并不要求用户间实时对话。对分组交换系统而言，用户借助交换信息包互相通信，与电路交换系统交换信息类似。

1.6 通信交换技术的发展

随着现代电信技术的发展，电话语音交换与数据信息交换的界限越来越模糊，交换设备互采所长、互补所需，程控交换设备和网络交换设备进一步融合，采用单一网络结构实现数字、语音、图像、音频和视频等信息的宽带高速传送与交换，实现电话通信网、高速数据网和有线电视网的“三网合一”是通信网络发展的趋势。

交换技术的发展方向主要有以下几个方面。

1. 大容量交换网络

ISDN 业务的开拓和发展、Internet 业务的不断加强、本地网和接入网替代 DDN、接入网永久连接带宽的提出，使得交换网络容量必须向大型化发展。

2. 按照模块化的网络形态设计基本结构组件

用户接入模块既可以支持地域上的远置性能，又可以作为标准的接入网设备单独使用。交换设备具有硬 / 软件模块的地域可分散性，同时由于采用模块的叠加方式而具有规模可缩放性。业务实现模块间的连接，既能支持物理上的紧耦合方式，也能支持地域上的松耦合方式。管理系统作为基本结构组件可以不受地域分布影响，直接控制或管理其他的结构组件。任何业务实现模块均具有独立和完备的网络元素特征（独立交换结点）。用户接入及与业务实现模块间的连接采用标准传输接口，不受地域和传输介质的束缚和限制。交换设备的内部信令方式更趋近于 OSI 形态，并成为系统基本结构组件之间的标准信令方式。

管理系统脱离任何宿主系统自成独立的网络体系。内置式光传输接口及信道动态管理技术的应用，使系统交换网络具有等效的地域可分散性，也就是用网络形态的交换网络取代传统的系统形态的交换单元。基本结构组件均带有信令功能，支持内部的统一信令方式。基本结构组件通过互联接口（标准的或专用的）构成更大规模的组件部件。基本结构组件的功能性划分原则与统一的运行软件无关（即硬件与软件相对独立）。

3. 大线束动态集线比

固定集线比方式或者靠人工配置方式已很难适应业务发展的需求，接入网的逐步推广使得交换平台无法再用传统的线群分割方式（用户、中继分群配置）。

4. 话务处理能力要求愈来愈高

现有移动交换系统发展模式仍旧依照大容量 / 大区制方式，以期达到实用化可接受的经济承受力，无线移动通信不可能单级组网，无线接入和交换将与有线系统综合，具有本地交换能力和有线网络的日趋成熟，有可能从根本上改变目前地面移动通信的体系架构。

以带有基站控制器的小容量移动交换平台为单位（5 000~15 000 用户），通过现有传输网络连接各小容量交换平台至一个移动交换汇接平台（20~40 万用户），将多个或多级汇接平台互联构成一个广域的移动交换网络，采用这种网状互联方式构成局部的大容量平台，充分满足容量和投资的平滑增长需求。

5. 智能网的发展最终将使交换与业务控制分离

智能网是交换机只提供基本接续功能，全部增值业务由 IN 智能网来完成。IN 管理系统一次性加载新业务的程序及数据即可在全国提供新业务，这样就脱离了具体的交换机机型的限制，只需对软件进行修改就可以了，而且维护方便，新业务引入快。

IN 网由以下四个平面构成。

(1) 业务平面

采用虚拟专用网，向用户提供业务。如：800 号业务、缩位编号、民意调查、大众呼叫和电视猜奖等。共提供了 38 种业务特征，每一种业务特征都有任选功能项目，可根据时间、地点任意选择。

(2) 全局功能平面

采用了软件重用的概念。在 38 种业务属性中，定义了 13 种独立于业务的构件，像硬件中的“与”、“或”、“非”门基本器件一样，经组合可得到任何一种新业务，为快速业务的生成创造了条件。

(3) 分步功能平面

由各功能实体之间的相互作用及信息流构成。

(4) 物理平面

由智能网应用规程实现。智能网是建立在电话交换数据网、分组交换数据网、数字数据网、B-ISDN 蜂窝移动通信、STM、ATM、SDH / SONET 等技术基础之上的。

6. 机网一体化

由基本结构组件构成的设备，通过传输介质（或系统）在地域上延展后就是一个局域网（也可以是一个本地网）。在使用、管理及成网（组网）意义上等效于传统意义的机（或点），而在实现意义上则是一个具有丰富的拓扑形式的区域性的网络，也可以称其为“逻辑上的机，现实中的网”。

网内结构之间的通信是基于内部信令，而不是传统的用机组网的 NNI 信令（如 No.1, No.7 等）。结构组件间的互联没有远近之分，只有传输介质的差异，结构组件的管理业务本身就是基于局域网的，不需要任何附加的设备或装置；实现了以拓扑结构保障的网络安全性思想。局域网内可以合理规划业务流向、流量，甚至专门的业务需求，但又避免了多级组网体制的信令网、管理网、同步网以及相关支撑网。网元管理不再是基于一个结点的意义，而是拓展到对整个局域网的管理，局域网内所有基本结构组件及它们的组合形态均运行于同一个软件版本，并随着版本的升级在网内（而不是在机内）增加业务、提供新功能。

使用机网一体化有利于实现网络优化。在多种机型组网环境中可以利用“逻辑机”的方式将同类型机在网上构成一个局域网，实现网上合并同类项。即：

以逻辑机为单位规划、实施信令网、同步网、管理网的建设。

以逻辑机为单位建设叠加网，提供新业务、相关增值业务及实现服务区交叉格局。

逻辑机间采用以 NNI 信令连接，本地网中的各个局域网按机型划分。

集中少数运营、维护管理人员在局域网的管理节点上，对整个局域网实施高效管理和运作。

采用机网一体化的概念有利于实现从窄带网到宽带网的过渡策略。在以逻辑机为单位组成的局域网内，可以很容易地提供宽带业务性能，因为局域网内不需要 NNI 信令。所带来的好处是：

宽带网建设不再只有一种模式——叠加模式，而是可采用发行逻辑机的局域网方式（如增加 ATM 功能单元等）并提供局部业务，然后用骨干结点连接各个改造后的局域网，实现窄带网到宽带网的平滑过渡。

作为最初形式，可以采用电路仿真技术，以 ATM 信元承载语音或数据业务。

进一步可利用 VP 或 VC 的半固定连接性能，将网内宽带用户终端连接到逻辑机的宽带网关 W-IWT，进入 ATM 交换机。逻辑机（或称局域网）也可以很方便地作为现有数据网（如 DDN、FR）的接入端，并提供相应的数据终端接入功能。

7. 接入网

接入网的概念于 1975 年提出，采用统一的 V5.x 接口。接入网本身不具备业务提供能力，只是提供了就近接入的方式。宽带接入网最终需宽带业务平台来支撑，而不是简单地通过永久性连接通道将有线电视带到千家万户。在目前技术水平下，V5.x 的接入网在经济上、性能上和运营上均不具备与交换平台自然延伸的接入设备相抗衡的能力。

（1）基于光纤的 CDMA 传输技术

在光纤通信方面，基于光纤的 CDMA 的传输将逐步取代以 SDH、PDH 为基础的传输系统，成为 ATM 的最好延伸方式，传输上的可变带宽和码分多址方式实现了真正的交换与传输一体化。

（2）高速数字环路技术的发展

高速数字环路（HDSL）技术的发展使得传统的 N-ISDN 的 U 接口性能相形见绌。用 HDSL 替代传统的编码器和解码器，更换现有的用户电路和增加新设计的终端，在无需增加网络和信令负担的情况下实现远超过 64kbps 的端到端连接。此种接口电路将语音和非语音业务的满足率提高了 75%，对网络层（含信令层）无特殊要求。

练 习 题

一、填空题

1. 电话通信的基本目标是_____，因此它必须具备_____、_____、_____三个基本要素。
2. ATM 进行数字信息传输的基本单位是_____，具有固定长度，由_____字节构成。
3. 一般地说电话交换机有四种基本呼叫任务。根据进出交换机的呼叫流向及发起呼叫的起源，可以将呼叫分为：_____、_____、_____和_____。
4. 程控交换机的控制部分是_____，它包括_____、_____和_____设备。话路部分由_____、_____、_____等组成。
5. 交换方式分_____、_____、_____。

二、简答题

1. 简述自动电话交换机的分类。简单介绍程控交换机的特点。
2. 简述分组交换的原理。

3. 程控交换机的基本结构是怎样的？简述其各主要部件的作用与功能。
4. 自动电话交换机有哪些分类方法？
5. 空分交换系统可以对数字信号进行交换吗？为什么？
6. 电路交换和分组交换的定义有何区别，它们主要应用于什么场合？

第2章 语音编码与数字传输

本章概要：语音信号的数字化是进行数字化交换和传输的基础。数字化语音信号的存储和传送，涉及到多个领域，PCM 传输是数字化语音信号实时传输的最基本方式。通过本章的学习，可了解不同编码技术的基本原理及使用场合，同时对 PCM 帧结构、信息的多路时分复用技术和传输中的同步技术也有较为全面的了解。具体内容包括：

- 模拟信号和数字信号
- 语音的数字化技术
- PCM 数字传输

2.1 模拟信号和数字信号

信号数据可用于表示任何信息，如符号、文字、语音、图像等，从表现形式上可归结为两类：模拟信号和数字信号。模拟信号与数字信号的区别可根据幅度取值是否离散来确定。

模拟信号指幅度的取值是连续的（幅值可由无限个数值表示）。时间上连续的模拟信号不仅在幅度取值上是连续的，而且在时间上也是连续的，如强弱连续变化的语音信号和亮度连续变化的图像（电视、传真）信号等，如图 2-1（a）所示。时间上离散的模拟信号是一种抽样信号，如图 2-1（b）所示，它是对图 2-1（a）的模拟信号每隔时间 T 抽样一次所得到的信号，虽然其波形在时间上是不连续的，但其幅度取值是连续的，所以仍是模拟信号，称之为脉冲幅度调制（PAM，简称脉幅调制）信号。

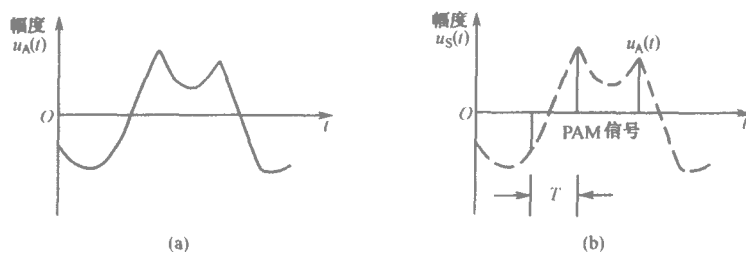


图 2-1 模拟信号

数字信号指幅度的取值是离散的，幅值表示被限制在有限个数值之内。二进制码就是一种数字信号。二进制码受噪声的影响小，易于用数字电路进行处理，所以得到了广泛的应用。

1. 模拟通信

模拟通信的优点是直观且容易实现，但存在两个主要缺点。

(1) 保密性差

模拟通信，尤其是微波通信和有线明线通信，很容易被窃听。只要收到模拟信号，就容易得到通信内容。

(2) 抗干扰能力弱

电信号在沿线路的传输过程中会受到外界的和通信系统内部的各种噪声干扰，噪声和信号混合后难以分开，从而使得通信质量下降。线路越长，噪声的积累也就越多。

2. 数字通信

(1) 数字化传输与交换的优越性

加强了通信的保密性。语音信号经 A/D 变换后，可以先进行加密处理，再进行传输，在接收端解密后再经 D/A 变换还原成模拟信号。

数字加密处理可简单描述如下，Y1 表示语音变成的数字信号 $Y1=1011101100001$ ，采用 8 位密码 $C=10001101$ 。在送到传输线路之前，将密码“加”到语音码中去， $X=Y1+C$ （密码 C 连续重复）则传输的数字信号为

$$\begin{array}{r} X=Y1+C=1011101100001 \quad Y1 \\ +1000110110001 \quad C \\ \hline \end{array}$$

$$0011011010000 \quad X$$

显然 $X \neq Y1$ ，即便有人窃听到 X 码，也不能马上得到 Y1 码。在接收端，只要再将相同密码 C 与数码 X 相加，就能还原成原来的语音数码 Y1，即

$$\begin{array}{r} Y1=X+C=0011011010000 \quad X \\ +1000110110001 \quad C \\ \hline \end{array}$$

$$1011101100001 \quad Y1$$

可见，语音数字化为加密处理提供了十分有利的条件，且密码的位数越多，破译密码就越困难。

提高了抗干扰能力。数字信号在传输过程中会混入杂音，可以利用电子电路构成的门限电压（称为阈值）去衡量输入的信号电压，只有达到某一电压幅度，电路才会有输出值，并自动生成一整齐的脉冲（称为整形或再生）。较小杂音电压到达时，由于它低于阈值而被过滤掉，不会引起电路动作。因此再生的信号与原信号完全相同，除非干扰信号大于原信号才会产生误码。为了防止误码，在电路中设置了检验错误和纠正错误的方法，即在出现误码时，可以利用后向信号使对方重发。因而数字传输适用于较远距离的传输，也能适用于性能较差的线路。

可构建综合数字通信网。采用时分交换后，传输和交换统一起来，可以形成一个综合数字通信网。

(2) 数字化通信的缺点

占用频带较宽。因为线路传输的是脉冲信号，传送一路数字化语音信息需占 20 64kHz 的带宽，而一个模拟话路只占用 4kHz 带宽，即一路 PCM 信号占了几个模拟话路。对某一话路而言，它的利用率降低了，或者说它对线路的要求提高了。

技术要求复杂，尤其是同步技术要求精度很高。接收方要能正确地理解发送方的意

思，就必须正确地把每个码元区分开来，并且找到每个信息组的开始，这就需要收发双方严格实现同步，如果组成一个数字网的话，同步问题的解决将更加困难。

进行模 / 数转换时会带来量化误差。随着大规模集成电路的使用以及光纤等宽频带传输介质的普及，对信息的存储和传输，越来越多使用的是数字信号的方式，因此必须对模拟信号进行模 / 数转换，在转换中不可避免地会产生量化误差。

2.2 语音的数字化技术

音频信号可分成电话质量的语音信号、调幅广播质量的音频信号和高保真立体声信号。语音信号的频率范围是 300~3400Hz。随着带宽的增加，信号的自然度将逐步得到改善，高保真音频信号的频率范围是 20~20kHz。

音频信号的数字化编码基本采用的都是压缩编码技术，可分为波形编码、信源编码和同时利用这两种技术的混合编码。

一般从四个方面来衡量语音编码技术，分别是比特速率、时延、复杂性和质量。比特速率的范围可以是 2.4~64kbps，从保密电话通信的 PCM 编码到带宽 7kHz 的语音编码器。

除压缩编码技术外，人们还应用许多其他的技术来减少语音所占带宽和优化通信网络的资源。ATM 和帧中继网中的静音抑制技术可将静音数据消除，但并不影响其他信息数据的传送。语音活动检测 (SAD) 技术可以用来动态地跟踪噪声电平，并为这个噪声电平设置一个相应的语音检测阈值，使得语音 / 静音检测器可以动态匹配用户的背景噪声环境，并将静音抑制的可听度降到最小。网络中的背景噪声不再穿过网络，背景声音在网络的任一端可以被集成到信道中，以确保话路两端的语音质量和自然声音的连接。

1. 语音数字化技术

语音数字化技术包括两大类：波形编码与信源编码。波形与信源编码的基本过程如图 2-2 所示。

波形编码的逼真度最高，但需要的比特率也最高，信源编码所需要的比特率最低，但牺牲了语音质量和业务的灵活性。

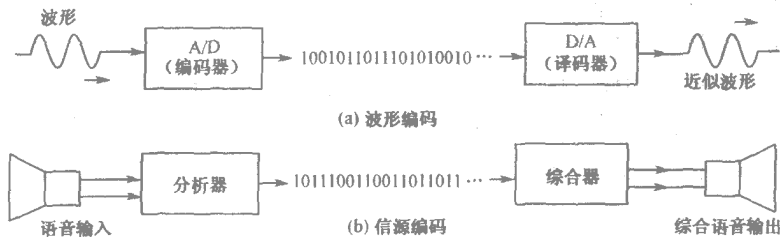


图 2-2 波形与信源编码过程

(1) 波形编码

波形编码是在尽可能遵循原波形的前提下，将模拟波形进行数字化编码：利用抽样和量化过程来表示音频信号的波形，使编码后的音频信号与原始信号的波形尽可能匹配。一般的接收者，不会感觉出这种数字化过程的存在。波形编码的特点是在较高码率的条件下可以获得高质量的音频信号，适合于高质量的音频信号，也适合于高保真语音和音乐信号。

波形编码的目标是让解码器恢复出的模拟信号在波形上尽量与编码前的原始波形相一致，即失真要最小。波形编码的方法简单，数码率较高，在 64~32kbps 之间音质优良，当数码率低于 32kbps 时音质显著降低，16kbps 时音质很差。

波形编码技术包括差分 PCM、增量调制、变换编码、子带编码及瞬时压扩等。公共的电话网通常采用脉冲编码调制（PCM）、差分 PCM（DPCM）和增量调制（DM）这三种技术。

（2）信源编码

信源编码与信号在信源中产生的机理有密切的关系，声码器是信源编码器中的一类。信源编码仅对语音和收听过程中能听到的语音部分进行处理，把音频信号表示成某种模型的输出，利用特征提取的方法抽取必要的模型参数和激励信号的信息，并对这些信息编码，用数字形式将这些参数传送到接收端，在接收端合成原始信号。

根据人的发声机理，声码器在编码端每隔一段时间（通常为 20ms）分析一次语音，传送分析得到的有 / 无声和滤波器参数。在解码端根据接收的参数再合成声音。声码器编码后的数码率可以做得很低，如 1.2kbps 及 2.4kbps。信源编码的压缩率很大，但保真度不高，合成语音质量较差，难于辨别说话人。另外，其复杂度高，计算量大。

声码器技术主要用于帧中继和 IP 上的分组语音。

（3）混合编码

混合编码是将波形编码和信源编码结合起来，数码率约在 4~16kbps 之间，音质比较好，个别算法所取得的音质可与波形编码相当，复杂程度介于波形编码器和声码器之间。

2. 脉冲幅度调制（PAM）技术

脉冲幅度调制（PAM）是指使用离散抽样时间以模拟抽样幅度从不断变化的模拟信号中提取信息，如图 2-3 所示。由抽样定理可知，模拟信号的最高频率为 $f_{\max}$ ，并将抽样脉冲的频率 f 设置为 $2 \times f_{\max}$ 时，原始波形就能够从抽样序列中完全恢复。使用低通滤波器在抽样值之间插入波形值或进行平滑。抽样过程相当于用恒定幅度脉冲序列进行幅度调制，因而这种技术通常被称为脉冲幅度调制（PAM）。

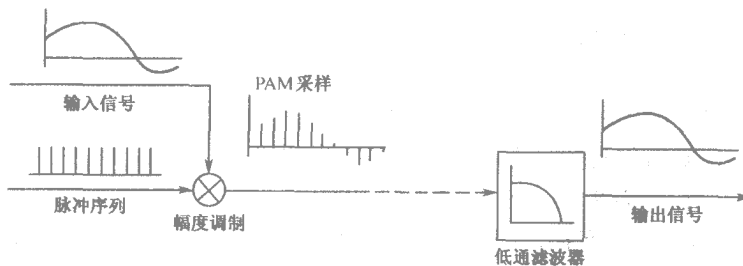


图 2-3 脉冲幅度调制

如果 PAM 系统的输入波形带宽的两倍高于抽样频率，则原始信号恢复时必然有失真。该输入失真这是由于集中在抽样频率周围的频率频谱发生重叠，且不能通过滤波将原始信号隔离出来而产生的。由于在期望频谱的高端复制了输入频谱重叠部分而引起了失真，这种类型的抽样损伤常常被称为重叠失真。

本质上，重叠失真在所期望的频带上产生的频率成分在原始波形中并不存在，因此也称

为折叠噪声，折叠噪声可能存在于任何抽样数据系统中。

一个完整的 PAM 系统，如图 2-4 所示，在抽样前必须包括带宽限制滤波器，以保证没有虚假信号或与信号源相关的信号在所期望的频带上发生折叠。输入滤波器也可消除电源线产生的交流信号。

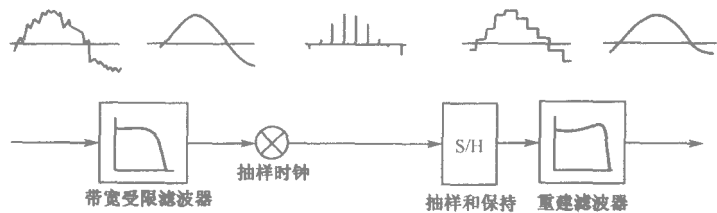


图 2-4 脉冲幅度调制系统

3. 脉冲编码调制（PCM）技术

在脉冲编码通信中，模拟语音信号经过抽样、量化和编码三个过程，变为 PCM 数字信号在通信信道上传送，到接收端后经过解码、重建两个过程恢复为模拟语音信号。

由于人类语音的能量主要集中在 $100\text{Hz} \sim 5\text{kHz}$ 频率范围内，出于对设备成本与语音质量的折中考虑，就满足可懂度要求而言，通常把语音能量限在 $300 \sim 3400\text{Hz}$ 范围内，其中主要能量集中在 2200Hz 以下，再高的频率用于识别讲话人。语音信号幅度的起伏相当大，主要集中在间隔为 1s （或几秒），平均持续约 1s 的一些时段上。在语音信号数字化传输中，根据抽样定理，用 8kHz 的抽样频率，在接收端就能恢复原来的信号。即每隔 $1/8000\text{s}$ （ $125\mu\text{s}$ ）抽样一次。

脉冲编码调制（PCM）是对 PAM 的扩展，PAM 的每个模拟抽样值被量化为代表某个数字编码的离散值。因此，PAM 系统通过在信源端加上模/数转换器（A/D），在目的端加上数/模转换器（D/A），就可转化成 PCM 系统。

把信号用有限个数字来表示的过程称为量化。典型的量化过程是量化间隔值与二进制代码以一对一的形式相关，所有落入量化间隔内的抽样值，都以位于量化间隔中心的单个离散值表示。在这种方式中，量化过程对信号抽样值引入了一定程度的误差或失真，这种误差，就是量化噪声。量化噪声的大小完全取决于所表示的信号与准确值之间的差别。

把样值信号转变为数字码组的过程叫做编码，又称为模/数变换（A/D 变换）。采用量化等级为 $2^8=256$ ，则所得到的二进制码有 8 位，即 PCM 码。由于每秒传送 8000 次，每次 8 位，因而传送的比特率为 $8 \times 8000=64\text{kbps}$ 。

解（译）码是编码的反变换，即在接收端将收到的 PCM 码组还原为 PAM 信号。这个过程又称为数/模变换（D/A 变换）。

在 PCM 译码中，首先是将输入串行的 PCM 码变成并行的 PCM 码，然后变成 PAM 码，最后经过低通滤波器平滑而恢复为原来的信号。PCM 通信的简单模型，如图 2-5 所示。

由量化过程可见，量化误差是不可避免的，可以通过缩小量化间隔来最小化量化误差。但由此带来的问题是，增加了语音编码的位数。

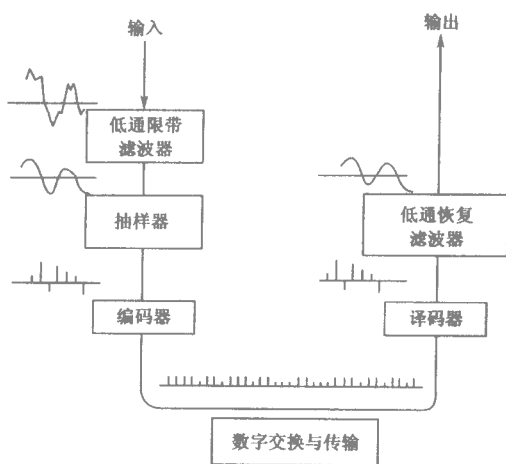


图 2-5 PCM 通信的简单模型

除了量化噪声外，还有空闲的信道噪声，即在语音停顿时，传输信道...上产生的噪声。图 2-6 示出了建立位于零点两端的量化间隔来最小化空闲信道噪声的一种办法。在这种情况下，所有位于中心量化间隔的抽样值将被译为零码输出。

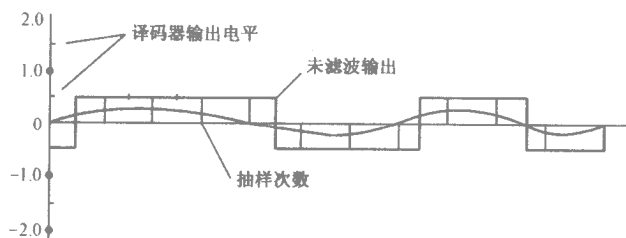


图 2-6 消除空闲信道噪声

4. 差分 PCM

PCM 是对各个抽样值独立地进行编码。在带宽受限的情况下，两相邻抽样值之间平均幅度的变化相对于系统的最大幅度来说较小。因此，当两相邻抽样值的幅度相等或相近时，传送这两个绝对幅度是多余的。比较有效的方法是传送两抽样值的增量变化，而不传送绝对值。差分 PCM 就是其中一种重要的编码方法，它减少了传送的多余度，在与 PCM 同样音质的情况下，需要传送的比特数少于 PCM 的比特数。

实际上，差分 PCM 是预测编码，根据离散信号之间存在着一定关联性的特点，利用前面的一个或多个信号对下一个信号进行预测，然后对实际值和预测值的差进行编码。如果预测比较准确，那么误差信号就会很小。

如果能够准确地预测作为时间函数的数据源的下一个输出将是什么，或者数据源可以准确地被一个数学模型表示，由于输出数据总是和模型的输出保持一致，那么就可以准确地预测数据。然而，实际信号源不可能满足这个条件。因此只能用一个预测器，预测下一个样值，允许它有某些误差。