

# 数字电视原理与实现

转载时间：2004年02月29日

## 第一章 概述

### 1 电视系统的全面数字化趋势及其影响

在通信领域内的数字化已为人们所熟悉，例如程控电话、计算机通信以及移动通信都实现了数字化。

近年来，电视领域也发生了一系列的变化，在电视节目的制作设备方面已有很大一部分实现了数字处理；在电视节目的储存设备方面也出现了许多数字设备，包括人们最熟悉的VCD等；在节目的传输方面，我们从卫星上已可以接收到多套数字压缩编码的节目。

电视系统的全面数字化正以超出人们预料的速度向前发展，这就要求人们不断更新知识，以便跟上技术发展的步伐。

电视系统的全面数字化将会引起一系列技术革新：

(1) 将最终形成电视、电话和计算机三网合一的综合数字业务网。原本是完全不同的媒体的电视广播、电话和计算机数据通信，在全部数字化后，都使用同一符号“0”和“1”，只不过它们的速率不同而已，人们可以把信号组合在一起，通过一个双向宽带网送到每个家庭。

(2) 全面数字的第二个特点是电视制式将实现全球统一，不再会有NTSC、PAL和Secam等不同的电视制式，而将统一在ITU-R601数字标准之中。因此更利于节目的交换和信息的交流。在数字系统中标准不仅仅对设备外围的接口，而且对数字信号处理的整个流程和细节都作了详细规定。MPEG标准将对数字电视的各种应用和系统层作出详细规定。DVB则对各种传输媒介，如卫星、电缆和地面传输中的各种处理环节进行了规定。与通信和各种计算机设备及系统相联的标准，目前有DAVIS、MCNS和IEEE P802.14三个标准，不久将会统一。

(3) 全面数字化的第三个影响是数字电视业务的可分级性带来的各种业务的统一性，不同质量的信源只是占用的比特率不同，而具有相同的格式，如家用质量的电视比特率在1.5Mbps，专业级质量在4~5Mbps，广播级质量在8~9Mbps，但都打成MPEG-2传送包，可以在同一个设备中完成各种不同级别的图象业务。

### 2 多媒体通信概述

21世纪人类将步入信息时代，美国政府于1993年11月提出了旨在建立全国综合信息业务网的“国家信息基础设施(NII)”计划，根据NII计划的目的、特点与建设思路，人们习惯称之为“信息高速公路”计划。在美国之后，日本、英国、德国和新加坡等国家相应提出了自己的信息基础建设计划。我国也提出了“中国信息基础设施”(CII)计划。可见21世纪将会以信息技术为标志。

今后的有线电视宽带综合业务网，除传送图象信号外，还包括声音、文字、数据等多种信号，除了电视信号的分配外还包括了众多交互式通信的内容，故在此有必要对今后的通信系统作一简要介绍，即多媒体通信。

多媒体通信是通信技术和多媒体技术结合的产物。它并蓄兼收了计算机的交互性、多媒体的复合性、通信的分布性以及电视的真实性等优点。

#### 2.1 什么是多媒体

众所周知，信息是所有消息的总称，而人类传送信息，是通过各种信号来实现的。信号是传送信息的载体。例如，通过声音和语音信号刺激人的听觉器官来得到各种信息，再进一步，通过视频图象信号，尤其是动态视频图象信号，由人的视觉来得到更生动更真实的信息。当然，仅有图象是不够的，还必须配合以声音、文字等多种形式的信号。通过听觉、视觉和其他感觉，使人类获取信息的效果更好。人类通过感官，用多种形式的信号交换信息，这便是我们所要讨论的多媒体技术。

那么，什么是多媒体呢？我们先讨论媒体(Medium)。媒体也称为媒质或媒介，它是表示和传播信息的载体。例如上面所列举的图形、图象、动画、语言、文字、声音等都可称为媒体。国际电报电话咨询委员会(CCITT)对媒体进行了如下的分类：

(1)感觉媒体(Preception Medium) 直接作用于人的感官，产生感觉(视、听、嗅、味、触觉)的媒体称为感觉媒体。例如语言、音乐、音响、图形、动画、数据、文字、文件等都是感觉媒体，也就是本章中讨论的媒体。

(2)表示媒体(Presentation Medium) 为了对感觉媒体进行有效的传输，以便于进行加工和处理，而人为地构造出的一种媒体称为表示媒体。例如语言编码，静止和活动图象编码以及文本编码等都称为表示媒体。

(3)显示媒体(Display Medium) 显示媒体是显示感觉媒体的设备。显示媒体又分为两类，一类是输入显示媒体，如话筒，摄像机、光笔以及键盘等，另一种为输出显示媒体，如扬声器、显示器以及打印机等。

(4)传输媒体(Transmission Medium) 传输媒体是指传输信号的物理载体，如同轴电缆、光纤、双绞线以及电磁波等都是传输媒体。

(5)存储媒体(Storage Medium) 用于存储表示媒体，也即存放感觉媒体数字化后的代码的媒体称为存储媒体。例如磁盘、光盘、磁带、纸张等。

通常所指的多媒体就是上述感觉媒体的组合，也就是声音、图象、图形、动画、文字、数据、文件等各种媒体的组合。多媒体技术就是对多种媒体上的信息和多种存储媒体上的信息进行处理和加工的技术。而多媒体系统是利用计算机网和数字通信网技术对多媒体信息进行处理和控制的系统。

## 2.2 多媒体技术的主要特征

多媒体技术是利用计算机技术把声、文、图象等多媒体集合成一体的技术，它具有如下的主要特征：

(1)交互性 交互性是多媒体技术的关键特征。它使用户可以更有效地控制和使用信息，增加对信息的注意和理解。众所周知，一般的电视机是声象一体化的、把多种媒体集成在一起的设备。但它不具备交互性，因为用户只能使用信息，而不能自由地控制和处理信息。例如在一般的电视机中，不能将用户介入进去，使银幕上的图象根据用户需要配上不同的语言解说或增加文字说明，或者对图象进行缩放、冻结等加工处理，看到想看的电视节目等。当引入多媒体技术后，借助交互性，用户可以获得更多的信息。例如，在多媒体通信系统中，收发两端可以相互控制对方，发送方可按照广播方式发送多媒体信息，而另一方面又可以按照接收方面的要求向收端发送所需要的多媒体信息，接收方可随时要求发送方传送所需的某种形式的多媒体信息。在多媒体远程计算机辅助教学系统中，学习者可以人为地改变教学过程，研究感兴趣的问题，从而得到新的体会，激发学习者的主动性、自觉性和积极性。利用多媒体的交互性，激发学生的想象力，可以获得独特的效果。再如在多媒体远程信息检索系统中，初级交互性可提供给用户找出想读的书籍，快速跳过不感兴趣的部分，从数据库中检索声音、图象或文字材料等。中级交互性则可使用户介入到信息的提取和处理过程中，如对关心的内容进行编排、插入文字说明及解说等。当采用虚拟或灵境技术时，多媒体系统可提供高级的交互性。

(2)复合性 信息媒体的复合性是相对于计算机而言，也可称为媒体的多样化或多维化，把计算机所能处理的信息媒体的种类或范围扩大，不局限于原来的数据、文本或单一的语音、图象。众所周知，人类具有五大感觉，即视、听、嗅、

味与触觉。前三种感觉占了总信息量的95%以上，而计算机远远没有达到人类处理复合信息媒体的水平。计算机一般只能按照单一方式来加工处理信息，对人类接收的信息经过变换之后才能使用。而多媒体技术就是要把计算机处理的信息多样化或多维化。信息的复合化或多样化不仅是指输入信息，这称为信息的获取(Capture)，而且还指信息的输出，这称为表现(Presentation)。输入和输出并不一定相同，若输入与输出相同，就称为记录或重放。如果对输入进行加工、组合与变换，则称为创作(Authoring)，可以更好地表现信息，丰富其表现力，使用户更准确更生动地接收信息。这种形式过去在影视制作过程中大量采用，在多媒体技术中也采用这种方法。

(3)集成性 多媒体的集成性包括两方面，一是多媒体信息媒体的集成，另一是处理这些媒体的设备和系统的集成。在多媒体系统中，各种信息媒体不是象过去那样，采用单一方式进行采集与处理，而由多通道同时统一采集、存储与加工处理，更加强调各种媒体之间的协同关系及利用它所包含的大量信息。此外，多媒体系统应该包括能处理多媒体信息的高速及并行的CPU，多通道的输入/输出接口及外设，宽带通信网络接口及大容量的存储器，将这些硬件设备集成为统一的系统。在软件方面，则应有多媒体操作系统，满足多媒体信息管理的软件系统，高效的多媒体应用软件和创作工作等。这些多媒体系统的硬件和软件在网络的支持下，集成为处理各种复合信息媒体的信息系统。

(4)实时性 由于多媒体系统需要处理各种复合的信息媒体，决定了多媒体技术必然要支持实时处理。接收到的各种信息媒体在时间上必须是同步的，其中语音和活动的视频图象必须严格同步，因此要求实时性，甚至是强实时(Hard Real Time)。例如电视会议系统的声音和图象不允许存在停顿，必须严格同步，包括“唇音同步”，否则传输的声音和图象就失去意义。

### 2.3 多媒体发展的现状

如果说，80年代是多媒体的启蒙阶段，那么90年代是多媒体进入初期应用和标准化阶段。多媒体个人计算机(MPC—Multimedia Personal Computer)是多媒体技术发展的必然结果。MPC一般具有必需的CD-ROM、图文显示、高质量数字音响及管理多媒体的窗口软件(如Windows Version3.1)。

90年代以来，多媒体应用迅速发展，遍及教育、商业、出版及娱乐等领域。1993年，MPC机在美国引起巨大兴趣，各种多媒体产品不断出现，使人目不暇接，多媒体技术已进入突飞猛进的时代。

目前，多媒体产品需要尽快标准化。众所周知，多媒体技术是一项综合技术，多媒体产品统一标准的制定将推动相关工业的大幅度增产，产品成本与价格大幅度下降，并大大改善多媒体产品的兼容性和通用性，反过来又促进应用迅速发展。

1990年10月，在微软公司多媒体开发工作者会议上提出了多媒体微机新标准，即MPC标准1。1993年，多媒体微机市场委员会发布了MPC标准2。表1—1列出了MPC标准1和MPC标准2有关技术的最低要求。

表1—1 MPC标准1和MPC标准2的最低要求

技术项目	MPC标准1	MPC标准2
RAM	2MB	4MB
处理器	16MHz, 386SX	25MHz, 486SX
音频	8位数字音频, 8个音符合成器乐器数字接口(MIDI)再现	16位数字音频, 8个音符合成器MIDI再现
视频	640×480, 256色	在40%CPU频带的情况下每秒传输1.2M像素

视频显示	640×480, 16色	640×480, 65536色
CD-ROM驱动器	150kB/s持续传送速率, 平均最快查询时间为1s	300kB/s持续传输速率, 平均最快查询时间为400ms, CD-ROMXA能进行多种对话

如果说, 20世纪90年代是多媒体技术突飞猛进的10年, 那么, 21世纪必将是多媒体技术进入千家万户的百年。

### 2.4 多媒体技术基础

多媒体技术是通信、计算机和大众传媒等各种技术联合发展的必然结果。美国麻省理工学院 (MIT) 媒体实验室(Media Lab) 创始人Nichlas Negroponte教授曾经指出, 在1978年时, 广播、影视和通信工业、印刷出版业、计算机工作几乎是各自独立发展的三个领域。到2000年左右, 预计这三个工业领域将有90%以上的部分重迭在一起。事实确实如此, 目前这三个领域相互融合, 相互渗透, 它们将集成成一个多媒体信息系统。图1-1表示了这一发展过程。

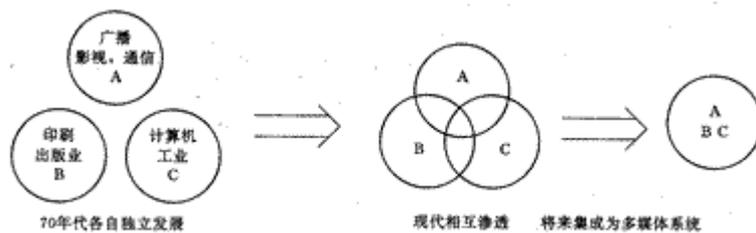


图 1-1 信息产业的发展进程

对于上述的发展进程还可作进一步的解释, 在大众传媒方面, 先后发展了广播、影视、录象、有线电视、交互式光盘系统CD-I和高清晰度电视(HDTV), 印刷业也开始了电子化数字化的过程。与此同时, 计算机中的信息处理由最初二进制的0, 1表示, 后来产生了ASCII码的字符代码, 而后出现了中文标准代码, 计算机开始处理图象、语音、直到近年来处理影象视频, 开发并推出多媒体个人计算机(MPC)等。与大众传媒及计算机的发展相适应, 通信技术从邮政、电报电话到计算机通信、电传, 一直到综合业务数字网(ISDN)及宽带综合业务数字网(BISDN)通信等, 扩大了信息处理的范围和质量。通信、计算机和大众传输业相互促进, 最终结合成多媒体信息系统, 如图1-2图所示。

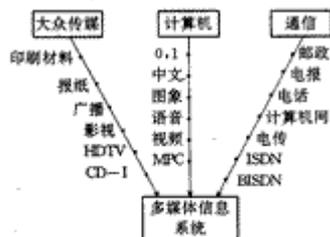


图 1-2 多媒体信息系统发展示意图

图1-2 多媒体信息系统发展示意图 多媒体技术实质上是借助计算机以接近自然的方式来处理和交换信息。与真实的自然方式不同之处在于多媒体技术采用数字方式。数字化的多媒体系统将使其处理更加灵活, 交互能力提高到新水平。计算机、通信和大众传媒的下述技术成果为媒体技术提供了坚实的基础。

- (1) 大容量存储设备 包括只读存储光盘(CD-ROM), 一次写多次读光盘

(WORM)，每片光盘的存储量可达650MB，可存储图形、动画、音频和活动影像等多媒体信息。

(2)数据压缩技术 已推出联合图象专家组(FPEG)和动态图象专家(MPEG)以及可视电话编码 特别组(H. 261)制定的多媒体数据压缩标准，为多媒体信息的存储和传送提供必要的基础。经数据压缩，已可以做到在一张CD-ROM盘上存储可播放70min的电视图象信息。

(3)高速处理器 英特尔(Intel)公司继推出80486、80586微处理器后，于1996年又推出80686，计划于2000年，将推出80786微处理器。集成5000~10000万个晶体管，单机运算速度达2亿条指令/s，主频250MHz，可实现语音分析与识别，活动视频和图象识别等功能。

(4)高速通信网 高速光纤网技术已经采用，其速率可达到100Mbps，异步转移模式(ATM)等新技术也在开发中，通信网传输带宽的扩大为金媒体系统的建立创造了条件。

(5)人机交互方法及设备的改进 例如，采用触摸屏系统、用户可在触摸屏上按要求触摸，便可实现与系统的交互。此外，并行处理、分布式处理技术、实时操作系统、面向对象的编程以及信息存储与检索技术的发展都为多媒体技术的发展提供必要的条件。

## 2.5 多媒体通信网络

在介绍多媒体通信网络时，先讨论多媒体信息的特点。

### 2.5.1 多媒体信息的特点

(1)类型多种 多媒体信息的类型包括多种形式，同一种信息类型在速率、时延以及误码等方面有不同的要求。因而，多媒体通信系统必须采用多种形式的编码器，多种传输媒体接口及多种显示方式，并能和多种存储媒体进行信息交换。

(2)码率可变 多种传输信息要求多种传输码率。例如，低速数据的码率仅每秒几百比特，而活动图象的传输码率高达每秒几十兆比特，由此可见，多媒体通信码率必须可变。各种信息媒体所需的传输码率见表1-2。

表1-2 各种信息媒体所需的传输码率

媒 体	传输码率	压缩后码率	突发性峰值/平均峰值
数据、文本、静止图象	155bps~12Gbps	<1.2Gbps	3~1000
语音、音频	64kbps~1536Mbps	16~384kbps	1~3
视频、动态图象	3~166Mbps	56kbps~35Mbps	1~10
HDTV	1Gbps	20Mbps	—

(3)时延可变 压缩后的语音信号时延较小，而压缩后的图象信号时延较大，由此产生时延 可变导致多媒体通信中不同类型媒体间的同步问题。

(4)连续性和突发性 多媒体通信系统在传输数据信息时是突发的、离散的、非实时的，而活动图象则是实时的、连续的、突发的，数据率高，语音信号数据率低，非突发的，实时的。

(5)数据量大 多媒体通信系统传输活动图象数据量大，一张650MB的CD-ROM盘片仅能存储74 min的经MPEG-1标准压缩后的数字录象信号。经MPEG-2标准压缩后的一部故事片(片长2h左右)在平均码率3Mbps时，需要约3GB的存储量，当传送未经压缩的HDTV信号时，传输速率高达1 Gbps。由此可见，多媒体通信系统要求存储量大的数据库和高传输速率的通信网络。

### 2.5.2 多媒体通信网络

具有代表性的现有通信网络包括：

- 公众电话交换网 (PSTN)
- 分组交换远程网 (Packet Switch)
- 以太网 (Ethernet)
- 光纤分布式数据接口 (FDDI)
- 综合业务数字网 (ISDN)
- 宽带综合业务数字网 (B-ISDN)
- 异步转移模式 (ATM) 和同步数字序列 (SDH)。

以上众多的信息传递方式和网络在多媒体通信网络内将合为一体，在以后的章节中将分别做进一步介绍。

## 2.6 多媒体通信终端

多媒体通信终端具有集成性、交互性、同步性和实时性等特点，一般由三部分构成：

(1) 交互式检索和解码输出 交互式检索包括输入方法、菜单选取等输入方式。多媒体信息经过解码、A/D变换送出人们需要的表示信息。

(2) 同步 通过这一部分完成各种媒体同步的功能，用户可以得到一个完整的声、文、图一体化的信息，同步是媒体通信终端中的核心部分。

(3) 编辑和执行 编辑功能指剪辑、编辑和创作，执行部分则由网络和各种接口组成，多媒体终端要用到接口 (I) 协议，同步 (B) 协议以及应用 (A) 协议。多媒体通信终端的核心部分是Modem主机，它可以是一台PC机或工作站，具有处理、存储、控制和复用功能。此外，包括必要的外设，例如多媒体信息输入、输出与显示单元，有时还需要各种专门的处理/控制的海量存储单元。多媒体通信终端将电话、电视、传真和通信的功能合为一体，其框图见图1-3。

国际电信联盟的标准部门ITU-T成立了视听多媒体业务联合协调组 (JCG/AVMMS)，已提出了在公用电信网上视听多媒体业务的标准框架草案。这一草案包括多媒体业务的定义、系统和终端、基础结构以及呼叫控制、一致性和互操作测试等。H. 320终端已用来提供会议电视系统的音频和视频压缩信号，它是多媒体通信的一种终端。

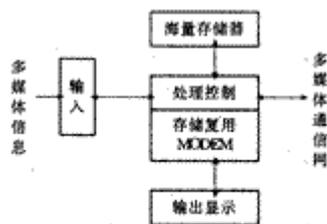


图 1-3 多媒体通信终端

CCITT (SGV III /09) ISO-IEC/JTC II SC29/WG12的专家组 (MHEG—Multimedia and Hypermedia information Coding Expert Group) 正着手制定多媒体通信的标准。

## 3 有线电视宽带综合服务网

### 3.1 有线电视宽带综合服务网的特点

目前世界上的有线电视宽带综合服务网，其特征为多样性和兼容性，具体表现为：

(1) 模拟信号和数字信号并存。目前我们的电视信号仍以模拟电视信号为主，电视机则是PAL -D制模拟电视信号接收机，全国约有近3亿台电视机，不可能设想一夜之间实现全数字化。模拟信号存在的时间即模拟信号到数字信号的过渡时间是一个比较长的时期。

数字电视信号已经起步，首先是在卫星转播电视信号上采用了数字压缩编码信号的传输，可以相信，在不久的将来，将在有线电视网络上传输数字电视信号，并且将逐步取代模拟电视信号。对于交互式通信，如电话、数据则已实现了信号的数字化。

(2) 频分复用与时分复用并存。对于多路模拟信号采用频分复用方式。对于多路数字信号则常采用时分复用方式。由于模拟信号和数字信号并存，在宽带综合网中将充分利用频分复用和时分复用各自的优势，力求以有限的频带来传输更多的节目和信息，力求以最低的经济代价来换取更多的服务。

(3) 光缆与电缆并存。目前我国许多大中城市甚至村镇都建设了光缆干线，建立了光纤—同轴混合网，即HFC网(Hybrid Fiber Coax)，按照光纤与电缆的比例分为：

①一般为光纤干线与分支线，即FTF方式。每个光节点覆盖2000~5000个用户，光纤之后使用的延长放大器在3~5个之间。

②光纤到路边，即FTTC方式。覆盖的片区用户在500个以下，使用1~2个延长放大器。我国许多城市新建光缆网络即以FTTC为目标设计。

③光纤到楼，即FTTB方式正在试验，用户为50户左右，一般只用一个放大器。

④光纤到家，即FTTH，是我们的最终目标。

(4) 信号分配与信号交换并存。

有线电视网与通信网不同之处为它是一个不对称双向传输网，下行信号占的份量大大超过上行信号。下行信号中主要是电视广播信号，其主要任务是进行信号的分配而不是信号的交换，不论是模拟电视信号还是今后的数字电视信号都是进行信号的分配，是一个单向系统。双向系统只适用于电话、数据和信令，占据的频带相对要小得多。

### 3.2 北美的CATV数字视频传输标准

美国有线电视实验室(Cable Labs:Cable Television Laboratories Inc.)与美国主要的数字电视设备供应商及其成员就北美的数字有线电视系统规定的主要细节达成一致，这一规定建立了数字业务的基本结构，允许不同厂家生产的机顶盒和数据调制解调器可以在同一个电缆系统中工作。这一规定主要解决如何在标准的6MHz有线电视带宽内传输数字视频和数据。视频数字化和复用方面主要采用MPEG-2主级和主类(MP@ML)的参数，但音频格式将采用Dolby AC-3系统，服务信息表的规定则采用ATSC标准，服务信息表(Service Information Table)的一致性是有无互操作性的关键。下行数据调制将采用ITV-TJ 83附录B标准，即64QAM和256QAM调制和级联格形编码调制并且有可变的交织深度以适应数据和话音方面对较小延迟时间的要求。在使用64QAM时，一个6MHz通道能传送27Mbps的信息，使用256QAM时，可传送40Mbps。有线电视数字标准也考虑到与地面广播ATSC数字视频系统尽量一致，除了因传输介质不一样调制方式不用VSB外，尽量保持一致。所有因比特率的差别，不同的调制方法将先在前端进行处理，然后再送往用户。

上述标准很可能也是我国在CATV宽带综合网中遵循的准则之一。

### 3.3 有线电视宽带综合接入网的基本框架

(1) 宽带接入网的频谱分配。

在HFC形式的CATV宽带接入网的可能频谱分配如图1-4所示。

(2) 对于模拟广播电视信号，是单向传输信号，以信号分配为目的，可以继续采用频分复用形式。

(3) 对于今后将实现的数字电视广播信号，可采用频分和时分复用相结合的形式。

以8MHz为一带宽单位，视频信号数字化后，采用MPEG-2进行压缩，一般是采用主级和主类(MP@ML)参数，采用64QAM或256QAM调制，可以大大提高频带的利

用率，每个8MHz带宽内可以传送的码率见表1—3。

现以64QAM每个8MHz通带内传送8套电视节目为例，说明其编码和调制过程：

- ①以8个电视节目为一组，将每个电视信号数字化，进行MPEG—2的压缩编码。
- ②将8个数字电视信号进行时分复用，即进行PCM编码。
- ③将PCM信号进行QAM载波调制，通频带为8MHz，不同组别的信号载波频率不同，即进行频分复用，在接收端则是相反的过程。

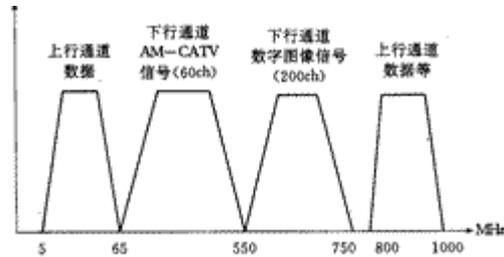


图 1—4 宽带接入网频谱分配

表1—3

信道编码	C/N门限	Mbps	bs/Hz	可传送电视节目数	
64QAM	64QAM	28dB	37Mbps	4 6	7~9
256QAM	256QAM	34dB	37Mbps	6 1	10~12

这样可以利用目前的频分制设备和传输分配系统，无需地行概述性的改造，在接收端增加8路PCM分用设备和数/模变换设备，造价的增加是有限的，并且这个分用设备还可与交互式通信合用。然而增加可接收的节目数量将是十分可观的，在100MHz频带内将可增加约100套以上的电视节目。

(4)对于交互式业务，如电话、计算机数据通信等，也可以采用频分和时分复用相结合的方式。与广播信号不同的是，这类业务的主要功能是交换而不是分配，故需要上、下两个通道。

首先用频分法划定上、下通道的频率范围，例如，下行通道频率范围为800~1000MHz，上行通道的频率范围为5~65MHz。

下行通道中将不同速率的数字信号用时分复用方法组成一数字信号流，将这个数字信号进行载波调制，一般采用正交相移键控调制(QPSK)。例如中心载波频率为850MHz，带宽限制为30MHz，这样的一个载波调制信号能承载550个64Mbps的语音、数据或信令。

当信息容量较大时，可以增加载波和扩展频带上行信道，目前有两种带宽：5~65MHz和5~45MHz，相信不久将会统一。可以在5~8MHz内传状态监视信息；8~12MHz传VOD(视频点播)或IPPV(即时付费电视)等信令；15~45MHz传电话或数据。上行信道的调制方式有QPSK，目前已开始应用抗干扰更强的正交频分多路(OFDM)方式。

交互式业务可以与外部多媒体通信网络相联结，可以和作为信息高速公路骨干光纤网、T-ATM/SDH网络相联结，多媒体通信网和异步转移模式(ATM)/同步数字系列(SDH)实质上是相同的，多媒体是从信息性质和事例上来描述，而ATM/SDH则是从数码传递方式上来描述。在今后的章节中可能将更多地涉及具体的数码传送方式，而较少提及多媒体，但多媒体的概念已在不言之中。

### 3.4 CATV宽带综合网模式及发展

(1)最终CATV宽带综合网将有可能发展成为全数字化、全时分复用方式、全光纤网络化，全国的骨干网为光纤SDH/ATM网络，每个城镇的有线电视网将作为其接入网，在这网络上将传输各种双向或单向信息、广播或交互式信息，并且与世界的通信网络相联结，即实现了信息高速公路的梦想。

(2)在模拟信号与数字信号并存的时期，当全国CATV的光纤SDH网建成以后，

全国的骨干网为 光纤SDH/ATM网络上，上百套电视节目和众多的通信信息均在此骨干网络上传输。目前每个 有线电视城市网，将作为其接入网，为HFC网，每个城市的前端，将骨干网上获得的数字电视信号，重新组合然后用QAM调制方式送至用户。各种交互式信息也将通过载波调制方式在 上、下通道上运行。

(3)在目前状态下，电视信号以模拟信号为主，还未建成全国的CATV骨干网，各城市将自行 建设前端，通过HFC网将电视信号传至用户，只是通信信息可以从全国邮电网获取。邮电 部门已建成若干SDH网，也就是说，只是从通信角度来说，城市CATV网是全国通信网的接入网，并且是窄带信息，主要传送电话信令和计算机数据等。

## 第二章 数字信号的基本概念

### 1 数字通信的特点

(1)抗干扰能力强、无噪声积累。在模拟通信中，为了提高信噪比，需要在信号传输过程中及时对衰减的传输信号进行放大，信号在传输过程中不可避免地叠加上的噪声也被同时放 大，如图2-1(a)所示。随着传输距离的增加，噪声累积越来越多，以致使传输质量严重恶化。

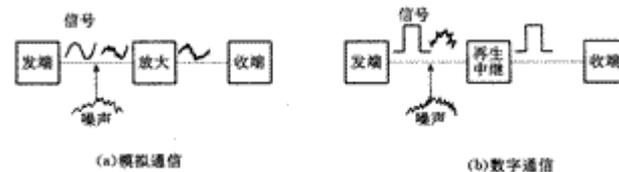


图 2-1 两类通信方式抗干扰性能比较

对于数字通信，由于数字信号的幅值为有限个离散值(通常取两个幅值)，在传输过程中虽 然也受到噪声的干扰，但当信噪比恶化到一定程度时，即在适当的距离采用判决再生的方法 ，再生成没有噪声干扰的和原发送端一样的数字信号，见图2-1(b)，所以可实现长距离高 质量的传输。

(2)便于加密处理。信息传输的安全性和保密性越来越重要，数字通信的加密处理的比模拟通信容易得多，以话音信号为例，经过数字变换后的信号可用简单的数字逻辑运算进行加密 、解密处理。

(3)便于存储、处理和交换。数字通信的信号形式和计算机所用信号一致，都是二进制代码 ，因此便于与计算机联网，也便于用计算机对数字信号进行存储、处理和交换，可使通信网的管理、维护实现自动化、智能化。

(4)设备便于集成化、微型化。数字通信采用时分多路复用，不需要体积较大的滤波器。设备中大部分电路是数字电路，可用大规模和超大规模集成电路实现，因此体积小、功耗低 。

(5)便于构成综合数字网和综合业务数字网。采用数字传输方式，可以通过程控数字交换设 备进行数字交换，以实现传输和交换的综合。另外，电话业务和各种非话业务都可以实现数字化，构成综合业务数字网。

(6)占用信道频带较宽。一路模拟电话的频带为4kHz带宽，一路数字电话约占64kHz，这是模拟通信目前仍有生命力的主要原因。随着宽频带信道(光缆、数字微波)的大量利用(一对光缆可开通几千路电话)以及数字信号处理技术的发展(可

将一路数字电话的数码率由64kb/s压缩到32kb/s甚至更低的数码率), 数字电话的带宽问题已不是主要问题了。

以上介绍可知, 数字通信具有很多优点, 所以各国都在积极发展数字通信。近年来, 我国数字通信得到迅速发展, 正朝着高速化、智能化、宽带化和综合化方向迈进。

## 2 数字信号的产生

### 2.1 模拟信号和数字信号

#### (1) 模拟信号

信号波形模拟着信息的变化而变化, 如图2-2所示的信号称为模拟信号。其特点是幅度连续(连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值)。图2-2(a)所示的信号是模拟信号, 其信号波形在时间上也是连续的, 因此它又是连续信号。图2-2(b)所示的信号是对图(a)所示的模拟信号按一定的时间间隔 $T$ 抽样后的抽样信号, 由于其波形在时间上是离散的, 它又叫离散信号。但此信号的幅度仍然是连续的, 所以仍然是模拟信号。电话、传真、电视信号都是模拟信号。

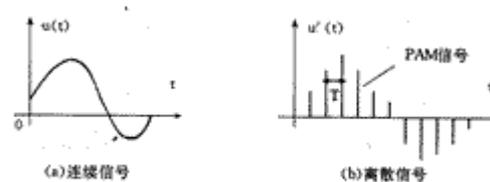


图 2-2 模拟信号

#### (2) 数字信号

(2) 数字信号图2-3是数字信号, 其特点是幅值被限制在有限个数值之内, 它不是连续的而是离散的。图2-3(a)是二进制, 每一个码元只取两个幅值(0, A); 图(b)是四进制, 每个码元取四(3、1、-1、-3)中的一个。这种幅度是离散的信号称数字信号。

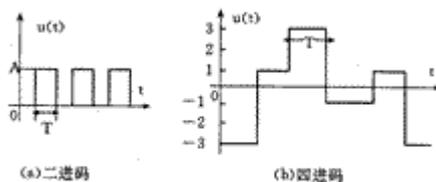


图 2-3 数字信号

### 2.2 信号的数字化过程

信号的数字化需要三个步骤: 抽样、量化和编码。抽样是指用每隔一定时间的信号样值序列来代替原来在时间上连续的信号, 也就是在时间上将模拟信号离散化。量化是用有限个幅度值近似原来连续变化的幅度值, 把模拟信号的连续幅度变为有限数量的有一定间隔的离散值。编码则是按照一定的规律, 把量化后的值用二进制数字表示, 然后转换成二值或多值的数字信号流。这样得到的数字信号可以通过电缆、微波干线、卫星通道等数字线路传输。在接收端则与上述模拟信号数字化过程相反, 再经过后置滤波又恢复成原来的模拟信号。上述数字化的过程又称为脉冲编码调制

### 2.2.1 抽样

话音信号是模拟信号，它不仅在幅度取值上是连续的，而且在时间上也是连续的。要使话音信号数字化并实现时分多路复用，首先要在时间上对话音信号进行离散化处理，这一过程叫抽样。所谓抽样就是每隔一定的时间间隔 $T$ ，抽取话音信号的一个瞬时幅度值(抽样值)，抽样后所得出的一系列在时间上离散的抽样值称为样值序列，如图2-4所示。抽样后的样值序列在时间上是离散的，可进行时分多路复用，也可将各个抽样值经过量化、编码转换成二进制数字信号。理论和实践证明，只要抽样脉冲的间隔 $T \leq 1/2f_m$  (或 $\geq 2f_m$ ) ( $f_m$ 是话音信号的最高频率)，则抽样后的样值序列可不失真地还原成原来的话音信号。

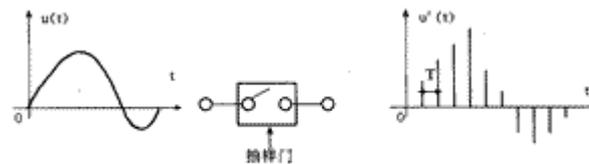


图 2-4 模拟信号与其对应的样值序列

例如，一路电话信号的频带为300~3400Hz， $f_m=3400\text{Hz}$ ，则抽样频率 $f_s \geq 2 \times 3400=6800\text{Hz}$ 。如按6800Hz的抽样频率对300~3400Hz的电话信号抽样，则抽样后的样值序列可不失真地还原成原来的话音信号，话音信号的抽样频率通常取8000Hz/s。对于PAL制电视信号。视频带宽为6MHz，按照CCIR601建议，亮度信号的抽样频率为13.5MHz，色度信号为6.75MHz。

### 2.2.2 量化



图 2-5 量化的两种方式

抽样把模拟信号变成了时间上离散的脉冲信号，但脉冲的幅度仍然是模拟的，还必须进行离散化处理，才能最终用数码来表示。这就要对幅值进行舍零取整的处理，这个过程称为量化。量化有两种方式，示于图2-5中。图2-5(a)所示的量化方式中，取整时只舍不入，即0~1伏间的所有输入电压都输出0伏，1~2伏间所有输入电压都输出1伏等。采用这种量化方式，输入电压总是大于输出电压，因此产生的量化误差总是正的，最大量化误差等于两个相邻量化级的间隔 $\Delta$ 。图(b)所示的量化方式在取整时有舍有入，即0~0.5伏间的输入电压都输出0伏，0.5~1.5伏间的输出电压都输出1伏等等。采用这种量化方式量化误差有正有负，量化误差的绝对值最大为 $\Delta/2$ 。因此，采用有舍有入法进行量化，误差较小。

实际信号可以看成量化输出信号与量化误差之和，因此只用量化输出信号来代替原信号就会有失真。一般说来，可以把量化误差的幅度概率分布看成在 $-\Delta/2 \sim +\Delta/2$ 之间的均匀分布。可以证明，量化失真功率，即与最小量化间隔的平方成正比。最小量化间隔越小，失真就越小。最小量化间隔越小，用来表示一定幅度的模拟信号时所需要的量化级数就越多，因此处理和传输就越复杂。所以，量化既要尽量减少量化级数，又要使量化失真看不出来。一般都用一个二进制数来表示某一量化级数，经过传输在接收端再按照这个二进制数来恢复原信号的幅值。所谓量化比特数是指要区分所有量化级所需几位二进制数。例如，有8个量化级，那么可用三位二进制数来区分，因为，称8个量化级的量化为3比特量

化。8比特量化则是指共有个量化级的量化。

量化误差与噪声是有本质的区别的。因为任一时刻的量化误差是可以从输入信号求出，而噪声与信号之间就没有这种关系。可以证明，量化误差是高阶非线性失真的产物。但量化失真在信号中的表现类似于噪声，也有很宽的频谱，所以也被称为量化噪声并用信噪比来衡量。

上面所述的采用均匀间隔量化级进行量化的方法称为均匀量化或线性量化，这种量化方式会造成大信号时信噪比有余而小信号时信噪比不足的缺点。如果使小信号时量化级间宽度小些，而大信号时量化级间宽度大些，就可以使小信号时和大信号时的信噪比趋于一致。这种非均匀量化级的安排称为非均匀量化或非线性量化。数字电视信号大多采用非均匀量化方式，这是由于模拟视频信号要经过校正，而校正类似于非线性量化特性，可减轻小信号时误差的影响。

对于音频信号的非均匀量化也是采用压缩、扩张的方法，即在发送端对输入的信号进行压缩处理再均匀量化，在接收端再进行相应的扩张处理，如图2—6所示。

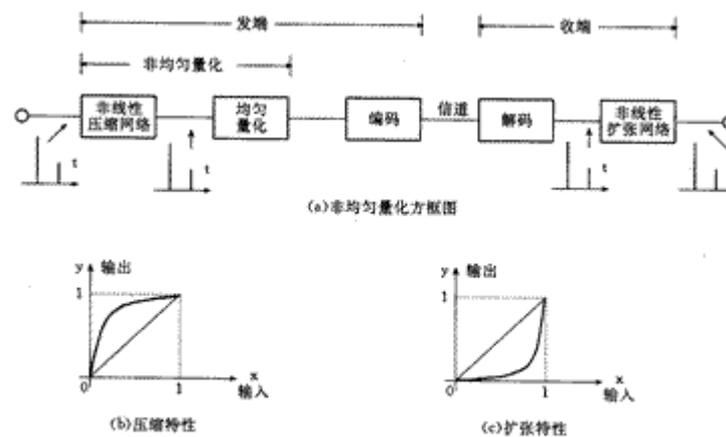


图 2—6 非均匀量化方框图及压缩扩张特性

目前国际上普遍采用容易实现的A律13折线压扩特性和 $\mu$ 律15折线的压扩特性。我国规定采用A律13折线压扩特性。

采用13折线压扩特性后小信号时量化信噪比的改善量可达24dB，而这是靠牺牲大信号量化信噪比(亏损12dB)换来的。

### 2.2.3 编码

抽样、量化后的信号还不是数字信号，需要把它转换成数字编码脉冲，这一过程称为编码。最简单的编码方式是二进制编码。具体说来，就是用n比特二进制码来表示已经量化的样值，每个二进制数对应一个量化值，然后把它们排列，得到由二值脉冲组成的数字信息流，整个过程见图2—7。编码过程在接收端，可以按所收到的信息重新组成原来的样值，再经过低通滤波器恢复原信号。用这样方式组成的脉冲串的频率等于抽样频率与量化比特数的积，称为所传输数字信号的数码率。显然，抽样频率越高，量化比特数越大，数码率就越高，所需要的传输带宽就越宽。

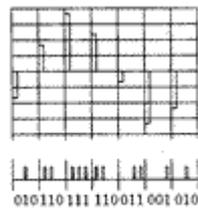


图 2-7 编码过程

除了上述的自然二进制码，还有其他形式的二进制码，如格雷码和折叠二进制码等，表2-1 示出了这三种二进制码。这三种码各有优缺点：(1)自然二进制码和二进制数一一对应，简单易行，它是权重码，每一位都有确定的大小，从最高位到最低位依次为，可以直接进行大小比较和算术运算。自然二进制码可以直接由数/模转换器转换成模拟信号，但在某些情况，例如从十进制的3转换为4时二进制码的每一位都要变，使数字电路产生很大的尖峰电流脉冲。(2)格雷码则没有这一缺点，它在相邻电平间转换时，只有一位发生变化，格雷码不是权重码，每一位码没有确定的大小，不能直接进行比较大小和算术运算，也不能直接转换成模拟信号，要经过一次码变换，变成自然二进制码。(3)折叠二进制码沿中心电平上下对称，适于表示正负对称的双极性信号。它的最高位用来区分信号幅值的正负。折叠码的抗误码能力强。

表2-1 各种二进制码量化电平

量化电平	自然 二进制码	格雷码	折叠二进制码
0	000	000	011
1	001	001	010
2	010	011	001
3	011	010	000
4	100	110	100
5	101	111	101
6	110	101	110
7	111	100	111

在通信理论中，编码分为信源编码和信道编码两大类。所谓信源编码是指将信号源中多余的信息除去，形成一个适合用来传输的信号。为了抑制信道噪声对信号的干扰，往往还需要对信号进行再编码，编成在接收端不易为干扰所弄错的形式，这称为信道编码。为了对付干扰，必须花费更多的时间，传送一些多余的重复信号，从而占用了更多频带，这是通信理论中的一条基本原理。

## 2.2.4 数字视频信号的编码方式和格式

### (1) 复合编码和分量编码

视频信号有两种编码方式，即复合编码和分量编码。复合编码是将复合彩色信号直接编码成 PCM形式。复合彩色信号是指彩色全电视信号，它包含有亮度信号和以不同方式编码的色度信号。分量编码是将三基色信号R、G、B分量或亮度和色差信号Y、(B-Y)、(R-Y)分别编码成PCM形式。

复合编码的优点是码率低些，设备较简单，适用于在模拟系统中插入单个数字设备的情况。它的缺点是由于数字电视的抽样频率必须与彩色副载频保持一定

的关系，而各种制式的副载频各不相同，难以统一。采用复合编码时由抽样频率和副载频间的差拍造成的干扰将影响图像的质量。

分量编码的优点是编码与制式无关，只要抽样频率与行频有一定的关系，便于制式转换和统一，而且由于Y、(R-Y)、(B-Y)分别编码，可采用时分复用方式，避免亮色互串，可获得高质量的图像。在分量编码中，亮度信号用较高的码率传送，两个色差信号的码率可低一些，但总的码率比较高，设备价格相应较贵。

(2) 数字视频信号的抽样频率和格式现行的扫描制式主要有625行/50场和525行/60场两种，它们的行频分别为15625赫和15734.265赫。ITU-R建议的分量编码标准的亮度抽样频率为13.5兆赫，这恰好是上述两种行频的整数倍，对于625行/50场，每行的抽样点数为个，对于525行/60场，每行的抽样点数为个，按照国际现行电视制式，亮度信号最大带宽是6兆赫。根据奈奎斯特抽样定理，抽样频率至少要大于 $2 \times 6 = 12$ 兆赫，因此取13.5兆赫也是合适的。

由于色差信号的带宽比亮度信号窄得多，所以在分量编码时两个色差信号的抽样频率可以低一些，同时也考虑到抽样的样点结构满足正交结构的要求，ITU-R建议两个色差信号的抽样频率均为亮度信号抽样频率的一半，即6.75兆赫，每行的样值点数也是亮度信号样值点数的一半，即分别为432个/行和429个/行。因此，对演播室数字电视设备进行分量编码的标准是：亮度信号的抽样频率是13.5兆赫，两个色差信号的抽样频率是6.75兆赫，其抽样频率之比为4:2:2，因此也称为4:2:2格式。对于用于信号源信号处理的质量要求更高的设备，还可以采用4:4:4的抽样关系。

### 3 数字通信系统的主要性能指标

#### (1) 信道传输速率

信道的传输速率通常是以每秒所传输的信息量多少来衡量。信息论中定义信息源发生信息量的度量单位是“比特”(bit)。一个二进制码元所含的信息量是一个“比特”，所以信息传输速率的单位是比特/秒(bit/s)。例如一个数字通信系统，它每秒传输600个二进制码元，它的信息传输速率是600比特/秒(600bit/s)。

#### (2) 符号传输速率

它是指单位时间(秒)内传输的码元数目，其单位为波特。这里的码元可以是二进制的，也可以是多进制的。符号传输速率M和信息传输速率R的关系为 $R = N \log_2 M$  当码元为二进制时M为2；码元为四进制时M为4……如果符号速率为600波特，在二进制时，信息传输速率为600比特/秒，在四进制时为1200比特/秒。

#### (3) 误码率

信码在传输过程中，由于信道不理想以及噪声的干扰，以致在接收端判决再生后的码元可能出现错误，这叫误码。误码的多少用误码率来衡量，误码率是数字通信系统中单位时间内错误码元数与发送总码元数之比。误码越多，误码率越大。

### 4 传输速率和带宽的关系

数字信号的传输要求与模拟信号的要求不同，模拟信号的传输要求接收端无

波形失真，而数字信号的传输是要求接收端无差错地恢复成原来的二进数码(可以允许接收波形失真，只要不影响正确恢复信码即可)。

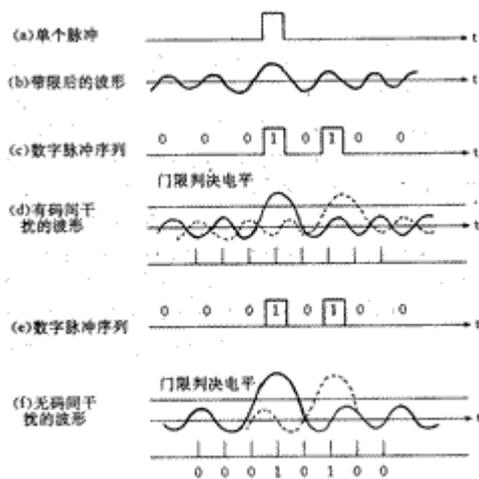


图 2-8 数字信号通过带限信道的波形

由于数字信号的频带非常宽(从直流一直到无限高的频率)，但其主要能量则集中在低频段，而电缆传输信道是只允许比较低的频率成分通过的低通信道。当一系列数字脉冲信号通过带限的电缆信由于高频成分被滤去，使输出波形出现了失真，如图2-8(b)所示。

这种波形顶部变圆，底部展宽。一个码元的波形展宽到其他码元位置，影响到其他码元，这种影响称码间干扰，如图2-8(d)所示。由于波形的拖尾很长，码间干扰将影响到数个码元。波形的拖尾可以是正的也可能是负的。如果所有的拖尾相加后是正值，而且达到门限判决电平就可能将“0”误判为“1”码；反之，如果所有的拖尾相加后在某个码元位置的值是负的，就可能将“1”码误判为“0”码。为了减少码间干扰，数字信号传输的基本理论——奈奎斯特第一准则规定带限信道的理想低道截止频率为 $f_H$ 时，最高的无码间干扰传输的极限速度为 $2f_H$ ，无码间干扰的波形如图2-8(f)所示。例如，信道带宽为2000Hz时，每秒最多可传送4000个二进制码元。一路数字电话速率为64kbit/s，则无码间干扰的信道带宽为32kHz。

### 第三章 时分多路复用与复接技术

#### 1 时分多路复用

为了提高信道利用率，使多个信号沿同一信道传输而互相不干扰，称多路复用。目前采用较多的是频分多路复用和时分多路复用。频分多路复用用于模拟通信，例如载波通信，时分多路复用用于数字通信，例如PCM通信。

时分多路复用通信，是各路信号在同一信道上占有不同时间间隙进行通信。由前述的抽样理论可知，抽样的一个重要作用，是将时间上连续的信号变成时间上离散的信号，其在信道上占用时间的有限性，为多路信号沿同一信道传输提供了条件。具体说，就是把时间分成一些均匀的时间间隙，将各路信号的传输时间分配在不同的时间间隙，以达到互相分开，互不干扰的目的。图3-1为时分多路复用示意图，各路信号经低通滤波器将频带限制在3400Hz以下，然后加到快速电子旋转开关(称分配器) $k_1, k_1$ 开关不断地作匀速旋转，每旋转一周的时间等于一个抽样周期 $T$ ，这样就做到对每一路信号每隔周期 $T$ 时间抽样一次。由此可见，发端分配器不仅起到抽样的作用，同时还起到复用合路的作用。合路后的抽样信号送到PCM编码器进行量化和编码，然后将数字信码送往信道。在收端将这

些从发送端送来的各路 信号依次解码，还原后的PAM信号，由收端分配器旋转开关K2依次接通每一路信号，再经 低通平滑，重建成语音信号。由此可见收端的分配器起到时分复用的分路作用，所以收端分 配器又叫分路门。

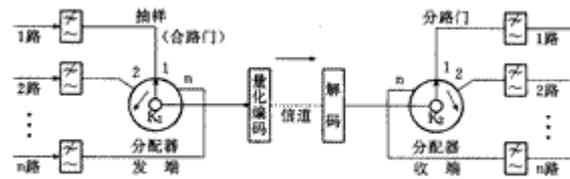


图 3-1 时分多路复用示意图

当采用单片集成PCM编解码器时，其时分复用方式是先将各路信号分别抽样、编码、再经时 分复用分配器合路后送入信道，接收端先分路，然后各路分别解码和重建信号。

要注意的是：为保证正常通信，收、发端旋转开关 $k_1, k_2$ 必须同频同相。同频是指 $k_1, k_2$ 的旋转速度要完全相同，同相指的是发端旋转开关 $k_1$ 连接第一路信号时，收端旋转 开关K2也必须连接第一路，否则收端将收不到本路信号，为此要求收、发双方必须保持严 格的同步。时分复用后的数码流示意图示于图3-2

### 1.1 时分复用中的同步技术

时分复用通信中的同步技术包括位同步(时钟同步)和帧同步，这是数字通信的又一个重要特 点。位同步是最基本的同步，是实现帧同步的前提。位同步的基本含义是收、发两端机的时 钟频率必须同频、同相，这样接收端才能正确接收和判决发送端送来的每一个码元。为了 达到收、发端频率同频、同相，在设计传输码型时，一般要考虑传输的码型中应含有发送端 的时钟频率成分。这样，接收端从接收到PCM码中提取出发端时钟频率来控制收端时钟，就 可做到位同步。

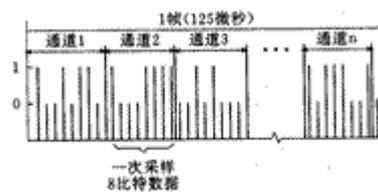


图 3-2 时分复用后形成的数码流示意图

帧同步是为了保证收、发各对应的话路在时间上保持一致，这样接收端就能正确接收发送端 送来的每一个话路信号，当然这必须是在位同步的前提下实现。

为了建立收、发系统的帧同步，需要在每一帧(或几帧)中的固定位置插入具有特定码型的帧 同步码。这样，只要收端能正确识别出这些帧同步码，就能正确辨别出每一帧的首尾，从而 能正确区分出发端送来的各路信号。

### 1.2 时分复用的帧结构

现以PCM30/32路电话系统为例，来说明时分复用的帧结构，这样形成的PCM信号称为PCM一次 群信号。

在讨论时分多路复用原理时曾指出，时分多路复用的方式是用时隙来分割

的，每一路信号分配一个时隙叫路时隙，帧同步码和信令码也各分配一个路时隙。PCM30/32系统的意思是整个系统共分为32个路时隙，其中30个路时隙分别用来传送30路话音信号，一个路时隙用来传送帧同步码，另一个路时隙用来传送信令码。图3-3是CCITT建议G.732规定的帧结构。

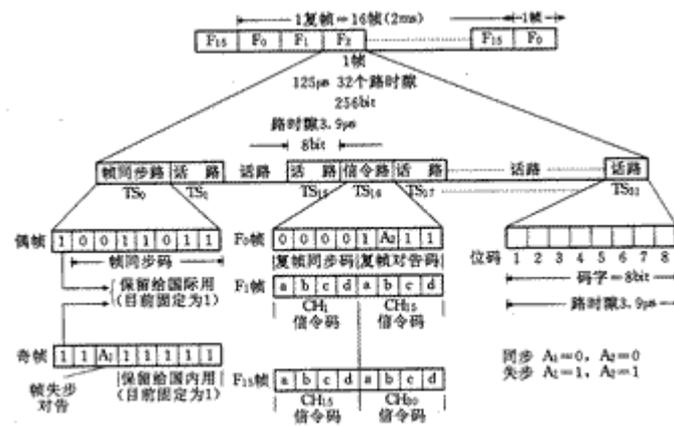


图 3-3 PCM30/32 路系统帧结构

从图中可看出，PCM30/32路系统中一个复帧包含16帧，编号为 $F_0$ 帧、 $F_1$ 帧…… $F_{15}$ 帧，一复帧的时间为2毫秒。每一帧(每帧的时间为125微秒)又包含有32个路时隙，其编号为 $TS_0, TS_1, TS_2 \dots TS_{31}$ ，每个路时隙的时间为3.9微秒。每一路时隙包含有8个位时隙，其编号为 $D_1, D_2, D_3 \dots D_8$ ，每个位时隙的时间为0.488微秒。

路时隙 $TS_1 \sim TS_{15}$  分别传送第1路~第15路的信码，路时隙 $TS_{17} \sim TS_{31}$  分别传送第16路~第30路的信码。偶帧 $TS_0$ 时隙传送帧同步码，其码型为{×0011011}。奇帧 $TS_0$ 时隙码型为{×1A1SSSS}，其中A1是对端告警码，A1=0时表示帧同步，A1=1时表示帧失步；S为备用比特，可用于传送业务码；×为国际备用比特或传送循环冗余校验码(CRC码)，它可用于监视误码。 $F_0$ 帧 $TS_{16}$ 时隙前4位码为复帧同步码，其码型为0000； $A_2$ 为复帧失步对告码。 $F_1 \sim F_{15}$ 帧的 $TS_{16}$ 时隙用来传送30个话路的信令码。 $F_1$ 帧 $TS_{16}$ 时隙前4位码用来传送第1路信号的信令码，后4位码用来传送第16路信号的信令码……。直到 $F_{15}$ 帧 $TS_{16}$ 时隙前后各4位码分别传送第15路、第30路信号的信令码，这样一个复帧中各个话路分别轮流传送信令码一次。按图3-3所示的帧结构，并根据抽样理论，每帧频率应为8000帧/秒，帧周期为125微秒，所以PCM30/32路系统的总数码率是

$$f_s = 8000 \text{ (帧/秒)} \times 32 \text{ (路时隙/帧)} \times 8 \text{ (bit/路时隙)} = 2048 \text{ kbit/s} = 2.048 \text{ Mbit/s}$$

PCM30/32路端机方框图如图3-4所示。

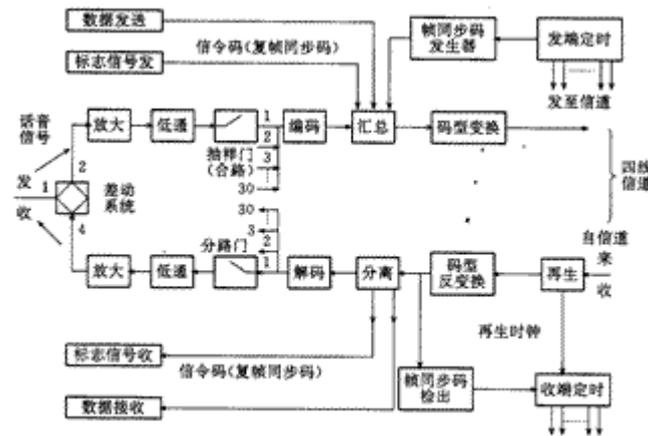


图 3-4 PCM30/32 系统方框图

用户的话音信号(发与收)采用二线制传输，但端机的发送与接收支路是分开的，即发与收是采用四线制传输。因此，用户的话音信号需经 2/4 线变换，也就是通过差动变量器(差动变量器 1~2 端发送与 4-1 端接收的传输衰减越小越好，而 4-2 端的衰减要越大越好，以防止通路振鸣) 1~2 端送入 PCM 端机的发送端，经放大(调节话音电平)、低通滤波(限制话音频带、防止折叠噪声)、抽样、合路和编码，编码后的 PCM 码、帧同步码、信令码、数据信号在汇总电路里按 PCM30/32 系统帧结构排列，最后经码型变换成适宜于信道传输的码型送往信道。接收端首先将接收到信号进行整形、再生，然后经过码型反变换，恢复成原来的码型，再由分离电路将 PCM 码、信令码、帧同步码、数据信号分离，分离出的话路信号经解码、分路门恢复出每一路的 PCM 信号，然后经低通平滑，恢复成每一路的话音模拟信号，最后经放大、差动变量器 4~1 端送至用户。再生电路所提取时钟，除了用于抽样判决，识别每一个码元外，还由它来控制收端定时系统产生收端所需的各种脉冲信号。

## 2 数字复接技术

在频分制载波系统中，高次群系统是由若干个低次群信号通过频谱搬移并叠加而成。例如，60 路载波是由 5 个 12 路载波经过频谱搬移叠加而成；1800 路载波是由 30 个 60 路载波经过频谱搬移叠加而成。

在时分制数字通信系统中，为了扩大传输容量和提高传输效率，常常需要将若干个低速数字信号合并成一个高速数字信号流，以便在高速宽带信道中传输。数字复接技术就是解决 PCM 信号由低次群到高次群的合成的技术。

### 2.1 PCM 复用与数字复接

扩大数字通信容量有两种方法。一种方法是采用 PCM30/32 系统(又称基群或一次群)复用的方法。例如需要传送 120 路电话时，可将 120 路话音信号分别用 8kHz 抽样频率抽样，然后对每个抽样值编 8 位码，其数码率为  $8000 \times 8 \times 120 = 7680 \text{ kbit/s}$ 。由于每帧时间为 125 微秒，每个路时隙的时间只有 1 微秒左右，这样每个抽样值编 8 位码的时间只有 1 微秒时间，其编码速度非常高，对编码电路及元器件的速度和精度要求很高，实现起来非常困难。但这种方法从原理上讲是可行的，这种对 120 路话音信号直接编码复用的方法称 PCM 复用。另一种方法是将几个(例如 4 个)经 PCM 复用后的数字信号(例如 4 个 PCM30/32 系统)再进行时分复用，形成更多路的数字通信系统。显然，经过数字复用后的信号的数码率提高了，但是对每一个基群编码速度没有提高，实现起来容易，目前广泛采用这种方法提高通信容量。由于数字复用是采用数字复接的方法来实现的，又称数字复接技术。

数字复接系统由数字复接器和数字分接器组成，如图3-5所示。数字复接器是把两个或两个以上的支路(低次群)，按时分复用方式合并成一个单一的高次群数字信号设备，它由定时、码速调整和复接单元等组成。数字分接器的功能是把已合路的高次群数字信号，分解成原来的低次群数字信号，它由帧同步、定时、数字分接和码速恢复等单元组成。

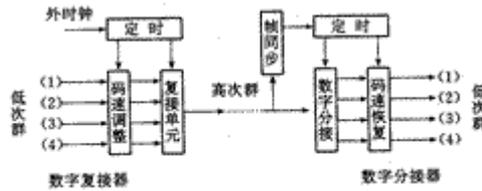


图 3-5 数字复接系统的方框图

定时单元给设备提供一个统一的基准时钟。码速调整单元是把速率不同的各支路信号，调整成与复接设备定时完全同步的数字信号，以便由复接单元把各个支路信号复接成一个数字流。另外在复接时还需要插入帧同步信号，以便接收端正确接收各支路信号。分接设备的定时单元是由接收信号中提取时钟，并分送给各支路进行分接用。

CCITT已推荐了两类数字速率系列和复接等级，两类数字速率系列和数字复接等级分别如表3-1和图3-6所示。

表3-1 两类数字速率系列

群号	一次群	二次群	三次群	四次群
数码率 (Mbit/s)	1.544	6.312	32.064	97.728
话路数	24	24*4=96	95*5=480	480*3=1440
数码率 (Mbit/s)	2.048	8.448	34.368	139.264
话路数	30	30*4=120	120*4=480	480*4=1920

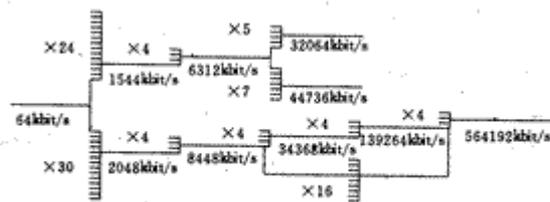


图 3-6 CCITT 推荐的数字复接等级

## 2.2 数字信号的复接

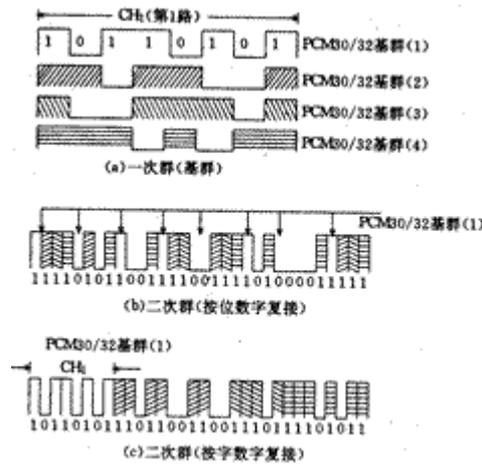


图 3-7 按位复接与按字复接示意图

数字复接的方法主要有按位复接、按字复接和按帧复接三种。按位复接又叫比特复接，即复接时每支路依次复接一个比特。图3-7(a)所示是4个PCM30/32系统 $T_{S1}$ 时隙(CH1话路)的码字情况。图3-7(b)是按位复接后的二次群中各支路数字码排列情况。按位复接方法简单易行，设备也简单，存储器容量小，目前被广泛采用，其缺点是对信号交换不利。图3-7(c)是按字复接，对PCM30/32系统来说，一个码字有8位码，它是将8位码先储存起来，在规 定时间四个支路轮流复接，这种方法有利于数字电话交换，但要求有较大的存储容量。按帧复接是每次复接一个支路的一个帧(一帧含有256个比特)，这种方法的优点是复接时不破坏原来的帧结构，有利于交换，但要求更大的存储容量。

### 2.3 数字复接中的码速变换

几个低次群数字信号复接成一个高次群数字信号时，如果各个低次群(例如PCM30 /32系统)的时钟是各自产生的，即使它们的标称数码率相同，都是2048kbit/s，但它们的瞬 时数码率也可能是不同的。因为各个支路的晶体振荡器的振荡频率不可能完全相同(CCIT规 定PCM 30/32系统的瞬时数码率在2048kbit/s  $\pm$ 100bit/s)，几个低次群复接后的数码就会产生重 叠或错位，如图3-8所示。这样复接合成后的数字信号流，在接收端是无法分接恢复成原来的低次群信号的。因此， 数码率不同的低次群信号是不能直接复接的。为此，在复接前要使各低次群的数码率同步 ，同时使复接后的数码率符合高次群帧结构的要求。由此可见，将几个低次群复接成高次 群时，必须采取适当的措施，以调整各低次群系统的数码率使其同步，这种同步是系统与系 统之间的同步，称系统同步。

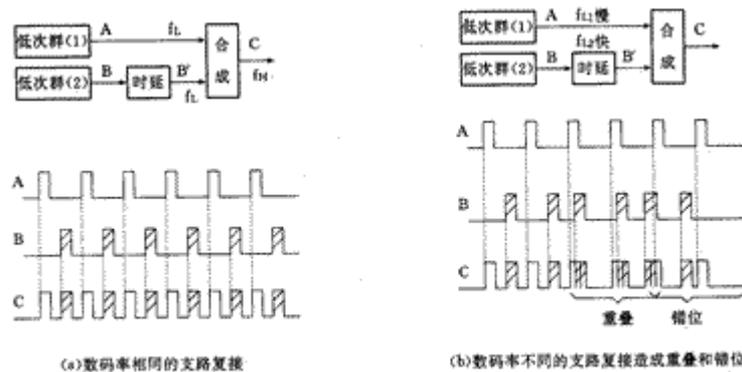


图 3-8 不同支路数字码复接

系统同步的方法有两种，即同步复接和异步复接。同步复接是用一个高稳定的主 时钟来控制被复接的几个低次群，使这几个低次群的码速统一在主时钟的频

率上，这样就达到系统同步的目的。这种同步方法的缺点是主时钟一旦出现故障，相关的通信系统将全部中断。它只限于在局部区域内使用。异步复接是各低次群使用各自的时钟。这样，各低次群的时钟速率就不一定相等，因而在复接时先要进行码速调整，使各低次群同步后再复接。

不论同步复接或异步复接，都需要码速变换。虽然同步复接时各低次群的数码率完全一致，但复接后的码序列中还要加入帧同步码、对端告警码等码元，这样数码率就要增加，因此需要码速变换。

CCITT规定以2048kbit/s为一次群的PCM二次群的数码率为8448kbit/s。按理说，PCM二次群的数码率是4×2048kbit/s=8192kbit/s。当考虑到4个PCM一次群在复接时插入了帧同步码、告警码、插入码和插入标志码等码元，这此码元的插入，使每个基群的数码率由2048kbit/s调整到2112kbit/s，这样4×2112kbit/s=8448kbit/s。码速调整后的速率高于调整前的速率，称正码速调整。

正码速调整方框图如图3-9所示。每一个参与复接的数码流都必须经过一个码速调整装置，将瞬时数码率不同的数码流调整到相同的、较高的数码率，然后再进行复接。

码速调整装置的主体是缓冲存储器，还包括一些必要的控制电路、输入支路的数码率  $f_i=2.048\text{Mbit/s} \pm 100\text{bit/s}$ ，输出数码率为  $f_m=2.112\text{Mbit/s}$ 。所谓正码速调整就是因为  $f_m > f_i$  而得名的。

假定缓存器中的信息原来处于半满状态，随着时间的推移，由于读出时钟  $f_m$  大于写入时钟  $f_i$ ，缓存器中的信息势必越来越少，如果不采取特别措施，终将导致缓存器中的信息被取空，再读出的信息将是虚假的信息。

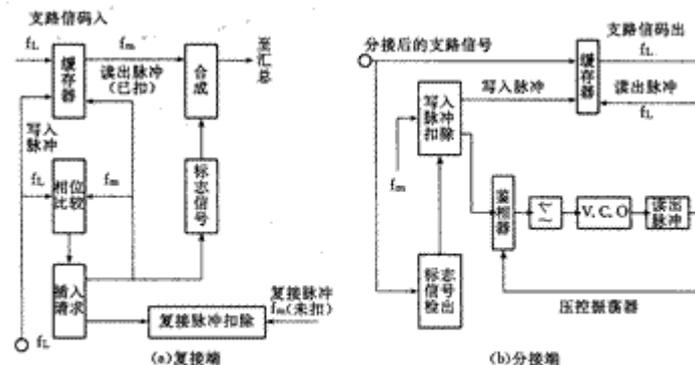


图 3-9 正码速调整方框图

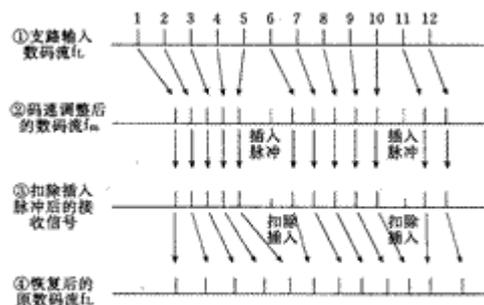


图 3-10 脉冲插入方式码速调整示意图

为了防止缓存器的信息被取空，需要采取一些措施。一旦缓存器中的信息比特数降到规定数量时，就发出控制信号，这时控制门关闭，读出时钟被扣除一个比特。由于没有读出时钟，缓存器中的信息就不能读出去，而这时信息仍往缓存器存入，因此缓存器中的信息就增加一个比特。如此重复下去，就可将数码流通过缓冲存储器传送出去，而输出信码的速率则增加为  $f_i$ 。图3-10中某支路输入码速率为  $f_m$ ，在写入时钟作用下，将信码写入缓存器，读出  $f_m$  时钟频率是，由于  $f_m > f_i$ ，所以缓存器是处于慢写快读的状态，最后将会出现“取空”现象。如果在设计电路时加入一控制门，当缓冲存储器中的信息尚未“取空”而快要“取空”时，就让它停读一次。同时插入一个脉冲(这是非信息码)，以提高码速率，如图中①②所示。从图中可以看出，输入信码是以  $f_i$  的速率写入缓存器，而读出脉冲是以  $f_m$  速率读出，如图中箭头所示。由于  $f_m > f_i$ ，读、写时间差(相位差)越来越小，到第6个脉冲到来时， $f_m$  与  $f_i$  几乎同时出现，这将出现没有写入都要求读出信息的情况而造成“取空”现象。为了防止“取空”，这时就停读一次，同时插入一个脉冲，如图中虚线所示。插入脉冲在何时插入是根据缓存器的储存状态来决定的，可通过插入脉冲控制电路来完成。储存状态的检测可通过相位比较器来完成。

在收端，分接器先将高次群信码进行分接，分接后的各支路信码分别写入各自的缓存器。为了去掉发送端插入的插入脉冲(称标志信号脉冲)，首先要通过标志信号检出电路检出标志信号，然后通过写入脉冲扣除电路扣除标志信号。扣除了标志信号后的支路信码的顺序与原来信码的顺序一样，但在时间间隔上是不均匀的，中间有空隙如图中③所示。但从长时间来看，其平均时间间隔，即平均码速与原支路信码  $f_i$  相同，因此，在收端要恢复原支路信码，必须先从中③波形中提取  $f_i$  时钟。脉冲间隔均匀化的任务由锁相环完成。鉴相器的输入为已扣除插入脉冲的  $f_m$ ，另一个输入端接  $VC_0$  输出，经鉴相、低通和  $VC_0$  后获得一个频率等于时钟平均频率的读出时钟  $f_i$ ，从缓存器中读出信码  $f_i$ 。

### 第四章 数字压缩编码技术

#### 1 数字压缩的必要性

数字信号有很多优点，但当模拟信号数字化后其频带大大加宽，一路6MHz的普通电视信号数字化后，其数码率将高达167Mbps，对储存器容量要求很大，占有的带宽将达80MHz左右，这样将使数字信号失去实用价值。数字压缩技术很好地解决了上述困难，压缩后信号所占用的频带大大低于原模拟信号的频带。因此说，数字压缩编码技术是使数字信号走向实用化的关键技术之一，表4-1列出了各种应用的码率。

表4-1 各种应用的码率

应用种类	比特数/像素	像素数/行	行数/帧	帧数/秒	亮色比	比特/秒(压缩前)	比特/秒(后)
HDTV	8	1920	1080	30	4:1:1	1.18Gbps	20~25Mbps
普通电视 CCIR601	8	720	480	30	4:1:1	167Mbps	4~8Mbps

会议电视CIF	8	352	288	30	4:1:1	36.5Mbps	1.5~2Mbps
桌上电视QCF	8	176	144	30	4:1:1	9.1Mbps	128kbps
电视电话	8	128	112	30	4:1:1	5.2Mbps	56kbps

有线电视网中数字压缩技术主要包括用于会议电视系统的H.261压缩编码，用于计算机静止图像压缩的JPEG和用于活动图像压缩的MPEG数字压缩技术。

## 2 图像压缩编码的可能性

从信息论观点来看，图像作为一个信源，描述信源的数据是信息量(信源熵)和信息冗余量之和。信息冗余量有许多种，如空间冗余，时间冗余，结构冗余，知识冗余，视觉冗余等，数据压缩实质上是减少这些冗余量。可见冗余量减少可以减少数据量而不减少信源的信息量。从数学上讲，图像可以看作一个多维函数，压缩描述这个函数的数据量实质是减少其相关性。另外在一些情况下，允许图像有一定的失真，而并不妨碍图像的实际应用，那么数据量压缩的可能性就更大了。

## 3 图像压缩编码方法的分类

编码压缩方法有许多种，从不同的角度出发有不同的分类方法，比如从信息论角度出发可分为两大类：

(1)冗余度压缩方法，也称无损压缩，信息保持编码或熵编码。具体讲就是解码图像和压缩编码前的图像严格相同，没有失真，从数学上讲是一种可逆运算。

(2)信息量压缩方法，也称有损压缩，失真度编码或熵压缩编码。也就是讲解码图像和原始图像是有差别的，允许有一定的失真。

应用多媒体中的图像压缩编码方法，从压缩编码算法原理上可以分为：

- (1)无损压缩编码种类
  - 哈夫曼编码
    - 算术编码
    - 行程编码
    - Lempel zev编码
- (2)有损压缩编码种类
  - 预测编码：DPCM，运动补偿
  - 频率域方法：正文变换编码(如DCT)，子带编码
  - 空间域方法：统计分块编码
  - 模型方法：分形编码，模型基编码
  - 基于重要性：滤波，子采样，比特分配，矢量量化
- (3)混合编码
  - JBIG，H261，JPEG，MPEG等技术标准

衡量一个压缩编码方法优劣的重要指标是：

- (1)压缩比要高，有几倍、几十倍，也有几百乃至几千倍；
- (2)压缩与解压缩要快，算法要简单，硬件实现容易；
- (3)解压缩的图像质量要好。

最后要说明的是选用编码方法时一定要考虑图像信源本身的统计特征；多媒体系统(硬件和软件产品)的适应能力；应用环境以及技术标准。

## 4 压缩编码方法简介

压缩编码的方法有几十种之多，并在编码过程中涉及较深的数学里理论基础

问题，在此仅介绍几种常用的压缩编码方法，主要是从物理意义上作一定的解释，读者如对数据压缩专题感兴趣的话，请参看讲座结束后所附的参考资料。

#### 4.1 莫尔斯码与信源编码

莫尔斯码即电报码，其精华之处在于用短码来表示常出现的英文字母，用长码来表示不常出现的字母，以减小码率。这种方法非常有效，故沿用至今。电视信号经过变换后，例如经差值脉冲编码后，发现前后像素幅度差值小的概率大，而差值大的概率小，因此可用短码表示概率大的信号，而用长码来代表概率小的信号，从而达到压缩码率的目的。

#### 4.2 差值脉冲编码

电视图像基本上是由面积较大的像块(如蓝天、大地、服装等)组成。虽然每个像块的幅值各不相同，但像块内各样值的幅度是相近的或相同的，幅值跃变部分相应于像块的轮廓，只占整幅图像的很小一部分。帧间相同的概率就更大了，静止图像相邻帧间的相应位置的像素完全一样，这意味着前后像素之差或前后帧间相应位置像素之差为零或差值小的概率大，差值大的概率小。这就是差值编码的基本想法，其原理框图见图4-1(a)。发端将当前样值和前一样值相减所得差值经量化后进行传输，收端将收到的差值与前一个样值相加得到当前样值。在这个原理图中，输出的当前样值是输出的前一样值加上收到的差值，由于在当前差值中包括当前的量化误差，而输出的前一样值又包括前一样值的量化误差，这就造成了量化误差的积累。因此实用电路为图4-1(b)。这时输入当前样值不是与输入的前一样值相减，而是与输出的前一样值相减，因此在差值中已经包含了前一样值的量化误差的负值，在与输出的前一个样值相加时，这部分量化误差被抵消，只剩下当前的量化误差，这就避免了量化误差的积累。

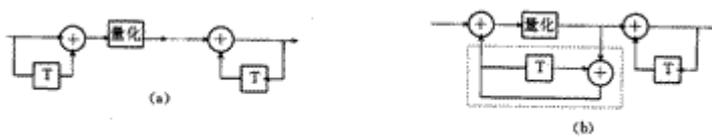


图 4-1 差值脉冲编码电路

#### 4.3 预测编码

预测编码利用像素的相关性，可进一步减小差值。

从前面的分析可以看出，如果差值编码中小幅度出现的机会增加，由于其对应的码长较短，总码率会进一步减小。如果能猜出下一个样值，那么差值就会是零，当然这种情况是没有意义的，因为若预先知道下一样值，就不需要进行通信了。但可以肯定，如果我们不仅利用前后样值的相关性，同时也利用其它行、其它帧的像素的相关性，用更接近当前样值的预测值与当前样值相减，小幅度差值就会增加，总码率就会减小，这就是预测编码的方法。预测编码的电路与差值编码类似，或者说差值编码就是以前一样值为预测值的预测编码，又称为一维预测。如果用到以前行的像素或以前帧的像素，则称为二维或三维预测。在美国国际电话电报公司(ITT)生产的数字电视机芯片中有一个视频存储控制器芯片VMC2260就用了二维预测编码，预测器用了三个像素作为下一个像素的预测值，即预测值等于 $1/2$ 前一像素加 $1/4$ 上一行相应像素再加上 $1/4$ 上一行相应的前一像素。这样不仅利用了前一像素的相关性，也利用了上一行相应像素的相关性，这样做要比差值编码有更大的码率压缩。如果再用上前一帧的像素会进一步降低码率。但为了得到前一帧的像素必须要使用帧存储器，造价比较高。只用到帧内像素的处理称为帧编码(Intraframe Coding)，用到前后帧像素的处理称为帧间编码(Interframe Coding)。要得到较大的码率压缩就必须使用帧间编码。JPEG是典型的帧内编码方案，而MPEG是帧间编码方法。前者大多用于静止图像处理，而后者主要用于对运动图像的处理。

#### 4.4 哈达玛特变换

这是一种有效地去除噪波的方法，噪波的存在往往容易和小幅度变化的信号相混淆，利用多帧平均的方法，对于静止图像，各帧相同，平均的结果其值不变，对于噪波，多帧平均趋于零。

但如果图像中有运动，多帧平均就会造成运动模糊，故不能简单地进行平均，

需要根据运动的大小来调节反馈量，即调节平均的程度，做到运动自适应降噪。

大多数情况下是利用帧差信号来判断图像中是否有运动，如果帧差小于一定值，就可视为是因噪波引起的，可取较大的反馈量；如果帧差大于一定值，就可视为图像中有运动。

但在许多情况下，仅从幅度的大小来判断是杂波还是图像是很困难的，如移动的云，近摄的绿草地等图像信号所得帧差信号也很小，所以BKU-904采用二维哈达玛特变换(Hadamard Transform)来区分是噪波还是图像信号。先将输入值按 $4 \times 2$ 分成小块，分别进行实时快速哈达玛特变换(FHT)。

图像经变换后，转换成相应成分的系数，这些系数分别代表直流分量；水平方向细节和色度分量等；垂直方向细节；斜方向细节及色度分量等，而噪波变换后均匀散在各系数中。这样就更有效地区分出信号和噪波，从而达到更有效地进行自适应降噪的目的。

#### 4.5 离散余弦变换

离散余弦变换(Discrete cosine Transform)简称DCT。任何连续的实对称函数的傅里叶变换中只含余弦项，因此余弦变换与傅里叶变换一样有明确的物理量意义。DCT是先将整体图像分成 $N \times N$ 像素块，然后对 $N \times N$ 像素块逐一进行DCT变换。由于大多数图像的高频分量较小，相应于图像高频成分的系数经常为零，加上人眼对高频成分的失真不太敏感，所以可用更粗的量化，因此传送变换系数所用的数码率要大大小于传送图像像素所用的数码率。到达接收端后再通过反离散余弦变换回到样值，虽然会有一定的失真，但人眼是可以接受的。

N代表像素数，一般 $N=8$ ， $8 \times 8$ 的二维数据块经DCT后变成 $8 \times 8$ 个变换系数，这些系数都有明确的物理意义：U代表水平像素号，V代表垂直像素号。如当 $U=0, V=0$ 时， $F(0, 0)$ 是原64个样值的平均，相当于直流分量，随着U、V值增加，相应系数分别代表逐步增加的水平空间频率分量和垂直空间频率分量的大小。

#### 4.6 量化(Q)

严格说DCT本身并不能进行码率压缩，因为64个样值仍然得到64个系数，如图4-2所示。这里给出了一个 $8 \times 8$ 像块的具体例子，经DCT变换后，比特数增加了。

在这个例子中样值是8比特，从 $0 \sim 225$ 得到的 x 即直流分量的最大值是原来256的64/8倍，即 $0 \sim 2047$ ，交流分量的范围是 $-1024 \sim 1023$ 。只是在经过量化后，特别是按人眼的生理特征对低频分量和高频分量设置不同的量化，会使大多数高频分量的系数变为零。一般说来，人眼对低频分量比较敏感，而对高频分量不太敏感。因此对低频分量采用较细的量化，而对高频分量采用较粗的量化。

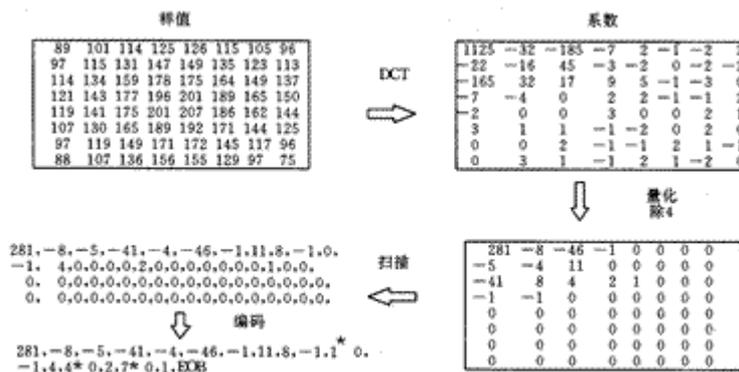


图 4-2 DCT 变换例

所谓量化，即根据不同的要求，设置不同的量化等级，从而降低数码率。

#### 4.7 游程长度编码

读出数据和表示数据的方式也是减少码率的一个重要因素。读出的方式可以有多种选择，如水平逐行读出、垂直逐列读出、之字型读出和交替读出等，其中之字型读出(Zig-Zag)是最常用的一种。由于经DCT变换以后，系数大多数集中在左上角，即低频分量区，因此之字型读出实际上是按二维频率的高低顺序读出系数的，这样一来就为游程长度编码(Runlength Encoding)创造了条件。所谓游程长度编码是指一个码可同时表示码的值和前面几个零，这样就可以把之字型读出的优点显示出来了。因为之字型读出在大多数情况下出现连零的机会比较多，尤其在最后，如果都是零，在读到最后一个数后只要给出“块结束”(EOB)

码，就可以结束输出，因此节省了很多码率。

游程长度指的是由字构成的数据流中各个字符连续重复出现而形成字符串的长度。基本的游程编码就是在数据流中直接用三个字符来给出上述三种信息，其数据结构如图4-3所示。



图 4-3 基本的游程长度编码数据结构

SC表示有一个字符串在此位置，X代表构成串的字符，CC代表串的长度。

游程编码和哈夫曼编码等属于统计编码。

#### 4.8 霍夫曼编码

霍夫曼编码是可变字长编码(VLC)的一种。 Huffman于1952年提出一种编码方法，该方法完全依据字符出现概率来构造异字头的平均长度最短的码字，有时称之为最佳编码，一般就叫作Huffman编码。下面引证一个定理，该定理保证了按字符出现概率分配码长，可使平均码长最短。

定理：在变字长编码中，如果码字长度严格按照对应符号出现的概率大小逆序排列，则其平均码字长度为最小。

现在通过一个实例来说明上述定理的实现过程。设将信源符号按出现的概率大小顺序排列为：

$$U: \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 \\ 0.20 & 0.19 & 0.18 & 0.17 & 0.15 & 0.10 & 0.01 \end{pmatrix}$$

给概率最小的两个符号a6与a7分别指定为“1”与“0”，然后将它们的概率相加再与原来的 a1~a5组合并重新排序成新的原为：

$$U' : \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6' \\ 0.20 & 0.19 & 0.18 & 0.17 & 0.15 & 0.11 \end{pmatrix}$$

对a5与a'6分别指定“1”与“0”后，再作概率相加并重新按概率排序得

$$U'' : (0.26 \ 0.20 \ 0.19 \ 0.18 \ 0.17) \dots$$

直到最后得 U''' : (0.61 \ 0.39)

分别给以“0”，“1”为止，如图4-4所示。}

霍夫曼编码的具体方法：先按出现的概率大小排队，把两个最小的概率相加，作为新的概率和剩余的概率重新排队，再把最小的两个概率相加，再重新排队，直到最后变成1。每次相加时都将“0”和“1”赋与相加的两个概率，读出时由该符号开始一直走到最后的“1”，将路线上所遇到的“0”和“1”按最低位到最高位的顺序排好，就是该符号的霍夫曼编码。

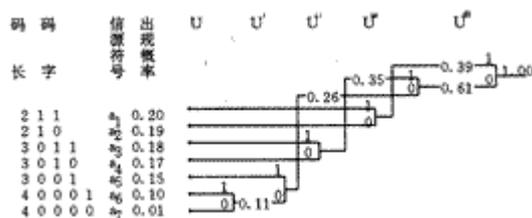


图 4-4 Huffman 编码过程

例如a7从左至右，由U至U'''，其码字为0000；

a6按路线将所遇到的“0”和“1”按最低位到最高位的顺序排好，其码字为0001...

用霍夫曼编码所得的平均比特率为： $\Sigma$ 码长×出现概率

上例为： $0.2 \times 2 + 0.19 \times 2 + 0.18 \times 3 + 0.17 \times 3 + 0.15 \times 3 + 0.1 \times 4 + 0.01 \times 4 = 2.72 \text{ bit}$

可以算出本例的信源熵为2.61bit，二者已经是很接近了。

### 4.9 运动估计的运动补偿编码

这是一种帧间编码的方法，其原理是利用帧间的空间相关性，减小空间冗余度。帧间编码为什么可以减小冗余度，这是因为两帧之间有很大的相似性。如果将前后两帧相减（移动物体作相应位移）得到的误差作编码所需比特要比帧内编码所需的比特少，帧间差集中在零附近，可以用短的码字传送。

实现帧间编码的方法是运动估计和运动补偿。用图4-5来说明这个过程。

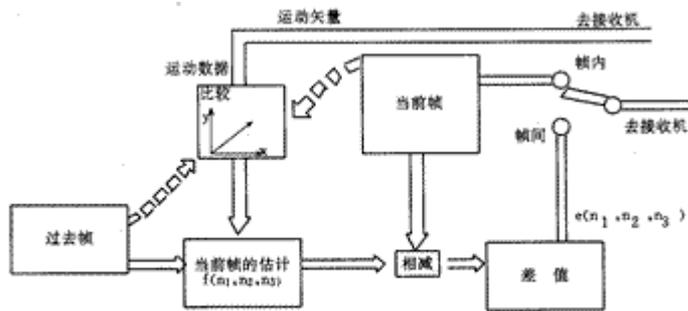


图 4-5 运动处理的过程

当前帧在过去帧的窗口中寻找匹配部分，从中找到运动矢量；  
 根据运动矢量，将过去帧位移，求得对当前帧的估计；  
 将这个估计和当前帧相减，求得估计的误差值；  
 将运动矢量和估计的误差值送到接收端去。  
 接收端根据收到的运动矢量将过去帧作位移（也就是对当前帧的估计），再加上接收到的误差值，就是当前帧了。

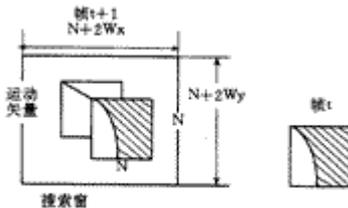


图 4-6 宏块在上一帧搜索窗内寻找匹配

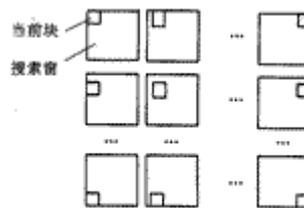


图 4-7 运动估计的全局搜索块匹配

图4-7 运动估计的全局搜索块匹配 实际上，在做运动估计和运动补偿时，是以16×16的块（称宏块）逐个进行的，如图4-6所示，这是将当前帧划分为N×N(16×16)的块。对每一块在过去帧中范围为(N+2Wy)×(N+2Wx)的范围内进行搜索，以求得最优匹配，从而得到运动矢量的估值(dx, dy)。衡量匹配好坏的准则可以是均方误差最小准则。搜索方法可以是全局搜索法，即对搜索范围内的每一点都计算均方误差，选最小值即对应最优匹配，如图4-7所示。

## 5 JPEG标准

JPEG是Joint Photographic Experts Group的缩写，主要用于计算机静止图像的压缩，在用于活动图像时，其算法仅限于帧内，便于编辑。

采用JPEG标准可以得到不同压缩比的图像，在使图像质量得到保证的情况下，可以从每个像素24bit减到每个像素1bit甚至更小。

JPEG标准所根据的算法是基于DCT(离散余弦变换)和可变长编码。系统框图如图4-8所示，从图中可见，JPEG的关键技术有变换编码、量化、差分编码、运动补偿、霍夫曼编码和游程编码等。

图4-8 JPEG系统框图 6 H. 261标准 JPEG算法的原理是利用单帧内的空间相关性,减小空间冗余度,这种方式称为帧内编码。我们知道电视图像(包括各种活动图像)各个连续帧之间也有很大的相关性,称为时间相关性。

为了进一步提高图像压缩比,要设法减小时间冗余度,这种编码方式称为帧间编码。H. 261 是用于会议电视的国际标准,既采用了帧内编码,又采用了帧间编码,因此它的压缩比大致是JPEG的三倍。H. 261标准用于音象业务的码率是 $p \times 64\text{kbps}$ ( $p=1, 2, \dots, 30$ )。用于电视电话时 $p=1$ 或 $2$ ,用于电视会议时 $p \geq 6$ 。这种标准具有最小延迟实时对话的能力。

图4-9是H. 261编码器的原理框图。从编码器中看到,它有一个和解码器一样的过程,解出的图像放在运动补偿预测器(存储器)中形成过去帧,它的输出和当前帧一起加到“运动估计”,求得的运动矢量一方面经VLC送到复用器中去,另一方面加到运动补偿预测器中,使之产生估计帧(对当前帧),它和当前帧相减即求得差值,这个差值经DCT和Q、VLC也送到复用器中去。

图4-9 H. 261编码器的原理框图 在进行帧间编码时,编码器和解码器必须使用相同的预测器,否则两者会脱轨。为了获得重建图像,被量化以后的系数要用一个反量化器和反余弦变换(IDCT)来处理,为防止编码器和解码器慢慢漂移分离,必须对误差的平均值加以严格规定,即使如此,仍然要周期地使用帧内编码,使解码器处于一个已知状态。

运动补偿单元使帧间差最小,从而减少所需传输码率。搜索窗的大小在水平和垂直方向上都是 $\pm 15$ 个采样值。通常只对亮度信号作运动估计,但运动补偿不仅作用于亮度,也作用于色度(亮度象素位移的一半)。

图4-10画出了解码器的框图。被压缩的数据送入缓冲器,然后作可变长度解码,解码器余下的部分相似于编码器的后端,仅有的区别是不再需要运动估计。运动矢量和其它附带的信息是直接来自可变长解码器的输出得到的。

在编码器的输出端有缓冲器(Buffer),这是因为编码过程产生的比特率不是恒定的,它取决于运动序列中各点的图像统计特征。在图像的“简单”部分允许节省一些比特,而在“复杂”的部分要多花一些比特。对于每一个编码图像,比特的数目也允许变更。但是在传输网络中的数据比特率又必须是恒定的,所以在视频编码器的输出端必须有数据缓冲器来提供平滑的作用。相反的,在解码器要以非恒定的速率来利用接收到的信息,所以也要包含一个解码器的缓冲器。图4-10 H. 261的解码器框图 在传输中,帧频的长期平均值是CIF的标准值,但是在短的时间间隔内帧频会有一些变化。

表4-2 CIF和QCIF格式

格式	CIF		QCIF	
	行数/帧	象素数/行	行数/帧	象素数/行
亮度(Y)	288	360(352)	144	180(176)
色度(Cb)	144	180(176)	72	90(88)
色度(Cr)	144	180(176)	72	90(88)

注: CIF和QCIF帧频是每秒30帧。

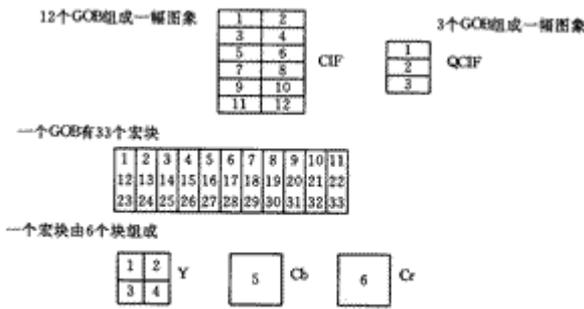


图 4-11 H.261 是由块、宏块、图像组、图像组成的

H.261的一幅图像是由块(Block)组成宏块(Macroblock)，宏块组成图像组(GOB)，图像组组成图像，如图4-11所示。两种格式的码率为：CIF：1.5~2Mbps QCIF：128kbps 7 MPEG-1和MPEG-2标准 MPEG(Moving Picture Expert Group)意思是“运动图像专家组”。这个专家组的任务是为了对数字存储媒质、电视广播、通信等方面的运动图像和伴音给出一种通用的编码方法。符合这种编码方法的MPEG用句法规定了一个层次性的结构，共分六层。这六层是图像序列(Video Sequence)-图像组(Group of Picture)-图像(Picture)-宏块条(Slice)-宏块(Macroblock)-块(Block)。一个图像包含亮度阵列和色度阵列。在MPEG-1中亮度和色度的格式是4:2:0，而在MPEG-2中，除这一格式外，还允许有4:2:2及4:4:4。

六个层次有其不同的功能，如表4-3所示。

表4-3 MPEG-1/-2规定的层次功能

语法规定的层次	功能	语法规定的层次	功能
序列层(Sequence layer)	随机存取段落	宏块条层(Slice layer)	重新同步单元
图像组层(Group of picture layer)	随机存取视频单元	宏块层(Macroblock layer)	运动补偿单元
图像层(Picture layer)	基本编码单元	块层(Block layer)	DCT单元

所谓4:2:0是指在垂直方向每隔一行去除一行色度信号。

### 7.2 MPEG-1和MPEG-2中三种类型图像

MPEG在利用块匹配运动补偿来减小时间冗余度时，不仅用上一帧的图像预测当前图像，而且也使用下一帧图像预测当前图像，即双向预测，这是和H.261标准有重要区别的地方。因此，MPEG-1和2中有三种类型图像，即I、B、P三种，如图4-12所示。

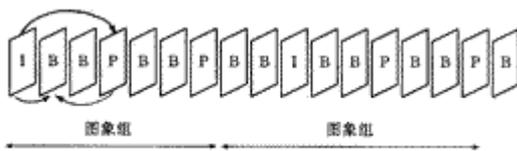


图 4-12 图像组的编码结构

I帧是帧内编码，P帧是正向预测，如图4-13所示，通过正向预测得到的图。B帧是双向预测图，如图4-14所示。由于B帧不能作其他图像的基准，所以对B帧编码较粗(步长较大)，需要比特数比预测图P少。

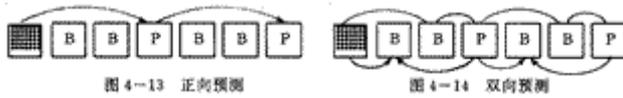


图 4-13 正向预测



图 4-14 双向预测

7.3 MPEG-1 的视频压缩编码

MPEG-1中视频编码的关键压缩技术和H. 261一样，仍是DCT、运动补偿和Huffman编码。编码器和解码器的原理框图也和H. 261没有区别。

MPEG-1的信源输入格式是SIF(Source Input Format)。CCIR601格式的信源要转换成SIF后进入MPEG-1编码器，解码器输出也是SIF格式，显示时要经内插，扩充为CCIR601格式。PAL/NT SC都作如此处理。SIF格式如表4-4所示。

表4-4 SIF(525/625) 格式

信号分量	行数/帧	象素数/行
亮度(Y)	240/288	352
色度(Cb)	120/144	176
色度(Cr)	120/144	176

图4-15所示为MPEG-1视频编码器。图中和H. 261不同的部分是有二组运动补偿和存储器，并有相应的转换开关。这是因为MPEG-1有B图像要处理。开关有4种状态，‘0’是针对帧内编码，‘2’或‘3’是用上一帧图像(经S2的虚线a/c)或用下一帧图像(经S2的实线 d/b)，‘4’是用了上一帧和下一帧两幅图像(经S2的实线b和实线c)，这时候要相应产生2个运动矢量。

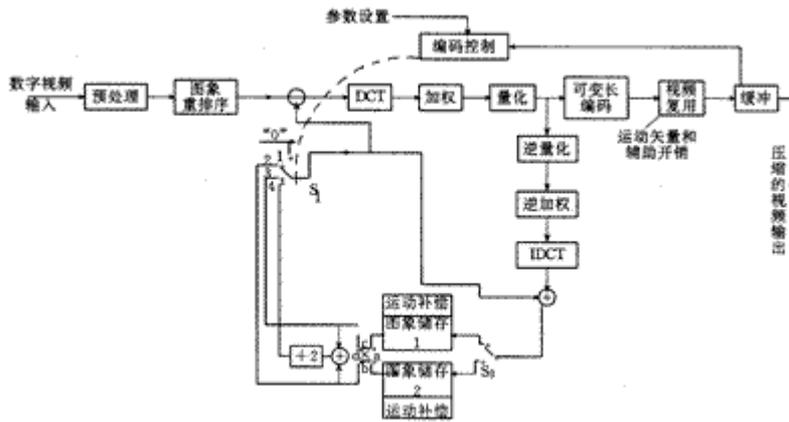


图 4-15 MPEG-1 编码器

7.4 MPEG-2 视频压缩编码

研究制定MPEG标准是为了使应用于数字存储媒体、电视广播、通信等方面的运动图像和伴音有一种通用的编码方法。使用这个标准意味着运动图像可以作为一种计算机数据来处理，并且能够存储在各种各样的存储器中，也可以在现有的或未来的网络中传送和接收，还可以在现在的或将来的广播信道中广播。

这个标准的应用很广泛，覆盖了从电视电话到高清晰度电视。

(1)划分为不同的“Profile”和“Level”（“类”和“级”）。由于想使这个标准适用于各种不同的应用，而各种应用在码率、分辨率、图像质量和服务方面要求又各不相同，所以希望这个标准要有通用性。在这个标准产生的过程中，考虑了各种应用的不同要求，开发了必要的算法，并且把它们集中成为一种单一的句法。正因为如此，这个标准使得各种不同应用的码流之间可以灵活地相互改变。

既要使句法有通用性，又不能要求具体的解码器全面满足整个句法的需要，那样具体的解码器就太复杂了。为了解决通用性和特殊性的矛盾，设想将整个ISO/IEC的句法分成子集，这样分的子集就称为Profile，我们称之为“类”。这个“类”规定的子集还觉得太大，有必要再分得细一些。例如图像的尺寸有小的，有大的，大的可大到 $2^{16} \times 2^{16}$ ，实际上不会有一个解码器能够处理这么大的动态范围的图像，因此，在Profile中又规定了“level”，称为级。

ISO/IEC13818-2(即MPEG-2视频)规定了5个类和4个级如表4-5所示。

表4-5 MPEG-2的Profile和Level

--	--	--	--	--

类级	Simple Profile	Main Profile	SNR Scalable Profile	Spatially Scalable Profile	High Profile
High Level		√			√
High-1440 Level		√		√	√
Main Level	√	√	√		√
Low Level		√	√		

注：Main Profile(主类)：图像质量合乎一定要求，允许有一定损伤，不具有可分级性；

Simple Profile (简化类)：如Main Profile相同，只是不用B帧，这是为了节约RAM；

SNR Scalable Profile(信噪比可选类)：比Main Profile改进之处是信噪比可分级；

Spatially Scalable Profile (空间尺寸可选类)：空间分辨率方面也可分级；

High Profile(高质量类)：支持4：2：2并全面可分级(宏块的组成是：4个Y块+2个Cb块+2个Cr块)；

Low Level(低级)：类似H. 261中的CIF格式；

Main Level(主级)：相应于普通电视；

High 1440 Level(高1440级)：大致相当于具有每行1440个采样的HDTV；

High Level(高级)：大致相当于每行1920个采样的HDTV。

MPEG-2格式经常用级和类的缩写表示，如：MP@ML是指主类和主级，目前用于普通数字电视、卫星、电缆、广播的DVB标准就是用这一格式。

(2) MPEG-2的编解码器和MPEG-1的异同。

①MPEG-1只处理逐行扫描的电视图像而MPEG-2既处理逐行扫描也处理隔行扫描，因此编码器中要有场/帧决策的功能；

②DCT有二种：帧DCT或场DCT；

③运动估计有四种：场预测、帧预测、双场预测和16×8的运动补偿；

④压缩编码方式均采用运动检测补偿、DCT、量化、霍夫曼编码、游程编码和VLC等。

### 7.5 MPEG-2系统

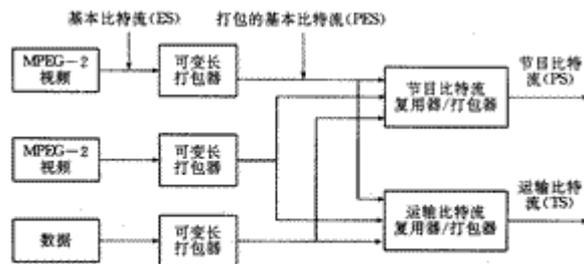


图 4-16 MPEG-2 系统框图

MPEG-2系统的作用如图4-16所示。它有以下几个任务：

(1) 对音频、视频、数据、控制等基本比特流起系统复用的作用。

(2) 提供用于恢复时间基准的时间标志，缓冲器初始化和和管理，音频和视频的解码时间，显示时间。

- (3) 给解码器提供一种信息(PSI)，使之更容易和更迅速地找到所需节目。
- (4) 给误差恢复，有条件接入，随机接入，数字存储控制提供支持。
- 视频或音频编码器的输出被打成PES(Packetised Elementary Stream)，然后在PS复用器中被组合成PS(Program Stream)或在TS复用器中被组成成TS(Transport Stream)，前者用于相对无误差的环境，后者用于有噪声媒质。

## 第五章 数字信号的载波调制

### 1 数字信号载波调制的目的

信源编码的目的是提高信源的效率，去除冗余度。信道编码的目的主要有两点：

(1) 要求码列的频谱特性适应通道频谱特性，从而使传输过程中能量损失最小，提高信号能量与噪声能量的比例，减小发生差错的可能性，提高传输效率。

(2) 增加纠错能力，使得即便出现差错，也能得到纠正。

一般传输通道的频率特性总是有限的，即有上、下限频率，超过此界限就不能进行有效的传输。如果数字信号流的频率特性与传输通道的频率特性很不相同，那么信号中的很多能量就会失去，信噪比就会降低，使误码增加，而且还会给邻近信道带来很强的干扰。因此，在传输前要对数字信号进行某种处理，减少数字信号中的低频分量和高频分量，使能量向中频集中，或者通过某种调制过程进行频谱的搬移。这两种处理都可以被看作是使信号的频谱特性与信道的频谱特性相匹配。

数字信号的载波调制是信道编码的一部份。有线电视宽带综合网是基于模拟环境下的数字信号的传输，图象数字信号不是基带传输方式而是在射频通带中传输。

为了使数字信号在带通信道中传输，必须用数字信号对载波进行调制。传输数字信号时也有三种基本调制方式：幅度键控，频移键控和相移键控，它们分别对应于用正弦波的幅度、频率和相位来传递数字基带信号。本章将主要介绍得到广泛应用的几种数字调制方法。

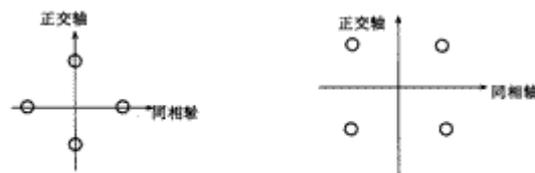


图 5-1 QPSK 信号星座图

把相继两个码元的四种组合(00, 01, 10, 11)对应于正弦波的四个相位：

$$s_i(t) = \cos(\omega_c t + Q_i)$$

其中  $i=1, 2, 3, 4$ ;  $-T/2 \leq t \leq T/2$ ;

此处  $Q_i$  可以是  $0, \pm\pi/2, \pi$  或  $\pm\pi/4, \pm3\pi/4$ ，这就是四相PSK(即QPSK)。上式也可写成：

$$s_i(t) = a_i \cos \omega_c t + b_i \sin \omega_c t$$

$$-T/2 \leq t \leq T/2;$$

相应的  $Q_i$  是  $0, \pm\pi/2, \pi$  的情况, 这时  $(a_i, b_i) = (1, 0), (0, 1), (-1, 0), (0, -1)$

而当  $Q_i$  是  $\pm\pi/4, \pm3\pi/4$  时  $(\sqrt{2}a_i, \sqrt{2}b_i) = (1, 1), (-1, 1), (-1, -1), (1, -1)$

用  $a_i, b_i$  二维平面上的点来表示, 如图5-1所示。其中水平轴  $a_i$  称为同相轴, 垂直轴  $b_i$  称为正交轴。实际上色度信号的调制就是正交振幅调制, 只不过是用连续信号去调制两个正交载波而已。粗略地说, 由于在一个时期内可以传送 2 比特数据, 相同带宽下的数码率就提高了一倍。为了避免码间干扰, 即由于通道特性而使脉冲扩展到下一判决时刻而造成干扰, 信号要按照一定的要求进行整形, 使各判决点不受相邻码的干扰, 这种处理称为均衡调整。一般采用具有升余弦频谱的特性, 这时信号的带宽会略有扩展, 因此在相同的带宽下所传输的数码率要略小于原传输数码率的一倍。

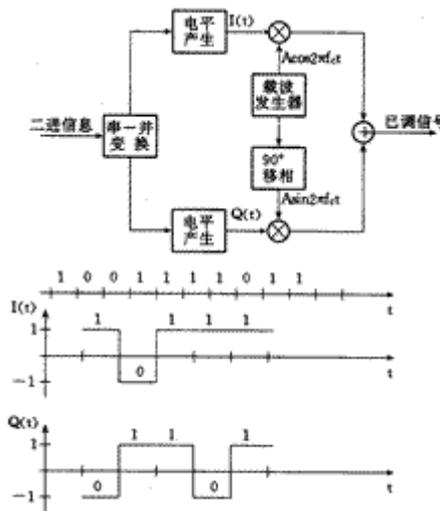


图 5-2 QPSK 正交调制器

QPSK正交调制器方框图如图5-2所示。它可以看成由两个BSPK调制器构成, 输入的串行二进制信息序列经串-并变换, 分成两路速率减半的序列, 电平发生器分别产生双极性二电平信号  $I(t)$  和  $Q(t)$ , 然后对  $\cos \omega_c t$  和  $\sin \omega_c t$  进行调制, 相加后即得到QPSK信号。图中画出了典型波形

QPSK调制方法常用于上、下通道交互式信息的传送。

### 3 正交振幅调制(QAM)

如果让  $a_i, b_i$  本身取不同的值, 所作的处理就是正交振幅调制(QAM: Quadrature Amplitude Modulation), 图5-3是16QAM和32QAM的星座图。

由图可见, 在同相轴和正交轴上的幅度电平不再是2个而是4个(16QAM)和6个(32QAM), 所能传输的数码率也将是原来的4倍到5倍(不考虑滚降因子)。但是并

不能无限制地通过增加电平级数来增加传输数码率。因为随着电平数的增加，电平间的间隔减小，噪声容限减小，同样噪声条件下误码增加。在时间轴上也会如此，各相位间隔减小，码间干扰增加，抖动和定时问题都会使接收效果变差。图5-4是64QAM的星座图，64QAM和256QAM用于下行数字电信号的传送。64QAM的频带利用率可达5bit/Hz。QAM调制器的一般方框图如图5-5所示。

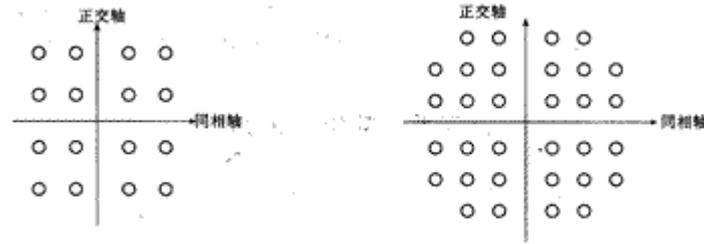


图 5-3 16QAM 和 32QAM 的星座图

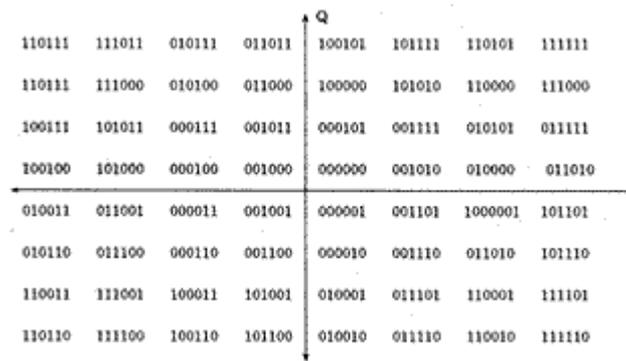


图 5-4 64QAM 星座图

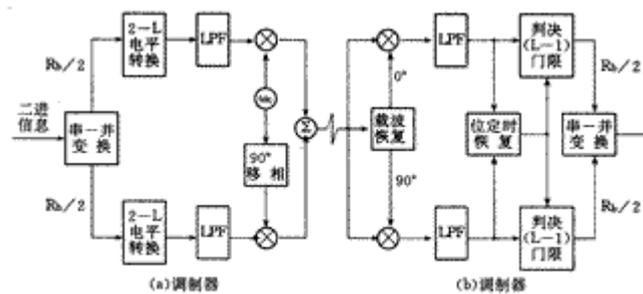


图 5-5 MQAM 调制器与解调器

串一并变换器将速率为 $R_b$ 的输入二进序列分成两个速率为 $R_b/2$ 的两电平序列，2-L电平变换器将每个速率为 $R_b/2$ 的两电平序列变成速率为 $R_b/2 \log_2 M$ 的L电平信号，然后分别与两个正交的载波相乘，相加后即产生MQAM信号。在64QAM调制时 $M=64$ 。

MQAM信号的解调同样可以采用正交的相干解调方法，其方框图也画在图5-5中。同相路和正交路的L电平基带信号用有(L-1)个门限电平的判决器判决后，分别恢复出速率等于 $R_b/2$ 的二进制序列，最后经并一串变换器将两路二进制序列合成一个速率为 $R_b$ 的二进制序列。

#### 4 正交频分复用

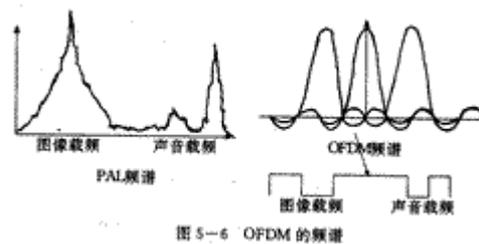


图 5-6 OFDM 的频谱

数字传输中一个很大的问题是多径问题，即电视中的重影问题。如果反射信号接近一个周期或在多个周期中心附近，会给判决带来严重的码间干扰。必须使用均衡及抽头延迟线调整等方法减轻这种干扰。使用正交频分复用(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)方法可以有效地克服反射或重影造成的影响的另一条思路，其基本方法是把原来的一个载波变成多个载波，把高数码率信号变成低数码率信号，分别调制在每个载波上。由于数码率大大降低，比特周期大大加长，因此反射波的影响就大为减小。由于OFDM各载波间是正交的，因此即使各载波间有重叠部分，解调时也能利用正交性把各载波信号分开。这样就可充分利用带宽，安排尽量多的载波。图5-6示出了OFDM的频谱，各载波间的间隔为符号周期的倒数，任一载波在其它载波位置上的值均为 $(\sin x / x)$ 。数百个甚至数千个载波产生的方法不能采用通常的锁相频率合成器，而要采用反离散付立叶变换(IDFT)来同时产生所需要数量的载波。采用这种方法的另一个好处是，要使某个位置有或没有载波很简单，只要令相应的数据为“1”或“0”。欧洲的DVB、HDTV以及DAB系统都采用OFDM调制方式。

## 第六章 差错控制

### 1 差错控制的基本概念

#### 1.1 差错的特点

由于通信线路上总有噪声存在，噪声和有用信息中的结果，就会出现差错。

噪声可分为两类，一类是热噪声，另一类是冲击噪声，热噪声引起的差错是一种随机差错，亦即某个码元的出错具有独立性，与前后码元无关。

冲击噪声是由短暂原因造成的，例如电机的启动、停止，电器设备的放弧等，冲击噪声引起的差错是成群的，其差错持续时间称为突发错的长度。

衡量信道传输性能的指标之一是误码率 $P_0$ 。

$P_0 = \text{错误接收的码元数} / \text{接收的总码元数}$

目前普通电话线路中，当传输速率在 $600 \sim 2400 \text{ bit/s}$ 时， $P_0$ 在 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 之间，对于大多数通信系统， $P_0$ 在 $10^{-5} \sim 10^{-9}$ 之间，而计算机之间的数据传输则要求误码率低于 $10^{-9}$ 。

#### 1.2 差错控制的基本方式

差错控制方式基本上分为两类，一类称为“反馈纠错”，另一类称为“前向纠错”。在这两类基础上又派生出一种称为“混合纠错”。

##### (1) 反馈纠错

这种方式是在发信端采用某种能发现一定程度传输差错的简单编码方法对所传信息进行编码，加入少量监督码元，在接收端则根据编码规则收到的编码信号进行检查，一旦检测出(发现)有错码时，即向发信端发出询问的信号，要求重发。发信端收到询问信号时，立即重发已发生传输差错的那部分发信息，直到正确收到为止。所谓发现差错是指在若干接收码元中知道有一个或一些是错的，但不一定知道错误的准确位置。图6-1给出了“差错控制”的示意方框图。

##### (2) 前向纠错

这种方式是发信端采用某种在解码时能纠正一定程度传输差错的较复杂的编码

方法，使接收端在收到信码中不仅能发现错码，还能够纠正错码。在图6-1中，除去虚线所框部分就是前向纠错的方框示意图。采用前向纠错方式时，不需要反馈信道，也无需反复重发而延误传输时间，对实时传输有利，但是纠错设备比较复杂。

### (3) 混合纠错

混合纠错的方式是：少量纠错在接收端自动纠正，差错较严重，超出自行纠正能力时，就向发信端发出询问信号，要求重发。因此，“混合纠错”是“前向纠错”及“反馈纠错”两种方式的混合。

对于不同类型的信道，应采用不同的差错控制技术，否则就将事倍功半。

反馈纠错可用于双向数据通信，前向纠错则用于单向数字信号的传输，例如广播数字电视系统，因为这种系统没有反馈通道。

## 1.3 误码控制基本原理

我们先举一个日常生活中的实例。如果你发出一个通知：“明天14:00~16:00开会”，但在通知过程中由于某种原因产生了错误，变成“明天10:00~16:00开会”。别人收到这个错误通知后由于无法判断其正确与否，就会按这个错误时间去行动。为了使收者能判断正误，可以在发通知内容中增加“下午”两个字，即改为：“明天下午14:00~16:00开会”，这时，如果仍错为：“明天下午10:00~16:00开会”，则收到此通知后根据“下午”两字即可判断出其中“10:00”发生了错误。但仍不能纠正其错误，因为无法判断“10:00”错在何处，即无法判断原来到底是几点钟。这时，收者可以告诉发端再发一次通知，这就是检错重发。为了实现不但能判断正误(检错)，同时还能改正错误(纠错)，可以把发的通知内容再增加“两个小时”四个字，即改为：“明天下午14:00~16:00两个小时开会”。这样，如果其中“14:00”错为“10:00”，不但能判断出错误，同时还能纠正错误，因为其中增加的“两个小时”四个字可以判断出正确的时间为14:00~16:00”。

通过上例可以说明，为了能判断传送的信息是否有误，可以在传送时增加必要的附加判断数据；如果又能纠正错误，则需要增加更多的附加判断数据。这些附加数据在不发生误码的情况之下是完全多余的，但如果发生误码，即可利用被传信息数据与附加数据之间的特定关系来实现检出错码和纠正错误，这就是误码控制编码的基本原理。具体地说就是：为了使信源代码具有检错和纠错能力，应当按一定的规则在信源编码的基础上增加一些冗余码元(又称监督码)，使这些冗余码元与被传送信息码元之间建立一定的关系，发信端完成这个任务的过程就称为误码控制编码；在收信端，根据信息码元与监督码元的特定关系，实现检错或纠错，输出原信息码元，完成这个任务的过程就称为误码控制译码(或解码)。另外，无论检错和纠错，都有一定的误码范围，如上例中，若开会时间错为“16:00~18:00”，则无法实现检错与纠错，因为这个时间也同样满足附加数据的约束条件，这就应当增加更多的附加数据(即冗余)。我们已知，信源编码的中心任务是消去冗余，实现码率压缩，可是为了检错与纠错，又不得不增加冗余，这又必然导致码率增加，传输效率降低；显然这是个矛盾。我们分析误码控制编码的目的，正是为了寻求较好的编码方式，能在增加冗余不多的前提下实现检错和纠错。再者，经过信源编码，如果传送信道容量与信源码率相匹配，而且信道内引入的噪声较小，则误码率一般是很低的。例如，当信道的信杂比超过20dB时，二元单极性码的误码率低于 $10^{-8}$ ，即误码率只 $10^8$ 分之一，故通过信道编码实现检错和纠错是可以做到的。

### 1.4 误码控制编码的分类

随着数字通信技术的发展，研究开发了各种误码控制编码方案，各自建立在不同的数学模型基础上，并具有不同的检错与纠错特性，可以从不同的角度对误码控制编码进行分类。

按照误码控制的不同功能，可分为检错码、纠错码和纠错删码等。检错码仅具备识别错码功能而无纠正错码功能；纠错码不仅具备识别错码功能，同时具备纠正错码功能；纠错删码则不仅具备识别错码和纠正错码的功能，而且当错码超过纠正范围时可把无法纠错的信息删除。

按照误码产生的原因不同，可分为纠正随机错误的码与纠正突发性错误的码。前者主要用于产生独立的局部误码的信道，而后者主要用于产生大面积的连续误码的情况，例如磁带数码记录中磁粉脱落而发生的信码丢失。按照信息码元与附加的监督码元之间的检验关系可分为线性码与非线性码。如果两者呈线性关系，即满足一组线性方程式，就称为线性码；否则，两者关系不能用线性方程式来描述，就称为非线性码。

按照信息码元与监督附加码元之间的约束方式之不同，可以分为分组码与卷积码。在分组码中，编码后的码元序列每 $n$ 位分为一组，其中包括 $k$ 位信息码元和 $r$ 位附加监督码元，即 $n=k+r$ ，每组的监督码元仅与本组的信息码元有关，而与其他组的信息码元无关。卷积码则不同，虽然编码后码元序列也划分为码组，但每组的监督码元不但与本组的信息码元有关，而且与前一组码组的信息码元也有约束关系。

按照信息码元在编码之后是否保持原来的形式不变，又可分为系统码与非系统码。在系统码中，编码后的信息码元序列保持原样不变，而在非系统码中，信息码元会改变其原有的信号序列。由于原有码位发生了变化，使译码电路更为复杂，故较少选用。

根据编码过程中所选用的数字函数式或信息码元特性的不同，又包括多种编码方式。对于某种具体的数字设备，为了提高检错、纠错能力，通常同时选用几种误码控制编码方式。在表6-1中，列出了常见的几种误码控制编码方式。以下，以线性分组码为例，对几种简单的编码方式进行介绍。

## 1.5 有关误码控制编码的几个基本概念

### (1) 信息码元与监督码元

信息码元又称信息序列或信息位，这是发端由信源编码后得到的被传送的信息数据比特，通常以 $k$ 表示。由信息码元组成的信息组为：

$M = (m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_0)$  在二元码情况下，每个信息码元 $m$ 的取值只有0或1，故

总的信息码组数共有 $2^k$ 个，即不同信息码元取值的组合共有 $2^k$ 组。

监督码元又称监督位或附加数据比特，这是为了检纠错码而在信道编码时加入的判断数据位。通常以 $r$ 表示，即为：

$$n = k + r \text{ 或 } r = n - k$$

经过分组编码后的码又称为 $(n, k)$ 码，即表示总码长为 $n$ 位，其中信息码长(码元数)为 $k$ 位，监督码长(码元数)为 $r = n - k$ 。通常称其为长为 $n$ 的码字(或码组、码矢)。

### (2) 许用码组与禁用码组

信道编码后的总码长为 $n$ ，总的码组数应为 $2^n$ ，即为 $2^{k+r}$ 。其中被传送的信息码组有 $2^k$ 个，通常称为许用码组；其余的码组共有 $(2^n - 2^k)$ 个，不传送，称为禁用码组。发端误码控制编码的任务正是寻求某种规则从总码组( $2^n$ )中选出许用码组；而收端译码的任务则是利用相应的规则来判断及校正收到的码字符号许用码组。通常又把信息码元数目 $k$ 与编码后的总码元数目(码组长度) $n$ 之比称为信道编码的编码效率或编码速率，表示为：

$$R = k/n = k/(k+r)$$

这是衡量纠错码性能的一个重要指标，一般情况下，监督位越多(即 $r$ 越大)，检纠错能力越强，但相应的编码效率也随之降低了。

### (3) 码重与码距

在分组编码后，每个码组中码元为“1”的数目称为码的重量，简称码重。两个码组对应位置上取值不同(1或0)的位数，称为码组的距离，简称码距，又称汉明距离，通常用 $d$ 表示。例如：000与101之间码距 $d=2$ ；000与111之间码距 $d=3$ 。对于 $(n, k)$ 码，许用码组为 $2^k$ 个，各码组之间距离最小值称为最小码距，通常用 $d_0$ 表示。码距又称汉明距。

最小码距 $d_0$ 的大小与信道编码的检纠错能力密切相关。以下举例说明分组编码的最小码距与检纠错能力的关系。

设有两个信息A和B，可用1比特表示，即0表示A，1表示B，码距 $d_0=1$ 。如果直接传送信息码，就没有检纠错能力，无论由1错为0，或由0错为1，收端都无法判断其错否，更不能纠正，因为它们都是合法的信息码(许用码)。这可用图6-2来说明。由图中看出，A与B之间最小码距为1，只要发生一位误码就会变成另一个许用码，无法检纠其错误。

如果在这两个信息A和B经过信道编码，增加1比特监督码元，得到 $(2, 1)$ 码组，即： $n=2$ 、 $k=1$ 、 $r=n-k=1$ ，就具有检错能力，由图6-3来说明。

由于 $n=2$ ，故总码组数为 $2^2=4$ ，由于 $k=1$ ，故许用码组数 $2^1=2$ ，其余为禁用码组。由图中看出，许用码组有两种选择方式，即00与11，或01与10，其结果是相同的，只是信息码元与监督码元之间的约束规律不同。现采用信息码元重复一次得到许用码组的编码方式，故许用码组为00表示A，11表示B。这时A和B都具有1位检错能力，因为无论A(00)或B(11)如果发生一位错码，必将变成01或10，这都是禁用码组，故收端完全可以按不符合信息码重复一次的准则来判断为误码。但却不能纠正其错误，因为无法判断误码(01或10)是A(00)错误造成还是B(11)错误造成，即无法判定原信息是A或B，或说A与B形成误码(01或10)的可能性(或概率)是相同的。由图6-3中又可看出，如果产生二位错码，即00错为11，或11错为00，结果将从一个许用码组变成另一个许用码组，收端就无法判断其错否。通常用 $e$ 表示检错能力(位数)，用 $t$ 表示纠错能力(位数)。由上述分析可知，

当 $d_0=2$ 的情况下，码组的检错能力 $e=1$ ，纠错能力 $t=0$ 。

为了提高检纠错能力，可对上述二个信息A和B经过信道编码增加2比特监督码元，得到(3, 1)码组，即 $n=3$ 、 $k=1$ 、 $r=n-k=2$ ，总的码组数为 $2^n = 2^3 = 8$ ，由图6-4来说明其检纠错能力。

信道编码后，许用码组之间的最小码距 $d_0$ 越大，检纠错的能力就越高。此例中由于 $k=1$ ， $2^k = 2^1 = 2 = 2$ ，故只有2个许用码组，其余6个为禁用码组。由图中可以看出，满足最小码距为最大的条件共有4种选择方式，即为(000与111)、(001与110)、(010和101)、(011与100)，这四种选择方式具有相同的最小码距，故其抗干扰能力或检纠错能力也相同。为了编码直接、简便，选择二重重复编码方式，即按信息码元重复二次的规律来产生许用码组，编码结果为000表示A，111表示B，由图中黑点代表，A与B之间的码距 $d_0=3$ 。

由图中可以看出，这时的两个许用码组A或B都具有一位纠错能力。例如，当信息A(000)产生一位错误时，将有三种误码形式，即001或010或100，这些都是禁用码组，可确定是误码。而且这三个误码距离最近的许用码组的000，与另一个许用码组111的距离较远，根据误码少的概率大于误码多的概率的规律，可以判定原来的正确码组是000，只要把误码中的1改为0即可得到纠正。同理，如果信息B(111)产生一位错误时，则有另三种误码可能产生，即110或101或011，根据同样道理可以判定原来的正确码组是111，并能纠正错误。但是，如果信息A(000)或信息B(111)产生两位错误时，虽然能根据出现禁用码组识别其错误，但纠错时却会作出错误的纠正造成误纠错。如果信息A(000)或信息B(111)产生三位错误时，将从一个许用码组A(或B)变成了另一个许用码组B(或A)，这时既检不出错，更不会纠错了，因为误码已成为合法组合的许用码组，译码后必然产生错误。

综上所述，可以得到分组编码最小码距与检纠错能力的关系有以下三条结论：

①在一个码组内为了检测 $e$ 个误码，要求最小码距应满足：

$$d_0 \geq e + 1$$

②在一个码组内为了纠正 $t$ 个误码，要求最小码距应满足：

$$d_0 \geq 2t + 1$$

③在一个码组内为了纠正 $t$ 个误码，同时能检测 $e$ 个误码( $e > t$ )，要求最小码距应满足：

$$d_0 \geq e + t + 1$$

## 2 纠错编码方式简介

### 2.1 奇偶监督码

奇偶校验码也称奇偶监督码，它是一种最简单的线性分组检错编码方式。其方法是首先把信源编码后的信息数据流分成等长码组，在每一信息码组之后加入一位(1比特)监督码元作为奇偶检验位，使得总码长 $n$ (包括信息位 $k$ 和监督位1)中的码重为偶数(称为偶校验码)或为奇数(称为奇校验码)。如果在传输过程中任何一个码组发生一位(或奇数位)错误，则收到的码组必然不再符合奇偶校验的规律，因此可以发现误码。奇校验和偶校验两者具有完全相同的工作原理和检错能力，原则上采用任一种都是可以的。

由于每两个1的模2相加为0，故利用模2加法可以判断一个码组中码重是奇数或是偶数。模2加法等同于“异或”运算。现以偶监督为例。

对于偶校验，应满足

$$a_{n-1} \oplus a_{n-2} \oplus \cdots \oplus a_1 \oplus c_0 = 0$$

故监督位码元 $a_0$ 可由下式求出：

$$c_0 = a_1 \oplus a_2 \oplus \dots \oplus a_{n-2} \oplus c_{n-1} \quad (2-2)$$

不难理解，这种奇偶校验编码只能检出单个或奇数个误码，而无法检知偶数个误码，对于连续多位的突发性误码也不能检知，故检错能力有限，另外，该编码后码组的最小码距为  $d_0 = 2$ ，故没有纠错码能力。

奇偶监督码常用于反馈纠错法。

### 2.2 行列监督码

行列监督码是二维的奇偶监督码，又称为矩阵码，这种码可以克服奇偶监督码不能发现偶数个差错的缺点，并且是一种用以纠正突发差错的简单纠正编码。

其基本原理与简单的奇偶监督码相似，不同的是每个码元要受到纵和横的两次监督。具体编码方法如下：将若干个所要传送的码组编成一个矩阵，矩阵中每一行为一码组，每行的最后加上一个监督码元，进行奇偶监督，矩阵中的每一列则由不同码组相同位置的码元组成，在每列最后也加上一个监督码元，进行奇偶监督。如果用×表示信息位，用表示监督位，由矩阵码的结构可如图6-5所示，这样，它的一致监督关系按行及列组成。每一行每一列都是一个奇偶监督码，当某一行(或某一列)出现偶数个差错时，该行(或该列)虽不能发现，但只要差错所在的列(或行)，没有同时出现偶数个差错，则这种差错仍然可以被发现。矩阵码不能发现的差错只有这样一类：差错数正好为4倍数，而且差错位置正好构成矩形的四个角，如图6-5中所示有⊗的差错情况。因此，矩阵码发现错码的能力是十分强的，它的编码效率当然比奇偶监督码要低。

### 2.3 恒比码

恒比码又称为定比码。在恒比码中，每个码组“1”和“0”都保持固定的比例，故得此名。这种码在检测时，只要计算接收到的码组中“1”的数目是否对就知道有无错误。在我国用电传机传输汉字时，只使用阿拉伯数字代表汉字。这时采用的所谓“保护电码”就是“3：2”或称“5中取3”的恒比码，即每个码组的长度为5，其中“1”的个数总是3，而“0”的个数总是2。如表6-2所示。

表 6-2

数字字符	普通的五单位码	恒比码
1	11101	01011
2	11001	11001
3	10000	10110
4	01010	11010
5	00001	00111
6	10101	10101
7	11100	11100
8	01100	01110
9	00011	10011
0	01101	01101

本来以5位码元组成的码组总共可以有  $2^5=32$ 种，而恒比码规定只有确切地含有3个“1”，2个“0”的那些码组为准用码组，而有3个“1”，2个“0”的5位

码组共有多少?这是“5中取3”求组合的算法，组合数为  $c_3^5 = \frac{5!}{(5-3)!3!} = 10$ ，一般情况下，从“n中取m”(m<n)恒比码的码组数为：

$$c_n^m = \frac{n!}{(n-m)!m!}$$

由此可以看出，恒比码实际上是n个码元传送  $\log_2 C_n^m$  比特信息，例如上述“3：2”即“5中取2”恒比码，用5位码只传10种信息。每个码组的信息量为  $\log_2 10 = 3.3\text{bit}$ ，有  $5 - 3.3 = 1.7\text{bit}$  作为代价付出。

恒比码适用于传输字母和符号。

### 2.4 汉明码

汉明码属于线性分组编码方式，大多数分组码属于线性编码，其基本原理是，使信息码元与监督码元通过线性方程式联系起来。线性码建立在代数学群论的基础上，各许用码组的集合构成代数学中的群，故又称为群码。

#### (1) 校验子和监督关系式

我们先回顾一下按式(2-2)条件构成的偶数监督码。由于我们使用了一位监督码  $C_0$ ，它就能和信息码  $a_{n-1} \dots a_1$  一起构成一个代数式，在接收端解码时，我们实际上是在计算，  

$$s = a_{n-1} \oplus a_{n-2} \oplus \dots \oplus a_1 \oplus c_0$$

若  $S=0$ ，就认为无错码。若  $S=1$ ，就认为有错码。上式就是一致监督关系式。S称为“校验子”。由于校验子S的取值只有这样两种，它就只能代表有错和无错两种信息，而不能指出错码的位置。我们不难推想，如监督位增加一位，变成两位，则能增加一个类似于式(2-3)的监督关系式。两个校验子的可能值有4种组合00, 01, 10, 11。故能表示4种不同的信息，其中一种表示无错，其余三种就有可能用来指示一位错码的3种不同位置。同理，r个监督关系式能指示一位错码的  $(2^r - 1)$  个可能位置。

一般说来，若码长为n，信息码为k，则监督码数  $r = n - k$ 。若希望用r个监督码构造出r个监督关系式来指示一位错码的n种可能位置，则要求：

$2^r - 1 \geq n$  或  $2^r \geq k + r + 1$  下面通过一个例子来说明如何具体构造这些监督关系式。

设分组码(n、k)中  $k=4$ ，为了能纠正一位错码，按式(2-4)可知，要求监督码数  $r \geq 3$ ，现取  $r = 3$ ，则  $n = k + r = 4 + 3 = 7$ ，这是一种(7、4)分组码。我们用  $a_6 a_5 \dots a_2 a_1 c_0$  表示这7个码元， $c_0, a_3, a_4, a_6$ ，表示三个监督关系式中的校验子，则  $c_0, a_3, a_4, a_6$  的值与错码位置的对应关系可以规定如表6-3，(当然也可以规定成另一种对应关系，这不影响讨论一般性)。

按表6-3的规定，仅当有一个错码位置在  $c_2, a_4, a_5, a_6$  时，校验子  $S_1$  为1，否则  $S_1$  为0，这就意味着  $c_2, a_4, a_5$  和  $a_6$  四个码元构成偶数监督关系：

$s_1 s_2 s_3$	错码位置	$s_1 s_2 s_3$	错码位置
001	$c_2, c_1$ 和 $c_0$	101	$c_2, c_1 c_0$
010		110	
100		111	
011		000	无错码

$$s_1 = a_6 \oplus a_5 \oplus a_4 \oplus c_2$$

同理， $c_1, a_3, a_5$  和  $a_6$  构成偶数监督关系：

$$s_2 = a_6 \oplus a_5 \oplus a_3 \oplus c_1$$

以及  $c_0, a_3, a_4, a_6$  构成偶数监督关系:

$$s_3 = a_6 \oplus a_4 \oplus a_3 \oplus c_0$$

(2) 监督码的确定

在发送端编码时, 信息码  $a_6, a_5, a_4$  和  $a_3$  的值决定于输入信号, 是随机的。而监督码  $c_2, c_1, c_0$  则应根据信息码的取值按监督关系式决定。即监督码的取值应使上三式中  $c_0, a_3, a_4, a_6$  的值为0, 表示编成的码组中无错码:

$$\left. \begin{aligned} a_6 \oplus a_5 \oplus a_4 \oplus c_2 &= 0 \\ a_6 \oplus a_5 \oplus a_3 \oplus c_1 &= 0 \\ a_6 \oplus a_4 \oplus a_3 \oplus c_0 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

由上式移项解出监督码: (在模2加法中, 移项后没有负号)

$$\left. \begin{aligned} a_6 \oplus a_5 \oplus a_4 \oplus c_2 &= 0 \\ a_6 \oplus a_5 \oplus a_3 \oplus c_1 &= 0 \\ a_6 \oplus a_4 \oplus a_3 \oplus c_0 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

已知信息码后, 直接按上式可算出监督码, 计算结果得出16个码组列于表6-4中。

信息码	监督码	信息码	监督码
$c_6 c_5 c_4 c_3$	$s_1 s_2 s_3$	$c_6 c_5 c_4 c_3$	$s_1 s_2 s_3$
0000	000	1000	111
0001	011	1001	100
0010	101	1010	010
0011	110	1011	001
0100	110	1100	001
0101	101	1101	010
0110	011	1110	100
0111	000	1111	111

(3) 解码过程

接收端收到每个码组后, 按下述顺序解码。先按式(2-4)~(2-6)计算出  $c_0, a_3, a_4, a_6$  再按表6-3判断错误情况。例如, 若接收码组为0000011, 按式(2-4)~(2-6)计算得:  $s_1 = 0, s_2 = 1, s_3 = 1$ , 由于  $s_1 s_2 s_3 = 011$ , 查表6-3可

知有一错码为 $a^3$ 。(4)汉明码的效率 汉明码的编码效率  $\eta=1-r/n$  当 $n$ 很大时,效率是很高的。

## 2.5 循环码(CRC)

(1)循环码是一种重要的线性码,它有三个主要数学特征:

①循环码具有循环性,即循环码中任一码组循环一位(将最右端的码移至左端)以后,仍为该码中的一个码组。

②循环码组中任两个码组之和(模2)必定为该码组集合中的一个码组。

③循环码每个码组中,各码元之间还存在一个循环依赖关系, $b$ 代表码元,则有

$$b_i = b_{i+4} \oplus b_{i+2} \oplus b_{i+1}$$

(2)用多项式码作为检验码的编解码过程

用多项式码作为检验码时,发送器和接收器必须具有相同的生成多项式(Generator Polynomial) $G(x)$ ,其最高、最低项系数必须为1。CRC编码过程是将要发送的二进制序列看作是多项式的系数,除以生成多项式,然后把余数挂在原多项式之后。CRC译码过程是接收方用同一生成多项式除以接收到的CRC编码,若余数为零,则传输无错。

编码译码方法:

①令 $r$ 为生成多项式 $G(x)$ 的阶,将 $r$ 个“0”附加在信息(数据)元的低端,使其长度变为 $k+r$ 位,相应于多项式 $x^r * m(x)$ ;

② $x^r * m(x) \div g(x) [\text{mod } 2]$ ,得余数;

③ $x^r * m(x)$ 与余数对应位异或,得编码信息 $T(x)$ 。

例 数据信息

数据信息	1101011011	$M(X)$
生成式	10011	$G(X), R=4$
加4个“0”之后	11010110110000	$x^r * m(x)$
$x^r * m(x) / G(X)$	1110	余数
待发送的编码	11010110111110	$T(X)$

④接收器收到发来的编码信息后,用同一个生成多项式 $G(x)$ 除以编码信息,若余数为零,则表示接收到正确的编码信息,否则有错。

⑤把收到的正确编码信息 $T(x)$ 去掉尾部 $r$ 位，即得数据信息 $M(x)$ 。

(3) 多项式码检错能力及生成多项式 $G(x)$ 的选择原则

设接收到的信息不是发送的编码信息 $T(x)$ ，而是 $T(x)+E(x)$ 。

例 有差错的编码信息为

$$1001001011 \quad T(x)+E(x)=T(x)+E(x)$$

其中，1101011011 为 $T(x)$

0100010000 为 $E(x)$

若接收到的有差错的编码信息为 $T(x)+E(x)$ ，用 $G(x)$ 除以 $T(x)+E(x)$ ，则得余数为 $E(x)/G(x)$ 的余数，因为 $T(x)/G(x)$ 余数为零，所以

$$[T(x)+E(x)] / G(x) = E(x)/G(x)$$

这时应该有余数，若无余数则检不出错。

有 $r$ 位校验位的多项式码将能检测所有 $\leq r$ 位的突发错，故只要 $k-1 < r$ ，就能检测出所有突发错，这是一个很有用的结论。

生成多项式 $G(x)$ 的国际标准有：

$$\text{CRC-12} \quad g(x) = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$$

$$\text{CRC-16} \quad g(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$\text{CRC-CCITT} \quad g(x) = x^{16} + x^{12} + x^{5+1}$$

CRC-16和CRC-CCITT两种生成多项式生成的CRC码可以捕捉一位错、二位错、具有奇数个错的全部错误，可以捕捉突发错长度小于16的全部错误、长度为17的突发错的99.998%、长度为18以上的突发错的99.997%。CRC-16和CRC-CCITT可以用硬件实现。

(4) CRC编码硬件电路的实现

设 数据1010

$$\text{多项式} \quad m(x) = x^3 + x$$

生成多项式系数1011

$$\text{多项式} \quad x^r * m(x)$$

系数1010000

$$\text{多项式 } x^7 \div x^3(x) = x^6 + x^4$$

余式系数011

多项式k(X)=X+1

CRC编码

1010	001
信息	监督

信息组从高位端输入的CRC编码电路，如图6—6所示，其工作原理是：首先门1关闭，门2开通，依次输入的信息元1010一面经或门H直接输出，同时送往除法电路进行除法运算。4次移位后除法电路完成了运算，得余式系数为“011”，即为监督元。第5个移位脉冲开始门1开通，门2关闭，断开了反馈，移位3次把移位寄存器中的3位余项作为监督元附在信息元后面，发出的码字就是1010011，最后门1关闭，门2开通，对下一信息组再行编码。有关工作过程见表6—5

表6—5 图6—6所示电路的工作过程

移动脉冲	输入	$A_1B_2...M_1A_2B_2...M_2A_NB_N...M_N$	输出	注	
(初始状态)		000	1 } 0 } 信息位 1 } 0 }	} 门1 关闭	
1	1	011			} 门2 打开
2	0	110		0 } 0 } 监督位 1 } 1 }	
3	1	100			} 门2 关闭
4	0	011			
5	0	110			
6	0	100			
7	0	000			

## 2.6 RS码(Reed—Solomon—里德—索罗门码)

RS码是一种重要的线性分组编码方式。它对突发性错误有较强的纠错能力，被DVB标准采用。

(1)在RS编码过程中，各符号不是直接出现，而是每个符号要乘以某个基本元素的幂次方后再模2加，如图6—7所示。

(2)在循环码中欲检查是否有错是用码字除一个多项式，而在RS码中，欲检出一系列误码则需要用码字除一定数量的一次多项式。如果要纠正七个错误，那么码字必须被 $2t$ 个不同的一次多项式整除，例如被 $x+a^{-n}$ 的一次多项式整除，这里的 $n$ 取值直到 $2t$ 的所有整数值， $a$ 是基本元素，例如 $a$ 为010，输入5个符

号，每个符号3比特，与相应的元素相乘 后直接模2加输出，因为有两种系数，所以得到二个校验子，两个校验式为：

$$s_0 = A \oplus B \oplus C \oplus E \oplus P \oplus Q$$

$$S_1 = a^7 A \oplus a^6 B \oplus a^5 C \oplus a^4 D \oplus a^3 E \oplus a^2 P \oplus a Q = 0$$

(3)下面举一个简单例子说明纠错过程在无差错时， $S_0=0, S_1=0$ ，有如下关系：

码字	A	101	$a^7 A = 101$	式中
	B	100	$a^6 B = 010$	$a = 010$
	C	010	$a^5 C = 101$	$a^2 = 100$
	D	100	$a^4 D = 101$	$a^3 = 011$
	E	111	$a^3 E = 010$	$a^4 = 110$
	P	100	$a^2 P = 110$	$a^5 = 111$
	Q	100	$a Q = 011$	$a^6 = 101$
	$S_{0=}$	000	$S_1 = 000$	$a^7 = 001 = 1$

当接收到的符号有错时通过计算也可以得到与符号有关的错误图形，这时有错的码加撇， $S_0$ 是错误图形，真正的 $D=D' + S_0=101+001=100$ 。但错误的位置将由  $S_1$  决定，这要利用  $S_1$ 和 $S_2$ 的关系。

A	101	$a^7 A$	
B	100	$a^6 B$	$S_0 = 001 = a^7 = 1$
C	010	$a^5 C$	$s_1 = 110 = a^4$
D	101	$a^4 D'011$	$\frac{s_1}{s_0} = \frac{a^4}{1} = a^4$
E	111	$a^3 E$	$\therefore k = 4$
P	100	$a^2 P$	
Q	100	$a Q$	$D = D'+S_0 = 101+001 = 100$
$S_{0=}$	001	$S_1 = 110$	

校验子的增加导致纠错能力的加强，通过  $S_1$ 和 $S_2$ 的运算可以确定差错的位子，并予以纠正。 尽管  $S_1$ 和 $S_2$ 都是同一个错误的不同图形，但因  $S_1$ 是乘 $a^k$ 次方的各接收符号模2加得 到的，而  $s_1 \div s_0 = a^k$ 的k恰好是乘  $2^k$ 的那一个符号。

(4)RS码的生成多项式

从上面的例子可以看出，为了纠正一个符号错，要2个符号的检测码，一个

用来确定位置，一个用来纠错。一般来说纠 $t$ 个错误需要 $2t$ 个检验符，这时要计算 $2t$ 个等式，确定 $t$ 个位置和 纠 $t$ 个错。能纠 $t$ 个符号的RS码生成多项式为

$$g(x) = (x + \alpha^0)(x + \alpha^1)(x + \alpha^2) \cdots (x + \alpha^{2t-1})$$

按照DVB的CATV标准

RS码生成多项式为：

$$g(x) = (x + 2^0)(x + 2^1)(x + 2^2) \cdots (x + 2^{15})$$

RS码为： RS(204, 188, 8)

即分组码符号长度为204个，188个信息符号，可纠错8个。

## 2.7 连环码(卷积码)

连环码是一种非分组码，通常它更适用于前向纠错法，因为其性能对于许多实际情况常优于 分组码，而且设备简单。这种连环码在它的信码元中也有插入的监督码元但并不实行分组监督，每一个监督码元都要 对前后的信息单元起监督作用，整个编解码过程也是一环扣一环，连锁地进行下去。这种码 提出至今还不到三十年，但是近十余年的发展表明，连环码的纠错能力不亚于甚至优于分组 码。这一小节只介绍一种最简单的连环码，以便了解连环码的基本概念。图6-8是连环码的一种最简单的编码器。它由两个移位寄存器，一个模2加法器及一个电 子开关组成。工作过程是：移位寄存器按信息码的速度工作，输入一位信息码，电子开关倒 换一次，即前半拍接通a端，后半拍接通b端。因此，若输入信息为 $a_0a_1a_2a_3$ ，则 输出连环码为 $a_0b_0a_1b_1a_2b_2a_3b_3\dots$ ，其中“b”为监督码元。按图6-8 结构可得：

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= a_0 + a_1 \\ b_2 &= a_1 + a_2 \\ b_3 &= a_2 + a_3 \\ b_4 &= a_3 + a_4 \\ &\dots \\ b_i &= a_{i-1} + a_i \end{aligned} \right\} \text{模2}$$

可见，这个连环码的结构是：“信息码元某、监督码元、信息码元、监督码元…”一个信息 码与一个监督码组成一组，但每组中的监督码除了与本组信息码有关外，还跟上一组的信息 码有关，或者用另一种说法，每个信息码除有本组监督码外，还有下一组的监督码与它有 关系。因此，这种编码就像一根链条，一环扣一环，连环码即由此得名。在解码过程中，首先将接收到的信息码与监督码分离。由接收到的信息码再生监督码，这个 过程与编码器相同，再将此再生监督码与接收到的监督码比较，判断有无差错。分布在相 邻的三组码内可纠正一位差错。

## 2.8 交织法

交织法的原理见图6—9。在发送端，编码序列在送入信道传输之前先通过一个“交织寄存器矩阵。”将输入序列逐行(即按 $A_1A_2\dots A_NB_1B_2\dots B_N\dots M_1M_2\dots M_N$ 的次序)存入寄存器矩阵，存满以后，按列的次序(即 $S_1$ 和 $S_2$ )取出，再送入传输信道。接收端收到后先将序列存到一个与发端相同的交织寄存器矩阵，但按列的次序存入，存满以后，按行的次序取出然后送进解码器。由于收发端存取的程序正好相反，因此，送进解码器的序列与编码器输出的序列次序完全相同，解码器丝毫感觉不出交织矩阵的存在与否。

假设交织矩阵每行的寄存器数目 $N$ 正好等于分组码的码长，传输过程中产生的成群差错长度，亦正好等于交织矩阵每列寄存器的数目 $M$ 。图6—10表明，由于交织措施，送入解码器的差错被分解开了，每组只分配到一个。因此，如果所采用的分组码能纠正一差错；那么长度为 $M$ 的成群差错就可全部纠正，可见，交织法结合纠正离散差错的简单编码就可完成纠正群差错的任务。

## 第七章 数据通信与分组交换

### 1 数据通信概述

#### 1.1 数据通信的定义和特点

在电信领域中，信息一般可分为语音、数据和图像三大类型。数据是具有某种含义的数字信号的组合，如字母、数字和符号等。这些字母、数字和符号在传输时，可以用离散的数字信号逐一准确地表达出来，例如可以用不同极性的电压、电流或脉冲来代表。将这样的数字信号加到数据传输信道上进行传输，到达接收地点后再正确地恢复出原始发送的数据信息。

我们知道计算机的输入输出都是数据信号，而数据通信就是以传输数据为业务的一种通信方式，因此是计算机和通信相结合的产物；是计算机与计算机，计算机与终端以及终端与终端之间的通信；是按照某种协议连接信息处理装置和数据传输装置，进行数据的传输及处理。计算机与通信相结合，克服了时间和空间上的限制，使人们可以利用终端在远距离共同使用计算机，提高了计算机的利用率，使计算机的应用范围扩大到各个社会生活领域，从而使信息化社会进一步向前推进。

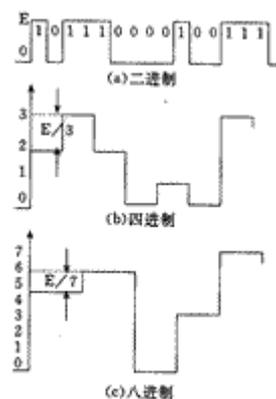


图 7-3 二进制与多进制波形示意图

数据通信和电报、电话通信相比，数据通信有如下特点：

(1) 数据通信是人—机或机—机通信，计算机直接参与通信是数据通信的重要特征；

- (2) 数据传输的准确性和可靠性要求高；
- (3) 传输速率高，要求接续和传输响应时间快；
- (4) 通信持续时间差异大。

数据通信的发展与原有通信网资源有着密切的关系。在发展初期，主要利用专线构成多种专用系统。这一阶段发展速度很快，致使租用线路紧张，不能满足使用要求，因此就开始考虑利用电报、电话网进行数据通信。60年代初，美国首先对电话网进行调查、测试和研究，在电话网上开放了数据业务，到60年代中期，西欧、日本等技术先进的国家也先后在电话网上开放了数据业务。以后，随着数据业务的增长和通信技术的发展，到70年代，一些国家才逐步建立公用数据网。

## 1.2 数据通信系统的构成

研究数据通信系统包括两方面内容，一方面研究信道的组成、连接、控制及其使用；另一方面研究信号如何在信道上传输和控制。

任何一个数据通信系统都是由终端、数据电路和计算机系统三种类型的设备组成的。图7-1 是数据通信系统的基本构成。由图可看出，远端的数据终端设备(DTE)通过数据电路与计算机系统相连。数据电路由传输信道和数据电路终接设备(DCE)组成。如果传输信道是模拟信道，DCE的作用就是把DTE送来的数据信号变换为模拟信号再送往信道，或者反过来，把信道送来的模拟信号变换成数据信号再送到DTE。如果信道是数字的DCE的作用就是实现信号码型与电平的转换、信道特性的均衡，收发时钟的形成与供给以及线路接续控制等等。

传输信道从不同角度有不同的分类方法，如有模拟信道与数字信道之分，有专用线路和交换网线路之分，有有线信道和无线信道之分，有频分信道和时分信道之分等等。

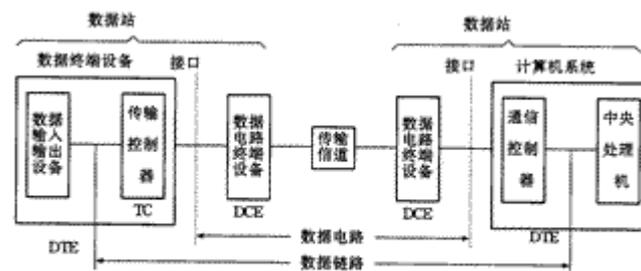


图7-1 数据通信系统的基本构成

数据通信和传统的电话通信的重要区别之一是，电话通信必须有人直接参加，摘机拨号，接通线路，双方都确认后才开始通话。在通话过程中有听不清楚的地方还可要求对方再讲一遍，等等。在数据通信中也必须解决类似的问题，才能进行有效的通信。但由于数据通信没有人直接参加，就必须对传输过程按一定的规程进行控制，以便使双方能协调可靠地工作，包括通信线路的连接，收发双方的同步，工作方式的选择，传输差错的检测与校正，数据流的控制，数据交换过程中可能出现的异常情况的检测和恢复，这些都是按双方事先约定的传输控制规程来完成的，具体由图7-1中的传输控制器和通信控制器来完成。从图7-1中还可看到，数据电路加上传输控制规程就是数据链路。实际上，通信双方要真正有效地进行数据传输，必须在建立数据链路之后。正是由于数据链路要遵循严格的传输控制规程，使得它所提供的数据传输质量要比数据电路所提供的数据传输质量好得多。例如，后者的平均误码率为，而前者为 $10^{-8} \sim 10^{10}$ 。

### 1.3 数据通信的工作方式

根据数据电路的传输能力，数据通信可以有单工、半双工和全双工三种通信方式。

(1)单工：两地间只能在一个指定的方向上进行传输，一个数据站固定作为数据源，而另一个固定作为数据宿。在二线连接时可能出现这种工作方式。

(2)半双工：两地间可以在两个方向上进行传输，但两个方向的传输不能同时进行，利用二 线电路在两个方向上交替传输数据信息。由A到B方向一旦传输结束，为使信息从B传送到A， 线路必须倒换方向。这种换向动作是由调制解调器完成的。

(3)全双工：两地间可以在两个方向上同时进行传输。在四线连接中均采用这种工作方式。 在二线连接中，采用某些技术(如回波消除，频带分割)也可以进行双工传输。

### 1.4 数据传输方式

#### (1)并行传输与串行传输

并行传输指的是数据以成组的方式，在多条并行信道上同时进行传输。常用的就是将构成一个字符代码的几位二进制码，分别在几个并行信道上进行传输。例如，采用8单位代码的字符，可以用8个信道并行传输。一次传送一个字符，因此收、发双方不存在字符的同步问题，不需要另加“起”、“止”信号或其他同步信号来实现收、发双方的字符同步，这是并行传输的一个主要优点。但是，并行传输必须有并行信道，这往往带来了设备上或实施条件上的限制，因此，实际应用受限。

串行传输指的是数据流以串行方式，在一条信道上传输。一个字符的8个二进制代码，由高位到低位顺序排列，再接下一个字符的8位二进制码，这样串接起来形成串行数据流传输。串行传输只需要一条传输信道，易于实现，是目前主要采用的一种传输方式。但是串行传输存在一个收、发双方如何保持码组或字符同步的问题，这个问题不解决，接收方就不能从接收到的数据流中正确地分出一个个字符来，因而传输将失去意义。如何解决码组或字符的同步问题，目前有两种不同的解决办法，即异步传输方式和同步传输方式。

#### (2)异步传输与同步传输

异步传输一般以字符为单位，不论所采用的字符代码长度为多少位，在发送每一字符代码时，前面均加上一个“起”信号，其长度规定为1个码元，极性为“0”，即空号的极性；字符代码后面均加上一个“止”信号，其长度为1或2个码元，极性皆为“1”，即与信号极性相同，加上起、止信号的作用就是为了能区分串行传输的“字符”，也就是实现串行传输收、发双方码组或字符的同步。这种传输方式的特点是同步实现简单，收发双方的时钟信号不需要严格同步。缺点是对每一字符都需加入“起、止”码元，使传输效率降低，故适用于1200bit/s以下的低速数据传输。

同步传输是以同步的时钟节拍来发送数据信号的，因此在一个串行的数据流中，各信号码元之间的相对位置都是固定的(即同步的)。接收端为了从收到的数据流中正确地分出一个个信号码元，首先必须建立准确的时钟信号。数据的发送一般以组(或称帧)为单位，一组数据包含多个字符收发之间的码组或帧同步，是通过传输特定的传输控制字符或同步序列来完成的，传输效率较高。

## 1.5 数据信号的基本形式

前面已介绍过数据信号是在时间上和幅度上都取有限离散数值的电信号即数字信号。最简单的数字信号是二进码或称二进制码，这种码的幅度只取两种不同的瞬时值。这种二进制码也分为单极性、双极性和归零、不归零四种不同的基本形式。

从信号幅度取值的极性来区分有单极性和双极性码之分。如果信号的幅度取为+1和0就称为单极性二进码，这种码包含一定的直流分量。如果二进码幅度可以对称地取为+1和-1(这里的1应理解为一个单位电压或电流)，就称为双极性二进码，+1和-1的取值均匀分布的双极性信号不包含直流分量。从信号电压是否占满整个符号持续期，还可以把二进码分为归零的和不归零的两类。归零的二进码是指信号电压只存在于局部的符号持续时间，其余时间内没有信号电压(即归零了)，类似的，不归零的二进码则指信号电压填满了整个符号持续时间。单极、双极以及归零、不归零四种特征的不同组合，就形成四种二进码基本形式，如图7-2所示。

在二进制数字通信系统中，每个码元或每个符号只能是“1”和“0”两个状态之一。若将每个码元可能取的状态增加到4、8、16…等等，就需用4、8、16…进制等信号。例如四状态用3、2、1和0四种电平表示的四电平四进制信号，如图7-3(b)所示。这里一个四进制符号代表两位二进制码组，其编码规则和二-四进制对应关系如表7-1所示。八状态用八电平表示如图7-3(c)所示。

表7-1 二-四进制对应

二进制码组	四进制电平
00	0
01	1
10	2
11	3

表7-2 二-八进制对应

二进制码组	八进制电平
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

表7-1 二-四进制对应 四进制电平四进制电平 图7-3 二进制与多进制波形示意图 这里一个八进制符号代表三位二进制码组，其编码规则如表7-2所示。四进制级差为 $E/3$ ，八进制级差为 $E/7$ 。显然，进制越高，级差越小，抗干扰能力越差。但是进制越高，每个符号所代表的信息量愈大。在信息论中对符号所载荷的信息量有严格定义。在二进制数字传输中，若数字序列里1和0的概率各占 $1/2$ ，并且前后码

元是相互独立的，序列中每个二进制码元所载荷的信息量就是1比特，而多进制每个符号所含的信息量将要增加，对于四电平的符号包含的信息量，八电平的符号包含  $\log_2 8 = 3\text{bit}$  的信息量。从图7-3中可以看出四电平的四种状态，可分别代表两个二进制组成的四种状态，即00, 01, 10和11。因此一个四进制符号包含2比特信息量。同样一个八进制符号代表三个二进制符号，因此包含3比特信息量。

**1.6 数据通信系统主要质量指标** 数据通信的指标是围绕传输的有效性和可靠性来制定的。这些主要质量指标为：

### 1.6.1 工作速率

①符号速率又叫信号速率，记为N。它表示单位时间内(每秒)信道上实际传输的符号个数或脉冲个数(可以是多进制)。符号速率的单位是波特，即每秒的符号个数。

②信息传输速率，简称传信率，通常记为R。它表示单位时间内系统传输(或信源发出)的信息量，即二进制码元数。在二进制通信系统中，信息传输速率R(比特/秒)等于信号速率。对于多进制两者不相等。例如四进制中符号速率为2400波特，其信息速率为4800bit/s；而八进制的信息速率为7200bit/s等等。

它们的关系为  $R = N \log_2 m(\text{bit})$  式中m为符号的进制数

### 1.6.2 频带利用率

在比较不同通信系统的效率时，单看它们的信息传输速率是不够的，或者说，即使两个系统的信息速率相同，它们的效率也可能不同，所以还要看传输这样的信息所占的频带。通信系统占用的频带愈宽，传输信息的能力应该愈大。在通常情况下，可以认为二者成比例，用单位频带内的符号速率描述系统的传输效率，即每赫的波特数： $\eta = \text{符号速率}$

### 1.6.3 可靠性

可靠性可用差错率来表示。常用的差错率指标有平均误码率、平均误字率、平均误码组率等。

误码(码组，字符)=接收出现错误的比特(字符、码组)数差错率是一个统计平均值，因此在测试或统计时，总的发送比特(字符、码组)数应达到一定的数量，否则得出的结果将失去意义。

## 2 数据链路传输控制规程

### 2.1 数据链路

数据链路是数据电路加上传输控制规程，它由通信线路，调制解调器，终端及通信控制器之间的接口构成。国际标准化组织(ISO)定义数据链路为：按照信息特定方式进行操作的两个或两个以上终端装置与互连线路的一种组合体。所谓特定方式是指信息速率与编码均相同。一个数据通信系统包括一个或多个数据链路。

数据链路的结构分为点对点与点对多点两种，如图7-4所示。

数据链路传输数据信息有三种不同的操作方式：

(1)单向型。信息只能按一个方向传送。

(2) 双向交替型。信息先从一个方向，后从相反方向传送。

(3) 双方同时型。信息可在两个方向上同时传送。

图7-4 数据链路结构 数据链路中的DTE可能是不同类型的终端或计算机，从链路逻辑功能的角度，把这些不同类型不同功能的DTE统称为站。在点对点链路中如图7-5(a)，发送信息或命令的站称为主站，接收信息或命令而发出认可信息或响应的站称为从站。同时能发送信息、命令、认可和响应 的站称为组合站，如图7-5中(b)。在点对多点链路中，负责组织链路上数据流，并处理链路上所出现的不可恢复的差错的站称为控制站，而其余各站称为辅助站，如图7-5中(c)控制站执行轮询、选择等管理功能，轮询是控制站有次序地询问各个辅助站接收信息的过程，如图7-5(d)所示

## 2.2 数据链路控制规程

数据通信的双方为有效地交换数据信息，必须建立一些规约，以控制和监督信息在通信线路上的传输和系统间信息交换，这些规则称为通信协议。数据链路的通信操作规则称为数据链路控制规程，它的目的是在已经形成的物理电路上，建立起相对无差错的逻辑链路以便在DTE与网路之间，DTE与DTE之间有效可靠地传送数据信息。为此，数据链路控制规程，应具备下面功能：

(1) 帧同步。将信息报文分为码组，采用特殊的码型作为码组的开头与结尾标志，并在码组中加入地址及必要的控制信息，这样构成的码组称为帧。帧同步的目的是确定帧的起始与结尾，以保持收发两端帧同步。

(2) 差错控制。由于物理电路上存在着各种干扰和噪声，数据信息在传输过程中会产生差错。采用水平和垂直冗余校验，或循环冗余校验进行差错检测，对正确接收的帧进行认可，对接收有差错的帧要求对方重发。

(3) 顺序控制。为了防止帧的重收和漏收，必须给每个帧编号，接收时按编号认可以识别差错控制系统要求重发的帧。

(4) 透明性。在所传输的信息中，若出现了每个帧的开头、结尾标志字符和控制字符的序列，要插入指定的比特或字符，以区别以上各种标志和控制字符，这样来保障信息的透明传输，即信息不受限制。

(5) 线路控制。在半双工或多点线路场合，确定哪个站是发送站，哪个站是接收站，建立和释放链路的逻辑连接，显示站的工作状态。

(6) 流量控制。为了避免链路的阻塞，应能调节数据链路上的信息流量，决定暂停、停止或继续接收信息。

(7) 超时处理。如果信息流量突然停止，超过规定时间，决定应该继续作些什么。

(8) 特殊情况。当没有任何数据信号发送时，确定发送器发送什么信息。

(9) 启动控制。在一个处于空闲状态的通信系统中，解决如何启动传输的问题。

(10) 异常状态的恢复。当链路发生异常情况时(如收到含义不清的序列，数据码组不完整或超时收不到响应等)，自动地重新启动恢复到正常工作状态。

链路控制规程执行的数据传输控制功能可分为五个阶段。

阶段1为建立物理连接(数据电路)。数据电路可分为专用线路与交换线路两种。在点对多点结构中,主要采用专线,物理连接是固定的。在点对点结构中,如采用交换电路时,必须按照交换网络的要求进行呼叫接续,如电话网的V.25和数据网的X.21呼叫接续过程。

阶段2为建立数据链路。建立数据链路,在点对点系统中,主要是确定两个站的关系,谁先发,谁先收,作好数据传输的准备工作。在点对多点系统中,主要是进行轮询和选择过程。这个过程也就是确定由哪个站发送信号,由哪个(些)站接收信息。

阶段3为数据传送。下面进入有效可靠地传送数据信息,如何将报文分成合适的码组,以便进行透明的相对无差错的数据传输。阶段4为数据传送结束,当数据信息传送结束时,主站向各站发出结束序列,各站便回到空闲状态或进入一个新的控制状态。

阶段5为拆线。当数据电路是交换线路时,数据信息传送结束后,就需要发出控制序列,拆除通信线路。

**2.3 数据链路控制规程的种类** 根据所采用的帧同步技术,规程一般可分为两种。

#### 2.3.1 面向字符规程

采用某些专用的字符来控制链路的操作,监视链路的工作状态。BSC与我国的基本型传输控制规程都属于这一类规程。

#### 2.3.2 面向比特规程

采用特定的二进制标志序列作为帧的开始和结束,以一定的比特组合所表示的命令和响应实现链路的监控功能。命令和响应可以与信息一起传送。SDLC、ADCCP、HDLC、X.25都属于这类规程。

### 3 数据传输

#### 3.1 数据传输的基本形式

##### 3.1.1 基带传输

所谓基带,就是指电信号所固有的基本频带,简称基带。数字信号的基本频带是从0至若干兆赫,由传输速率决定。当利用数据传输系统直接传送基带信号,不经频谱搬移时,则称之为基带传输,这种数据传输系统就称之为基带传输系统。

##### 3.1.2 频带传输

所谓频带传输,就是把二进制信号(数字信号)进行调制交换,成为能在公用电话网中传输的音频信号(模拟信号),将音频信号在传输介质中传送到接收端后,再由调制解调器将该音频信号解调变换成原来的二进制电信号。这种把数据信号经过调制后再传送,到接收端后又经过解调还原成原来信号的传输,称为频带传输。这种频带传输不仅克服了目前许多长途电话线路不能直接传输基带信号

的缺点，而且能够实现多路复用，从而提高了通信线路的利用率。但是频带传输在发送端和接收端都要设置调制解调器，将基带信号变换为通带信号再传输。

### 3.1.3 宽带传输

宽带是指比音频带宽更宽的频带。使用这种宽频带传输的系统，称为宽带传输系统。它可以容纳全部广播，并可进行高速数据传输。宽带传输系统多是模拟信号传输系统。

一般说，宽带传输与基带传输相比有以下优点：

(1) 能在一个信道中传输声音、图像和数据信息，使系统具有多种用途；

(2) 一条宽带信道能划分为多条逻辑基带信道，实现多路复用，因此信道的容量大大增加；

(3) 宽带传输的距离比基带远，因基带直接传送数字，传输的速率愈高，传输的距离愈短。

### 3.1.4 数字数据传输

数字数据传输方式就是利用数字信道传输数据的方法，采用数字信道，每一数字话路的数据传输速率为64kbit/s，所以，每一话路可复用5路9600bit/s或10路1800bit/s的数据，并不需要采用调制解调器(MODEM)，误码率又较低，从而提高了传输的速率和质量。当传输距离较长时，由于数字信道每隔一定距离就要插入再生中继器，使信道中引入的噪声和信号失真不会积累，从而大大提高传输质量。当然，采用数字传输要求全网的时钟系统保持同步，因此这种数字数据传输方式的灵活性不如模拟传输方式。

## 3.2 数字数据传输的基本原理

如上面所述，利用PCM数字信道传输数据信号，首先要解决的问题是数据信号如何进入PCM话路的问题，下面按同步和异步两种情况分别说明。

### (1) 同步方式

利用PCM数字信道传输数据，如果数据信号与数字端局的时钟是同步的，这时，数据终端输出的数据信号是受PCM信道时钟控制的，因此只需对数据信号进行多路化处理即可。这里数据终端设备处于受控制的从属地位，因此灵活性差。

### (2) 异步方式

如果数据信号与数据端局时钟是异步的，这时数据信号可采用填充方式复用到64kbit/s的集合信号。

填充方式可分为比特填充、字符填充和包封三种方式。

#### ① 比特填充方式

当同步数据信号与数据端局的时钟是异步关系时，可以用缓冲存储器使输入输出信号同步。其原理是首先将多路数据信号复用成一次群，然后以其脉冲速率将一次群输入数据信号寄入缓存器。当输入速率比缓冲存储器的读出速率稍慢

时，会出现信号尚未到达就要读出的情况，这时就要插入填充脉冲，并把填充脉冲的信息传到接收端。接收端收到填充指示信息就抹去该填充电路交换，充脉冲，然后把脉冲展成一定间隔，从而恢复原始数据信号。这种方法只限于传输同步数据信号。

## ②字符填充方式

当异步起止式数据信号与数据端局时钟是异步关系时，为了实现同步多路化传输，把输入的数据信号的起止码元去掉，并插入控制比特S。如果是5单位码，原信号一个字符为7.5个码元，改变后变为6个码元，为了速率匹配，可在每4个数据字符之后，插入一个填充字符 $S_i$ （该字符由1位控制比特和5位信息比特组成），每个字符的控制比特表明该字符是数据还是填充字符。利用这种方法，可以把60个50波特信号和一个200波特信号组合成3.2kbit/s的复用信号，这种方法对字符转接的数据交换系统很适用。

## ③包封方式

按照CCITT X.50或X.51建议，将同步的用户数据流复用成64kbit/s的集合信号。X.50建议规定采用(6+2)的包封格式，X.51建议规定采用(8+2)的包封格式。这种方法是把等时数据信号分成一系列6比特组(或8比特组)，对每个6比特组(或8比特组)再填加上帧同步比特F和状态比特S构成(6+2)或填加上包封同步比特A和状态比特S构成(8+2)的包封结构。每个包封称为一个字包，如图7-6所示。

多路复用信号就是以8比特包封为单位相互交织构成串行数据流。

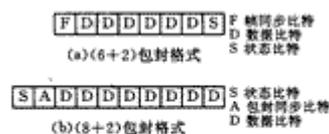


图 7-6 两种包封格式

## 4 数据通信网的交换方式

对于计算机和终端之间的通信，交换是一个重要的问题。如果我们想使用任何遥远的计算机，若没有交换机，只能采用点对点的通信。为避免建立多条点对点的信道，就必须使计算机和某种形式的交换设备相连。交换又称转接，这种交换通过某些交换中心将数据进行集中和转送，可以大大节省通信线路。在当前的数据通信网中，有三种交换方式，那就是电路交换、报文交换和分组交换。一个通信网的有效性、可靠性和经济性直接受网中所采用的交换方式的影响。

### 4.1 电路交换

在数据通信网发展初期，人们根据电话交换原理，发展了电路交换方式。当用户要发信息时，由源交换机根据信息要到达的目的地址，把线路接到那个目的交换机。这个过程称为线路接续，是由所谓的联络信号经存储转发方式完成的，即根据用户号码或地址(被叫)，经局间中继线传送给被叫交换局并转被叫用户。线路接通后，就形成了一条端对端(用户终端和被叫用终端之间)的信息通路，在这条通路上双方即可进行通信。通信完毕，由通信双方的某一方，向自己所属的交换机发出拆除线路的要求，交换机收到此信号后就将此线路拆除，以供别的用户呼叫使用。

由于电路交换的接续路径是采用物理连接的，在传输电路接续后，控制电路就与信息传输无关，所以电路交换方式的主要优点是：

①信息传输延迟小，就给定的接续路由来说，传输延迟是固定不变的；

②信息编码方法、信息格式以及传输控制程序等都不受限制，即可向用户提供透明的通路。

电路交换的主要缺点是电路接续时间长、线路利用率低，目前电路交换方式的数据通信网是利用现有电话网实现的，所以数据终端的接续控制等信号要作到与电话网兼容。

## 4.2 报文交换

60年代和70年代，在数据通信中普遍采用报文交换方式，目前这种技术仍普遍应用在某些领域(如电子信箱等)。为了获得较好的信道利用率，出现了存储—转发的想法，这种交换方式就是报文交换。它的基本原理是用户之间进行数据传输，主叫用户不需要先建立呼叫，而先进入本地交换机存储器，等到连接该交换机的中继线空闲时，再根据确定的路由转发到目的交换机。由于每份报文的头部都含有被寻址用户的完整地址，所以每条路由不是固定分配给某一个用户，而是由多个用户进行统计复用。

报文交换中，若报文较长，需要较大容量的存储器，若将报文放到外存储器中去时，会造成响应时间过长，增加了网路延迟时间。另一方面报文交换通信线路的使用效率仍不高。

## 4.3 分组交换

分组交换与报文交换都是采用存储转发交换与报文交换都是采用存储转发交换方式，即首先把来自用户的信息文电暂存于存储装置中，并划分为多个一定长度的分组，每个分组前边都加上固定格式的分组标题，用于指明该分组的发端地址、收端地址及分组序号等。

以报文分组作为存储转发的单位，分组在各交换节点之间传送比较灵活，交换节点不必等待整个报文的其它分组到齐，一个分组、一个分组地转发。这样可以大大压缩节点所需的存储容量，也缩短了网路时延。另外，较短的报文分组比长的报文可大大减少差错的产生，提高了传输的可靠性。

# 5 分组交换数据网

## 5.1 分组交换的基本原理

分组交换的概念示意如图7-7所示。

由数据终端设备A发出的数据信息，通过用户线送到交换机(节点机)a暂时存储，在交换机a内分成具有一定长度的分组并在每一分组前边加上指明该分组发端地址、收端地址及分组序号的分组标题。

交换机a为了把这分组转发给接收局交换机 $\gamma$ ，就需要选择空闲路由。可以根据交换网的状态给每个分组选择不同路由，一般不会出现仅仅因为某一路由过忙而不能转发的情况。

分组数据到达终点局的交换机 $\gamma$ 后，再按照接收地址来分发。由于各分组数据是经过各自的路由转送来的，所以它们未必能按照A B C的先后顺序到达。因此，交换机 $\gamma$ 应按分组的序号重新排列，最后，通过用户线将数据送至数据终端

设备C。

以上所讲是分组交换网中数据报方式，因为每一个数据分组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。

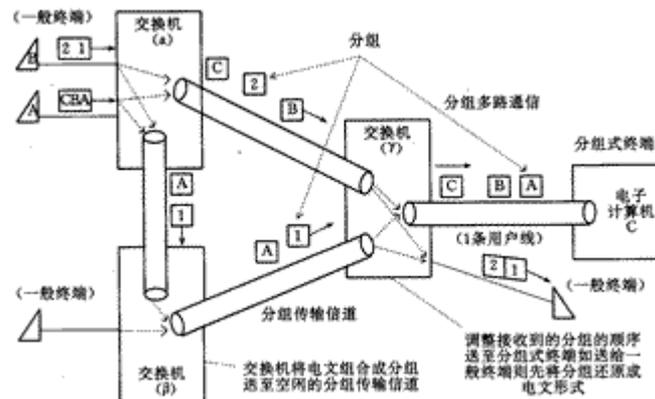


图 7-7 分组交换概念示意

在分组交换网中还有另外一种方式，叫做虚电路方式。所谓虚电路，就是两个用户终端设备 在开始互相发送和接收数据之前，需要通过网路建立逻辑上的连接，一旦这种连接建立之后，就在网路中保持已建立的数据通路，用户发送的数据(以分组为单位)将按顺序通过网路到 达终点。当用户不需要发送和接收数据时，可以清除这种连接。

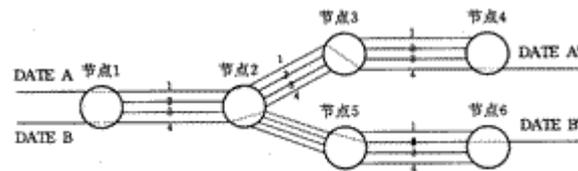


图 7-8 逻辑信道与虚电路的概念

虚电路的概念可以用图7-8说明。在分组网中，从源终端传到目的终端中间经过若干交换节点，各节点间在一条物理信道上有几条逻辑信道，它们是按统计复用实现复用的，如图中1、2、3、4条逻辑信道。所谓逻辑信道，是指在两个节点之间，在通信协议中对等层之间的一种连接。在一条逻辑信道两端的交换机节点中，都对分配一定的存储空间，在每个分组中都标明了所走的逻辑信道号。如当呼叫用户A要与A'通信时，A与A'通过节点1、2、3、4建立虚电路连接，而各节点之间的逻辑信道号是不一样的，如图所示，节点1与节点2之间利用逻辑信道1，节点2与节点3之间利用逻辑信道1，节点3与节点4之间利用逻辑信道4。

虚电路方式有几个特点。

(1) 一次通信具有呼叫建立、数据传输和呼叫清除三个阶段。数据分组中不需要包含终点地址，对于数据量较大的通信传输效率高。

(2) 数据分组按建立的路径顺序通过网路，在网路终点不需要对数据重新排序，分组传输时延小，而且不容易产生数据分组的丢失。

(3) 当网路中由于线路或设备故障时，可能导致虚电路的中断，需要呼叫，建

立新的连接。但是，现在许多采用虚电路方式的网路，已能提供呼叫重新连接的功能。当网络出现故障时，将由网络自动选择并建立新的虚电路，不需要用户重新呼叫，并且不丢失用户数据。

虚电路可以是临时连接，也可以是永久连接。临时连接称为交换虚电路，用户终端在通信之前必须建立虚电路，通信结束后就拆除虚电路。永久连接的称为永久虚电路，用户如果向网路预约了该项服务之后，就在两个用户之间建立永久的虚连接，用户之间的通信直接进入数据 传输阶段，就好象具有一条专线一样，可随时传送数据。分组交换技术可以进行路由选择、流量控制，以保证网路内的数据流量的平滑均匀，提高网路的吞吐能力和可靠性，防止阻塞现象的发生。

## 5.2 分组交换网的通信协议

### 5.2.1 协议概念和层次结构

为了将众多不同功能、不同配置及不同使用方式的终端设备和计算机互连起来共享资源，就需要找到为解决它们之间互连而协商一致的原则。不同地理位置上两个实体相互通信，需要通过交换信息来协调它们的动作和达到同步，而信息交换必须按照预先共同约定好的过程 进行，这种预先建立的原则、约定和标准就称为网路协议。

协议是指系统间互换数据的一组规则，主要是关于相互交换信息的格式、涵义、节拍等。协议的制定和实现采用层次结构，即将复杂的协议分解为一些简单的分层协议、再组合成总的 协议。协议分层总括起来有以下好处：

(1) 各层之间是独立的，任何一层不需知道下面一层是如何实现的，只需知道下一层所提供的服务和本层向上一层所提供的服务；

(2) 灵活性好，任何一层发生变化，只要接口关系保持不变，其他各层均不受影响；

(3) 结构上可以隔开，各层都可采用最合适的技术来实现；

(4) 易于实现和维护。

### 5.2.2 开放系统互连参考模型(RM / OSI)

为了互连就需要有一个共同的网路体系结构和技术标准，所谓开放就是背景只要遵循OSI标准，一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循这同一标准的其他系统通信。开放系统 模型分层分两步进行。第一步，把全部功能划分为数据传输功能和数据处理功能，数据传输 功能为数据处理功能提供传送服务。第二步，把上述两项功能进一步划分，设置七层，如图 7—9所示。

参考模型中的七层分别为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。下面简述每层的功能。

(1) 物理层控制节点与信道的连接，提供物理通道和物理连接以及同步，实现比特信息的传输。物理层协议规定“0”和“1”的电平是几伏，一个比特持续多长时间，DTE与DCE接口采 用的接插件的形式等等。

(2) 数据链路层是两个通信实体之间一条点一点式信道，包括数据传输电路和数据电路终接设备。数据链路层协议保证数据块从数据链路的一端正确地传送到

另一端，使用差错控制技术来纠正传输差错，按一定格式成帧。

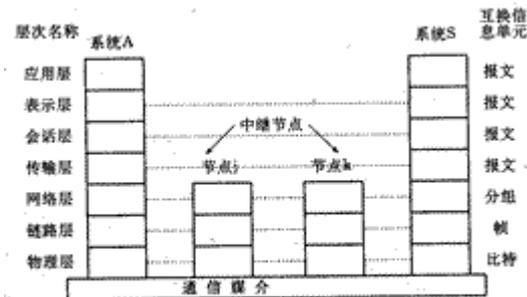


图 7-9 OSI 开放系统七层参考模型

(3) 网络层用于控制通信子网的运行，管理从发送节点到收信节点的虚电路。协议规定网络节点和虚电路的一种标准接口，完成网络连接的建立、拆除和通信管理，包括路由选择、信息流控制、差错控制以及多路复用等。

(4) 传输层是主计算机—主计算机层，或者说端—端传输控制层。传输层的主要功能是建立、拆除和管理传送连接。

(5) 会话层是用户进网的接口，着重解决面向用户的功能，例如会话建立时，双方必须核实对方是否有权参加会话，由哪一方支付通信费用，在各种选择功能方面取得一致。

(6) 表示层主要解决用户信息的语法表示问题。表示层将数据从适合于某一用户的语法，变换为适合于OSI系统内部使用的传送语法。

(7) 应用层的功能是假定网路上有很多不同形式的终端，各种终端的屏幕格式都不同，应用层就要设法转换。

### 5.3 RM / OSI的数据流程

在介绍RM / OSI的数据流程之前，先介绍一个类比的例子。设有两个体制完全相同的单位，各单位分别设有主任、班长、组长、办事员。他们的工作方法很机械，下级只向他的直接上级报告情况，上级只能要他的下级办事。两个单位的主任、班长、组长都不能直接往来，但可通过书信协商工作，且仅接收对方对应职位人员的信件，唯一能直接见面的是双方的办事员。这种甲、乙两单位协商办事的方式如图7-10所示。甲主任要和乙主任协调事宜，必须通过信函，并将信封在信封内交给甲班长；甲班长拿出与乙班长通信的专用信封（否则乙班长不收），将甲主任的信装入其中，并将它交给甲组长；甲组长将其装入给乙组长的专用信封中交给甲办事员，让他交给乙方办事员。乙办事员收到信后送给乙组长；乙组长检查信封，是甲组长的信封才接收，并剥去信封查看内容，若是给自己的就自行处理，若是给上级的就给乙班长；乙班长收到信后也按相同的方法处理，直至把信送给乙方主任为止。

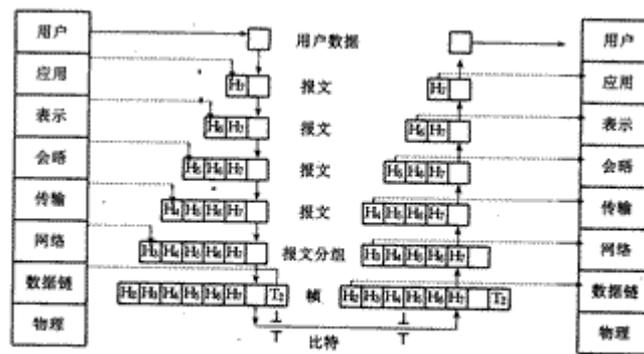


图 7-11 RM/OSI 中用户虚拟通信的实际信息流动

按RM/OSI模型设计的网络系统的通信过程与上例类似，其数据流程如图7-11所示。用户数据送入应用层后，该层给它附加控制信息H7后送表示层。表示层可能要对数据作适当变换（如代码转换、数据压缩）后附加控制信息H6再送会话层。会话层加上控制信息H5送传输层。传输层可能要把长报文分成若干段，给每段加上控制信息H4后送网络层。网络层加上控制信息H3形成报文分组送数据链路层。数据链路层给报文分组附加头H2和尾T2形成帧(Frame)，经物理层发送到对方。对方系统则进行上述过程的逆处理，直至将数据送给用户进程为止。

### 5.4 CCITT系列建议

#### 5.4.1 X系列建议概述

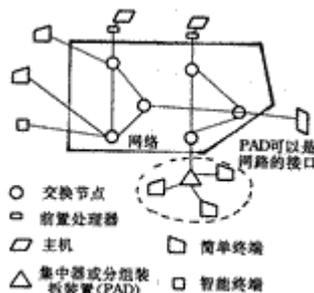


图 7-12 公用分组数据网

如图7-12所示的公用数据网，是为计算机之间进行通信，以及为远程终端接入计算机提供一种公共的手段。公用数据网由若干起交换作用的节点机组成。节点机的任务是把分组数据送到目的地。CCITT制定了X系列建议，其名称及主要内容如表7-3所示。

表7-3 x系列建议

编号	主要内容
x.3	公用数据通信网分组装 / 拆(PAD)功能
x.20	公用数据通信起止式传输业务用的DTE与DCE之间的接口
x.20bis	公用数据网内可与V.21建议兼容的，起止式DTE与DCE之间的接口
x.21	公用数据网内同步式DTE与DCE之间的接口
x.21bis	为与同步式V系列调制解调器接口设计的数据终端设备在公用数据网内的应用
x.24	公用数据网上DTE-DCE间的接口电路定义表
x.25	报文分组型公用数据网DTE-DCE接口

x. 26	在数据通信领域内通常与集成电路设备一起使用的不平衡双流交换电路 的电特性
x. 27	在数据通信领域内通常与集成电路设备一起使用的平衡双流交换电路 的电特性
x. 28	公用数据网中，对于存取报文分组的分组装 / 拆设备的起止式DTE—DCE 的接口
x. 29	公用数据网中，分组式终端与分组装、拆功能之间的控制信息及用户数 据的交换规程
x. 75	在分组交换的公用数据网内的国际电路上用于传递数据的终端和经转接 呼叫的规程

#### 5. 4. 2 X. 25建议

X. 25建议为公用数字网上以分组方式工作的终端规定了DTE与DCE之间的接口。这里DTE是用户终端设备，DCE是数据通信设备，它能把DTE定义的信号转换成适合在传输线路上传输的信号，但从X. 25意义上讲，DCE则是与DTE连接的入口节点或节点交换机。

X. 25标准为用户 (DTE) 和分组交换网路 (DCE) 之间建立对话和交换数据提供一些共同的规程，这些规程包括数据传输通路的建立、保持和释放，数据传输的差错控制和流量控制，防止网路发生阻塞等等，对于非分组终端，需要用规程转换器，也就是分组拆 / 装设备 (PAD) 转换成X. 25接口规程，或者由网路设备 (如交换机) 完成规程转换。

X. 25中规定了三个独立的级，即物理级、链路级、分组级。这三级与OSI参考模型的一、二、三层基本上是一致的。

#### 5. 4. 3 分组装 / 拆 (PAD) 功能 (X. 3、X. 28协议)

目前还有大量简单终端，或称异步终端和字符终端，它们只能发送和接收字符流，为此，CC ITT制定的分组装 / 拆即PAD标准。PAD的基本功能是：①虚电路的建立与释放；②将来自终端的字符装配成适当分组，以便发往终点主计算机；③将来自主机的数据分组拆成字符流，送往终端；④可以进行分组或字符的转发。

从层次结构的角度来看，PAD功能是在X. 25的低三层协议之上所提供的终端控制功能。

#### 5. 4. 4 接口协议

为使网路能连接各式各样的终端和主机及其他通信网，网路必须能支持比较齐全的终端协议与网间协议。总括起来，分组交换网涉及的主要接口协议如图7-13所示。

### 5. 5 用户终端与分组交换网路和连接

①分组终端 (PT)。它与交换机连接时，具有分组处理能力，例如带X. 25规程的计算机、微机、专用终端、规程转换器等设备，可以看作为分组终端。

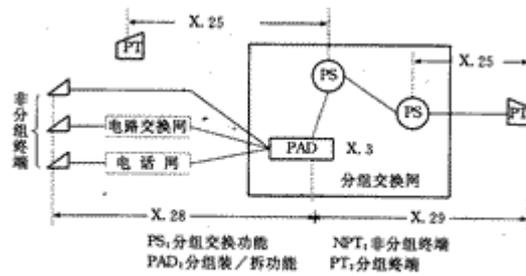


图 7-13 分组交换网涉及的主要接口协议

②非分组终端(NPT)。它不具有分组数据处理能力，对它们不能直接进行分组交换，必须经过PAD转换，不管PAD是放在网里面，还是放在网外面。非分组终端的种类很多，如带有异步通信接口的计算机、微机、键盘打印机、键盘显示器、电传机、可视图文终端等。

### 5.5.2 用户终端与网路的连接方式

①租用专线。租用专线可以是本地(或市内)专线，也可以是长途专线，连接方式有二线制和四线制。

②经过电话网。分组终端经电话网和分组交换机相连采用X.25规程。虽然二者规程不同，但物理连接方式类似，均采用带有自动应答的调制解调器。但分组终端采用同步调制解调器，异步终端采用异步调制解调器。这种调制解调器的操作可选择人工呼叫，自动应答方式，或者自动呼叫、自动应答方式。

## 5.6 网间互连

随着网路的急剧增加，功能不断增强，终端用户常常需要访问一个以上的网路。例如，一个通常使用网路A终端，可能需要访问连在网路B上的一台计算机的数据库，这时，这种端到端服务就要求网路A和网路B进行互连。这一特性就称为网间互连，当前有以下几种网间互连。

### 5.6.1 公用分组网之间互连

CCITT建立了X.75协议作为分组网之间互连标准。X.25是分组网间互连信令规程。它规定了两个信令终接设备(STE)之间的接口规STE可看作为具有网间接口功能的分组交换机，它们可以直接连接，如图7-14所示。如果两个网路没有统一的接口，就需通过网点设备也就是网路协议转换器互连。这种情况当多种网络互连，实现起来很麻烦。现在人们又研究了一种网间互连协议(IP)，它在网络层之上，使用IP简化了不同接口协议网路之间的网点设计。

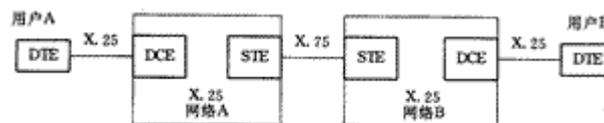


图 7-14 网络经 X.75 互连

### 5.6.2 公用分组交换网与专用分组交换网的互连

专用分组网和公用分组网之间，从技术上讲可以采用X.75规程互连，也可以采用X.25规程互连(两网互为终端用户的互连方法)，此时专用网号用的是端口号，而专用网内的地址由于地址来进行编址。

### 5.6.3 分组交换网与电话网的互连

电话网四通八达，如果数据用户能够通过电话网与分组交换网连接，实现和分组网相连的其他用户之间的通信，将会使分组交换网的资源获得更充分的应用，而且大大方便了用户。

电话网把分组网特定的一些端口作为它的用户，并分配给它电话号码。公用分组交换网通常都指定多少端口用于与电话网的连接，其中用于同种通信规程和同种速率的一组接口可以使用同一电话号码。用户通过电话网接入分组网与通过专线接入组网的情况相似，也要通过调制解调器。

## 第八章 计算机通信网

### 1 概述

数据通信网是计算机技术和通信技术相结合的产物，亦称计算机通信网，信息已成为经济发展的战略资源和独特的生产要素。经济的竞争实际上已演变为信息的竞争。经30余年的发展产生了各式各样的局域网和广域网以及它们之间的互连体系。这种竞争和发展都围绕以下几个方面：

- (1) 如何迅速而优质地采集信息；
- (2) 高效而又可靠地传输信息；
- (3) 大量而普遍地处理、存储和使用信息；
- (4) 经济性。

CATV宽带综合网是一种发展过程中出现的网络形式，不可避免地将与上述各种网络相联系，特别是与局域网的联系。因为在HFC网络形式下，每个光节点的复盖面都不大。本章将着重介绍局域网，在以后的几章中将对几种应用较广，对CATV宽带技术综合网有重要影响的广域网和传输技术作专门介绍，如ISDN、B-ISDN、Internet网、ATM技术和SDH等。

### 2 局域网

局域网从60年代末70年代初开始起步，经过近30年的发展，已越来越趋于成熟，其主要特点是形成了开放系统互连网络，网络走向了产品化、标准化；许多新型传输介质投入实际使用，以数据传输速率达100Mbps的以光缆为基础的FDDI技术和双绞线为基础的100BASE-T等技术已日趋成熟，投入商用；局域网的互连性越来越强，各种不同介质、不同协议、不同接口的互连产品已纷纷投入市场；微计算机的处理能力增强很快，局域网不仅能传输文本数据，而且可以传输和处理话音、图形、图象、视象等媒体数据。

#### 2.1 局域网的拓扑结构

局域网的拓扑结构指网络中节点和通信线路的几何排序，它对整个网络的设计、功能、经济性、可靠性都有影响，对局域网一般有如下五种结构：星形、总线形、环形、树形、网状等（见图8-1）。

##### 2.1.1 星形结构

它以中央节点为中心，一个节点向另一个节点发送数据，必须向中央节点发出请求，一旦建立连接，这两个节点之间就是一条专用连接线路，信息传输通过中央节点的存储—转接来完成。这种结构要求中央节点的可靠性很高，否则出现故障就会危及整个网络。星形结构的优点是结构简单、网络控制容易、便于扩充；缺点是资源共享不便、可靠性较低，目前100BASE-VG采用此种结构。

### 2.1.2 总线形结构

它的所有节点都通过相应硬件接口连接到一条无源公共总线上，任何一个节点发出的信息都可沿着总线传输，并被总线上其它任何一个节点接收，它的传输方向是从发送点向两端扩散传送，是一种广播式结构。

每个节点的网卡上有一个收发器，当发送节点发送的目的地址与某一节点的接口地址相符，该节点即接收该信息。



a)星形 b)总线形 c)树形 d)环形 e)网状形

总线结构的优点是安装简单、易于扩充、可靠性高，一个节点损坏，不会影响整个网络工作，但由于共用一条总线，所以要解决两个节点同时向一个节点发送信息的碰撞问题，这对实时性要求较高的场合不太适用。目前，10BASE-T、100BASE-T使用这种拓扑结构。

### 2.1.3 树形结构

树形结构是总线形的延伸，它是一个分层分支的结构。一个分支和节点故障不影响其他分支和节点的工作。像总线结构一样，它也是一种广播式网络。任何一个节点发送的信息，其它节点都能接收。此种结构的优点是在原网上易于扩充，但缺点是线路利用率不如总线形结构高。

### 2.1.4 环形结构

环形结构中的各节点通过有源接口连接在一条闭合的环形通信线路中，是点一点式结构。环形网中每个节点对占用环路传送数据都有相同权力，它发送的信息流按环路设计的流向流动。为了提高可靠性，可采用双环或多环等冗余措施来解决。目前的环形结构中采用了一种多路访问部件MAU，当某个节点发生故障时，可以自动旁路，隔离故障点，这也使可靠性得到了提高。

环形结构的优点是实时性好，信息吞吐量大，网的周长可达200km，节点可达几百个。但因环路是封闭的。所以扩充不便。这种结构在IBM于1985年推出令牌环网后，已为人们所接受，目前推出的FDDI网就是使用这种双环结构。

### 2.1.5 网状结构

在一组节点中，将任意两个节点通过物理信道连接成一组不规则的形状，就构成网状结构。它的优点是最大限度地提供了专用带宽；缺点是造价高，结构较复杂，目前在ATM局域网中使用这种结构。

## 2.2 局域网的传输介质

传输介质主要是指计算机网络中发送和接收者之间的物理通路，其中有通信电缆，也有无线信道如微波线路和卫星线路。而局域网的典型传输介质是双绞线、同轴电缆和光缆。

### 2.2.1 双绞线

双绞线分非屏蔽双绞线UTP(Unshielded Twisted Pair)和屏蔽双绞线STP(Shielded Twisted Pair)两种。目前，在局域网中，大多数使用的是UTP。双绞线是两根绝缘导线互相绞结在一起的一种通用的传输介质，它可减少线间电磁干扰，适用于模拟、数据通信。在局域网中，UTP已被广泛采用，其传输速率取决于芯线质量、传输距离、驱动和接收信号的技术等。如令牌环网采用第三类UTP，传输速率最高可达16Mbps，10BASE-T采用的三类UTP速率达10Mbps，100BASE-T采用的五类UTP传输速率达100Mbps。

UTP价格较低，传输速率满足使用要求，适用于办公大楼、学校、商厦等干扰较小的环境中使用，但不适于噪声大、电磁干扰强的恶劣环境中使用。

### 2.2.2 同轴电缆

同轴电缆由一空心金属圆管(外导体)和一根硬铜导线(内导体)组成。内导体位于金属圆管中心，内外导体间用聚乙烯塑料垫片绝缘。在局域网中使用的同轴电缆共有75Ω、50Ω和93Ω三种。RG59型75Ω电缆是共用天线电视系统(CATV)采用的标准电缆，它常用于传输频分多路FDM方式产生的模拟信号，频率可达300~400MHz，称作宽带传输，也可用于传输数字信号。50Ω同轴电缆分粗缆(RG-8型或RG-11型)和细缆(RG-58型)两种。粗缆抗干扰性能好，传输距离较远，细缆价格低，传输距离较近，传输速率一般为10Mbps，适用于以太网。RG-62型93Ω电缆是Arcnet网采用的同轴电缆，通常只适用于基带传输，传输速率为2~20Mbps。

### 2.2.3 光缆

光缆是光纤电缆的简称，是传送光信号的介质，它由纤芯、包层和外部一层的增强强度的保护层构成。纤芯是采用二氧化硅掺以锗、磷等材料制成，呈圆柱形。外面包层用纯二氧化硅制成，它将光信号折射到纤芯中。光纤分单模和多模两种，单模只提供一条光通路，多模有多条光通路，单模光纤容量大，价格较贵，目前单模光纤芯连包层尺寸约8.3μm/125μm，多模纤芯常用的为62.5μm/125μm。光纤只能作单向传输，如需双向通信，则应成对使用。

光缆是目前计算机网络中最有发展前途的传输介质，它的传输速率可高达1000Mbps，误码率低，约为 $10^{-11}$ ，衰减小，传播延时很小，并有很强的抗干扰能力，适宜在泄漏信号、电气干扰信号严重的环境中使用，所以倍受人们青睐。光缆适用于点对点链路，所以常应用于环状结构网络。缺点是成本较高，还不能普遍使用。

## 2.3 访问控制方式

访问控制方式是指控制网络中各个节点之间信息的合理传输，对信道进行合理分配的方法。目前在局域网中常用的访问控制方式有三种：带冲突检测的载波侦听多路访问(CSMA/CD—Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection)；令牌环(Token Ring)；令牌总线(Token Bus)。

### 2.3.1 CSMA/CD

最早的CSMA方法起源于美国夏威夷大学的ALOHA广播分组网络，1980年美国DEC、Intel和Xerox公司联合宣布Ethernet网采用CSMA技术，并增加了检测碰撞功能，称之为CSMA/CD。这种方式适用于总线型和树形拓扑结构，主要解决如何共享一条公用广播传输介质。其简单原理是：在网络中，任何一个工作站在发送信息前，要侦听一下网络中是否有其它工作站在发送信号，如无则立即发送，如有，即信道被占用，此工作站要等一段时间再争取发送权。等待时间可由二种方法确定，一种是某工作站检测到信道被占用后，继续检测，直到信道出现空闲。另一种是检测到信道被占用后，等待一个随机时间进行检测，直到信道出现空闲后再发送。

CSMA/CD要解决的另一主要问题是如何检测冲突。当网络处于空闲的某一瞬间，有两个或两个以上工作站要同时发送信息，这时，同步发送的信号就会引起冲突，现由IEEE802.3标准确定的CSMA/CD检测冲突的方法是：当一个工作站开始占用信道进行发送信息时，再用碰撞检测器继续对网络检测一段时间，即一边发送，一边监听，把发送的信息与监听的信息进行比较，如结果一致，则说明发送正常，抢占总线成功，可继续发送。如结果不一致，则说明有冲突，应立即停止发送。等待一随机时间后，再重复上述过程进行发送。

CSMA/CD控制方式的优点是：原理比较简单，技术上易实现，网络中各工作站处于平等地位，不需集中控制，不提供优先级控制。但在网络负载增大时，发送时间增长，发送效率急剧下降。

### 2.3.2 令牌环

令牌环只适用于环形拓扑结构的局域网。其主要原理是：使用一个称之为“令牌”的控制标志(令牌是一个二进制数的字节，它由“空闲”与“忙”两种编码标志来实现，既无目的地地址，也无源地址)，当无信息在环上传送时，令牌处于“空闲”状态，它沿环从一个工作站到另一个工作站不停地进行传递。当某一工作站准备发送信息时，就必须等待，直到检测并捕获到经过该站的令牌为止，然后，将令牌的控制标志从“空闲”状态改变为“忙”状态，并发送出一帧信息。其他的工作站随时检测经过本站的帧，当发送的帧目的地址与本站地址相符时，就接收该帧，待复制完毕再转发此帧，直到该帧沿环一周返回发送站，并收到接收站指向发送站的肯定应答信息时，才将发送的帧信息进行清除，并使令牌标志又处于“空闲”状态，继续插入环中。当另一个新的工作站需要发送数据时，按前述过程，检测到令牌，修改状态，把信息装配成帧，进行新一轮的发送。

令牌环控制方式的优点是它能提供优先权服务，有很强的实时性，在重负载环路中，“令牌”以循环方式工作，效率较高。其缺点是控制电路较复杂，令牌容易丢失。但IBM在1985年已解决了实用问题，近年来采用令牌环方式的令牌环网实用性已大大增强。

### 2.3.3 令牌总线

令牌总线主要用于总线形或树形网络结构中。它的访问控制方式类似于令牌环，但它是把总线形或树形网络中的各个工作站按一定顺序如按接口地址大小排

列形成一个逻辑环。只有令牌持有者才能控制总线，才有发送信息的权力。信息是双向传送，每个站都可检测到其它站点发出的信息。在令牌传递时，都要加上目的地址，所以只有检测到并得到令牌的工作站，才能发送信息，它不同于CSMA/CD方式，可在总线和树形结构中避免冲突。

这种控制方式的优点是各工作站对介质的共享权力是均等的，可以设置优先级，也可以不设；有较好的吞吐能力，吞吐量随数据传输速率增高而加大，连网距离较CSMA/CD方式大。缺点是控制电路较复杂、成本高，轻负载时，线路传输效率低。

## 2.4 局域网协议标准

美国IEEE于1980年2月专门成立了局域网课题研究组，对局域网制定了美国国家标准，并把它提交国际标准化组织作为国际标准的草案，1984年3月已得到ISO的采纳。到目前为目，IEEE802为局域网制定的标准有：

IEEE802.1A体系结构

IEEE802.1B寻址、网际互连和网间管理

IEEE802.2 逻辑链路控制

IEEE802.3 CSMA/CD总线访问方法和物理层技术规范

IEEE802.4 令牌总线访问控制方法和物理层技术规范

IEEE802.5 令牌环访问控制方法和物理层技术规范

IEEE802.6 城域网访问方法和物理层技术规范

最近几年，又制定了几个标准。IEEE802.7、802.8标准，主要作为光缆传输技术的局域网和时间片分割环网制定的；IEEE802.9主要是对传输突发性强、对时间又很敏感的等时以太网Isonet设计标准；Isonet设计标准，IEEE802.11是为无线局域网制定的标准。IEEE802.12是为100Mbps传输速率制定的100VG-Any LAN标准。

IEEE802模型与OSI参考模型对应关系见图8-2。IEEE主要对第一、二两层制定了规程，所以局域网的IEEE802模型是在OSI的物理层和数据链路层实现基本通信功能的，高层的标准没有制定。

IEEE802局域网参考模型对应于OSI参考模型物理层的功能，主要是：信号的编码、译码、前导码的生成和清除、比特的发送和接收。

IEEE802对应于OSI的数据链路层分为逻辑链路控制(LLC)子层和介质访问控制(MAC)子层、OSI的数据链路层的主要功能由IEEE802的LLC子层和部分的MAC子层来执行。

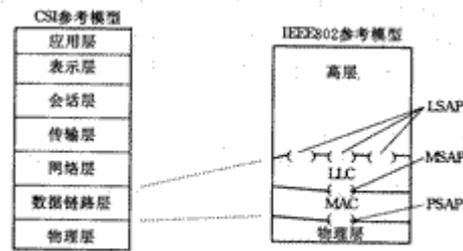


图 8-2 IOS/OSI 参考模型与 IEEE802 局域网参考模型对应关系

### 2.4.1 逻辑链路控制(LLC)子层

它向高层提供一个或多个访问点LSAP，用于同网络层通信的逻辑接口。LLC子层主要执行OSI 基本数据链路协议的大部分功能和网络层的部分功能，如具有帧的收发功能，在发送时，帧 由发送的数据加上地址和CRC校验等构成，接收时，将帧拆开，执行地址识别、CRC校验，并 具有帧顺序控制、差错控制、流量控制等功能。此外，它还执行数据报、虚电路、多路复用 等部分网络层的功能。LLC子层目前提供三种服务方式：(1)不确认无连接服务，此种服务类 似数据报，支持点一点、多点和广播服务，但不保证帧的可靠有序的传送。(2)连接方式服务，类似虚电路服务，为两个LLC用户之间建立一条逻辑连接，提供对数据单元的确认，流量控制、顺序控制和差错恢复等功能。(3)确认的无连接服务，也是一种数据报服务，但提供确认。它也支持点一点、多点和广播方式服务。

### 2.4.2 介质访问控制(MAC)子层

本子层主要提供如CSMA/CD、Token Ring等多种访问控制方式的有关协议。它还具有管理多个源、多个目的链路的功能。它向LLC子层提供单个MSAP服务访问点，由于有不同的访问控制方法，所以它与LLC子层有各种访问控制方法的接口，它与物理层则有PSAP访问点。

## 2.5 以太网

以太网(Ethernet)最初是美国Xerox公司和STANFORD大学合作于1975年推出的一种局域网。以后由于微机的快速发展，DEC、Intel、Xerox三公司合作于1980年9月等一次公布Ethernet 物理层和数据链路层的规范，也称DIX规范。IEEE802.3就是以DIX规范为主要来源而制定的 以太网标准。以太网具有传输速率高、网络软件丰富、安装连接简单、使用维护方便等优点，所以已成为国际流行的局域网标准之一，现在对其支持的几种以太网如10BASE-T以及最 新公布的IEEE802.3U中100BASE-T择要介绍如下：

### 2.5.1 10BASE-T双绞线以太网

10BASE-T是1990年由IEEE新认可的，编号为IEEE802.3i，T表示采用双绞线，现10BASE-T 采用的是无屏蔽双绞线。 10BASE-T的主要技术特性：

- (1)数据传输速率 10Mbps基带传输
- (2)每段双绞线最大长度 100m (HUB与工作站间及两个HUB之间)
- (3)一条通路允许连接HUB数 4个
- (4)拓扑结构 星形或总线形

- (5) 访问控制方式 CDMA/CD
- (6) 帧长度 可变, 最大1518个字节
- (7) 最大传输距离 500m
- (8) 每个HUB可连接的工作站 96个

10BASE-T的连接主要以集线器HUB作为枢纽(HUB将在第5节中介绍), 工作站通过网卡的RJ45 插座与RJ45接头相连, 另一端HUB的端口都可供RJ45的接头插入, 装拆非常方便。

10BASE-T由于安装方便, 价格比粗缆和细缆都便宜、管理、连接方便、性能优良, 它一经问世就受到广泛的注意和大量的应用, 归结起来, 它有如下特点:

(1) 网络建立和扩展, 十分灵活方便, 根据每个HUB的端口数量(有8、12、16、32口)和网络大小, 选用不同端口的HUB, 构成所需网络; 增减工作站可不中断整个网工作;

(2) 可以预先和电话线统一布线, 并在房间内预先安装好RJ45插座, 所以改变网络布局十分容易;

(3) HUB具有自动隔离故障作用, 当某工作站发生故障时, 不会影响网络正常工作;

(4) HUB可将一个网络有效的分成若干互连的段, 当发生故障时, 管理人员可在较短时间内迅速查出故障点, 提高故障排除的速度;

(5) 10BASE-T网与10BASE-2、10BASE-5能很好兼容, 所有标准以太网运行软件可不作修改能兼容运行;

(6) 在HUB上都设有粗缆的AUI接口和细缆的BNC接口, 所以粗缆或细缆与双绞线10BASE-T 网混合布线连接方便, 使用场合较多(见图8-3)。

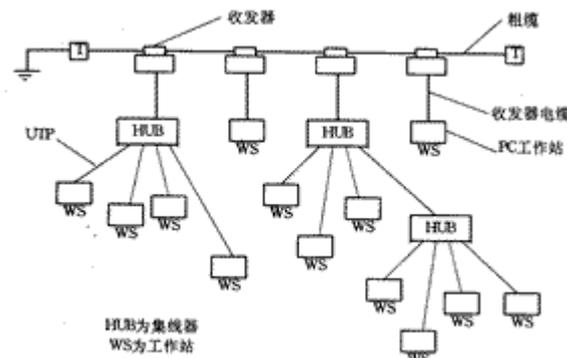


图 8-3 粗缆与双绞线连接的混合布线结构

### 2.5.2 100BASE-T快速以太网

100BASE-T的信息包格式、包长度、差错控制及信息管理均与10BASE-T相同, 但信息传输速率比10BASE-T提高了10倍。与10BASE-T不同的主要技术特性有:

- (1) 介质传输速率 100Mbps基带传输

- (2) 拓扑结构 星形
- (3) 从集线器到节点最大距离 100m (UTP) 185m (光缆)
- (4) 一个网段最多允许的HUB 2个
- (5) 两个HUB之间的允许距离 < 5m

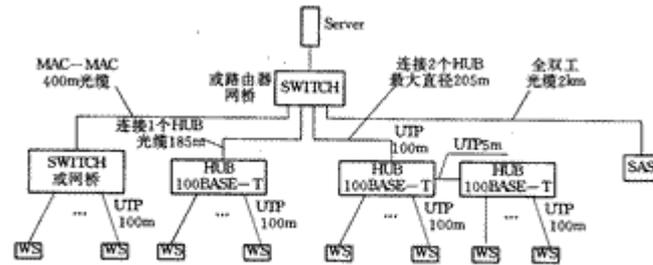


图 8-4 100BASE-T 拓扑结构示例

100BASE-T 的特点如下：

- (1) 性能价格比高，100BASE-T 约为 10BASE-T 价格的两倍，但可取得 10 倍性能的提高。
- (2) 升级容易，它与 10BASE-T 有很好的兼容性，许多硬件线缆、接头可不必重新投资，若需将 10BASE-T 升级时只需投入影响带宽的瓶颈部分资金进行更换设备。10BASE-T 的核心协议即访问控制方式不必更动即可在 100BASE-T 上使用。
- (3) 移值方便，10BASE-T 上的一些管理软件、网络分析工具都可在 100BASE-T 上使用。
- (4) 易于扩展，它可无缝地连接在 10BASE-T 的现有局域网中，它还可通过交换机方便地与 FD DI 主干校园网相接。

100BASE-T 的拓扑结构示于图 8-4。

## 2.6 IBM 令牌环网

令牌环 (Token Ring) 网是局域网的传统组网方式之一，它具有实现简单、控制效率高的特点。IBM 的令牌环网解决了令牌容易丢失和故障的容错能力弱等问题，使令牌环网的可靠性有了很大提高。近年来，令牌环网数量逐年增多，令牌环的双绞线局域网产品已成为市场的一种主要产品。

令牌环网的主要技术特性

- (1) 传输速率 4Mbps 或 16Mbps
- (2) 传输介质 UTP 或 STP
- (3) 拓扑结构 星状环形结构
- (4) 介质访问控制方式 IEEE802.5 Token Passing Ring

- (5) 多站访问部件MAU连接线缆最大长度 45m
- (6) 最大节点数 96个(4Mbps) 256个(16Mbps)
- (7) MAU与MAU最大间距45m

令牌环网通过MAU的接口BD9或RJ45接头与STP或UTP相连，STP或UTP的另一端与工作站的网卡上的BD9插座或RJ45插座相接。MAU类似于10BASE-T的HUB功能，一般设有8个或16个BD9接口或RJ45接口，用以与STP或UTP连接。MAU在物理上是星形结构，但通信的逻辑关系又是闭合的环路，这样就解决了环形结构站点增减的困难和由于一个节点故障而引起整个环形网的瘫痪问题。在某台工作站发生故障时只要将连接线缆从MAU接口处拆下即可，整个环网仍能正常工作。MAU有两个外部接口，即环入口RI和环出口RO。BD9是IBM的9针数据连接器接头，与STP相接。RJ45是UTP的接头。

令牌环网的连接方式见图8-5。

IBM令牌环网是采用点一点式物理信道，较以太网广播信道有很大优点，实时响应好，环接口是一个有源收发器、环网的分布范围较大，传输的延时小，但控制电路较复杂。

## 2.7 FDDI网(光纤分布式数据接口网)

FDDI以光纤作为传输介质，传输速率达100Mbps，它既可用于连接高性能工作站的高速局域网，也可作为互连本地局域网的主干网，已被ISO采纳作为ISO9314国际标准。

在它作为主干网时，由于连接距离较远，也有人称它为城域网。在1990年为了降低成本，又制订了使用双绞线的CDDI铜缆分布式数据接口标准，为了能传输话音、图象等实时业务又制定了FDDI-2标准。

### 2.7.1 主要技术特性

- (1) 传输介质光缆，按CDDI标准可连接UTP或STP
- (2) 传输速率 100Mbps
- (3) 拓扑结构 双环、双环树、树形
- (4) 主环最大站点数 1000(用光缆)
- (5) 环网最大长度 200km(光缆)  
984m(STP)  
200m(UTP)
- (6) 站点间最大距离 2km(多模光纤)  
60km(单模光纤)  
200m(STP)

100m(UTP)

(7)介质访问控制方式 定时令牌传递

(Timed  
Token  
Passing)

(8)延时时间 10~200ms

(9)最大帧长 4500字节

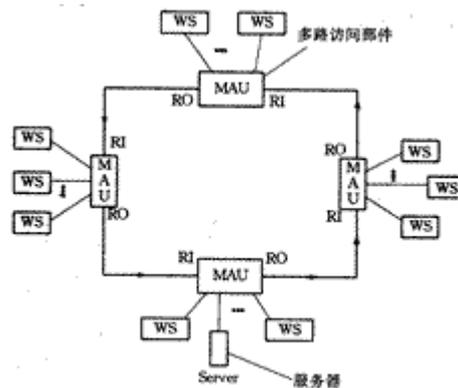


图 8-5 令牌网的连接方式

### 3 广域网WAN

近年来，计算机通信网的重要组成部分——广域网得到了很大的发展，它是近30年来 计算机技术与通信技术高速发展、相互促进、相互渗透而逐渐融为一体的具体结果。特别是 80年代以来，ISO公布了OSI参考模型，提供了计算机网络通信协议的结构和标准层次划分，为异种机的互连网络有了一个公认的协议准则；其次，微机的高速发展，促进了LAN的标准化、产品化，使它成为连结WAN的一个可靠的基本组成部分；此外，远程用户需求的增加，跨国跨省企业网的兴起，都是促使广域网继续发展的重要动力。WAN不仅在地理范围上超越 城市、省界、国界、洲界形成世界范围的计算机互连网络，而且在各种远程通信手段上有许多大的变化，如除了原有的电话网外，已有分组数据交换网、数字数据网、帧中继网以及集话音、图象、数据等为一体的ISDN网以及数字卫星网VSAT(very Small Aperture Terminal) 和无线分组数据通信网等；在技术上也有许多突破，如互连设备的快速发展，多路复用技术和交换技术的发展特别是ATM交换技术的日臻成熟，为广域网解决传输带宽这个瓶颈问题展现了美好的前景。下面择要介绍广域网采用的几种主要公共通信平台。

#### 3.1 公用电话网PSTN

公用电话网PSTN(Public Switched Telephone Network)是公用通信网络中的基础网，通信区域覆盖全国，利用电话网进行远程通信是投资少、见效快、实现大范围数字通信最便捷的方法。利用现有的电话网，只要在计算机或终端设备进入电话网的前端装入调制解调器MODE M，将数字数据信号变换成模拟信号进入电话交换网即可。

公用电话网一般由本地电话网和长途电话网组成，本地电话网是指一个城市

或一个地区的电话网，由端局和汇接局组成，端局主要与长途电话网进行交换任务，汇接局主要是进行本地区的电话交换，与端局构成一个交换网络。长途电话网由一、二、三、级长途交换中心与五级交换中心(端局)，构成网状与汇接相结合的复合形网络结构。在同一交换区内相邻等级交换中心之间的电路群称作基干路由，任意两个长途交换中心之间的低呼损电路群称作低呼损直达路由，高效电路群称作高效直达路由。在长途电话网五级交换中心服务范围内可组织开放长途数据业务，也可经国际出口局开放国际数据业务。

电话网主要由长途传输介质和交换设备组成，长途传输介质主要采用铜缆，中继线路也有采用光缆以及微波通信系统，交换设备有长途电话交换机、国际自动电话交换设备以及市内自动电路交换设备等。

利用电话网进行数据传输的电路有2线式和4线式两种。2线式特点是发送数据和接收数据都在2条线路中传输，4线式指发送和接收各用2条线连接。在2线式中，MODEM需将内部的调制、解调4线方式增加一个2/4式的变换电路才能使用。

在电话网上进行计算机数据通信，可通过拨号方式经MODEM，由PSTN实现电路接通，所以电话用户不需另装用户线、中继线和交换机，只需购买一台PC机和MODEM以及通用的通信软件，即能与一城市或另一城市相同类型的智能终端或局域网进行远程通信。如目前个人计算机用户要使用Internet网，首先到当地网管中心申请一个入网帐号，然后使用时，通过电话拨号登录到Internet的UNIX主机，它运行的是IP软件，这样，用户即可通过UNIX主机提供的软件进入Internet，此外，用电话拨号方式通过SLIP/PPP协议实现与专线方式入网相同的功能，要求用户配有SLIP/PPP软件，但享用的Internet资源比与UNIX联孔方式要丰富得多。

PSTN的主要缺点是可靠性差、传输速率低，一般为1200~2400bps，4800~9600bps，在质量较好的线路上也可达14.4kbps以上。

## 3.2 公用分组交换数据网

公用分组交换数据网是实现不同类型计算机之间进行远距离数据传送的重要公共通信平台，是目前国际上普遍采用的一种广域连接方式。它是遵照国际电信联盟的电信标准部门。

ITU-TSS制定的X.25协议是世界上许多电信组织和厂商支持和遵守的国际标准。X.25网是国际上广泛采用的公用数据网络。

### 3.2.1 X.25协议简介

X.25协议是指用分组方式工作并通过专用电路和公用数据网连接的终端使用的数据终端设备(DTE)和数据电路终端设备(DCE)之间的接口的协议。它定义了物理层、数据链路层、分组层(即网络层)三层协议，分别对应于ISO/OSI七层模型的下三层。

(1)物理层 基本功能是建立、保持和拆除DTE和DCE之间物理链路的机械、电气、功能和规程的条件，提供同步、全双工的点到点比特流的传输手段，DTE和本地DCE之间的接口按X.21建议规定。

(2)数据链路层 通过DTE和本地分组交换机PSE(Packet Switched Equipment)间的物理链路向分组层提供等待重发、差错控制方式的分组传送服务，所以可靠性高，这一层规定的LAPB(Link Access Procedure Balanced)规程是HDLC规程的平衡类子集，主要规定了数据链路的建立和拆除规程，建立后的信息传输规程，

以及差错控制、流量控制等。另外这一层还规定了多链路规程MLP (Multi Link Procedure)，通过在多条平行的数据链路上同时传送信息帧，以提高信息的吞吐量和可靠性。

(3) 分组层(网络层)主要描述DTE/DCE接口上交换控制信息和用户数据的分组层规程，规定了虚电路业务规程，基本分组结构和数据分组格式以及可选用的用户业务功能等。这一层采用的是时分复用原理，实现一个源DTE利用一条物理电路呼叫多个目的DTE进行分组数据交换。此外还提供永久虚电路PVC业务，这是供用户固定使用的虚电路，源DTE不必须立呼叫即能使用虚电路。

X. 25中各分层协议的相互关系见图8—6。

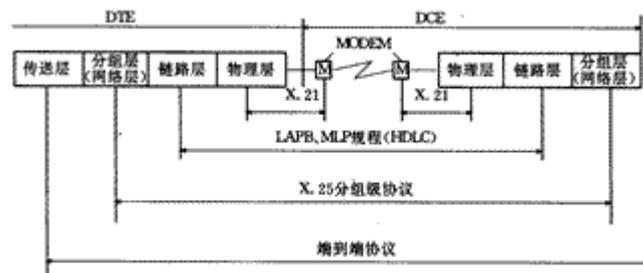


图 8—6 X. 25 各分层协议关系

### 3. 2. 2 分组交换原理

分组交换是把电路交换和报文交换的优点结合起来产生的一种交换技术。电路交换过程类似于打电话，当用户需发送数据时，主叫方需通过呼叫，由交换网完成被叫才与它建立一条物理连接数据通路，需拆除连接时，由通信双方中任何一方完成。它的特点是适合发送一次性大批量的信息。由于建立连接时间长，传递短报文时，效率较低。并且对通信双方在信息传输速率、编码格式、通信协议等方面完全兼容，这就限制了不同速率、不同编码格式、不同通信协议的双方用户进行通信。报文交换的基本原理是采用“存储—转发”技术，从源站发送报文时，把目的地址添加在报文中，然后网络中的交换机将源站的报文接收后暂时存储在存储器中，再根据提供的目的地址，不断通过网络中的其它交换机选择空闲的路径转发，最后送到目的地址。这样就解决了不同类型用户之间的通信，并且不需要像电路交换那样在传输过程中长时间建立一条物理通路，而可以在同一条线路上以报文为单位进行多路复用，所以大大提高了线路的利用率。但此种方式时延较长，时延变化大，不适用于实时及会话式通信，但适用于电子邮件、计算机文件、公用电报等业务。

分组交换仍采用“存储—转发”技术，但不像报文交换那样以报文为单位进行交换，而是将报文划分成有固定格式的分组(Packet)进行交换、传输，一般为1kbit~数千位，每个分组按一定格式附加源与目的地址，分组编号、分组起始、结束标志、差错校验等信息，以分组形式在网络中传输。当源DTE将分组以比特串形式传送至本地分组交换机PSE后，本地PSE收到每个分组要求的转发信息，不管是否接通目的地址设备，都先存储起来，然后检查目的地址，在PSE保存的路由表中找到该目的地址规定的发送通路，PSE即按允许的最大发送速率转发该分组。同样，每个中转PSE均按此方式存储、转发每个分组，直到将分组送到目的地PSE，再由该PSE送达目的地址DTE(见图8—7)。

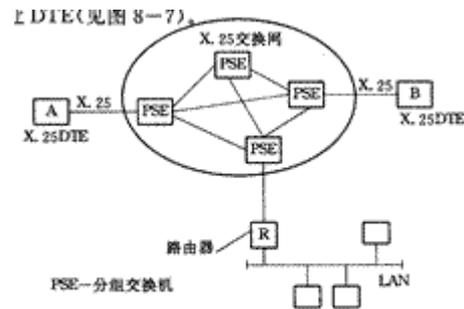


图 8-7 X.25 的分组交换示意图

按上述方式传送的是分组交换中的数据报方式。一般适用于较短的单个分组的报文。其优点是传输可靠性高、传输延时小，由于PSE上的存储器容量减小，所以提高了经济性，缺点是每个分组附加的控制信息多，增加了传输信息的长度和处理时间，增大了额外开销。

分组交换的另一种方式叫虚电路方式，它与数据报方式的区别主要是在信息交换之前，由源 DTE向本地PSE发送一特定呼叫请求的分组，其中含有目的DTE的地址及逻辑信道识别符，并由PSE中转转发。若呼叫被目的DTE接受，则相应的响应“呼叫接受”予以应答，网络即发出一个“呼叫连通”给源DTE，此时呼叫建立，在两台DTE之间建立一条称作虚电路的逻辑通路，信息就能在这条虚电路上传输，直到数据交换结束，虚电路被拆除，相应的逻辑信道识别符被释放。所以虚电路方式在每次通信时都有虚电路建立、数据传输和拆除三个阶段，类似于电路交换方式，但在网络中的传输是分组交换方式。这种方式对信息传输频率高、每次传输量小的用户不太适用，但由于每个分组头只需标出虚电路标识符和序号，所以分组头开销小，适用长报文传送。

### 3.3 数字数据网DDN

数字数据网DDN(Digital Data Network)是利用数字信道传输数据信号的数字传输网，它主要向用户提供端到端的数字型数据传输信道，既可用于计算机远程通信，也可传送数字化传真、数字语音、图象等各种数字化业务，这与在模拟信道上通过MODEM来实现数据传输有很大区别。因为现有通信网的模拟信道主要是为传输话音信号而设置的，它通信速率低、可靠性差，很难满足日益增长的计算机通信用户和其它数字传输用户的要求。

DDN传输原理如下：

由于大量数字图象、图形信息传输任务日益增多，再加上光缆通信的发展和脉冲编码调制PCM设备的实际应用，使大容量信息的高速传输成为可能，DDN网也正是利用这一技术得以投入使用的。

PCM原理在30年代已经提出，由于当时器件限制，只停留在试验阶段。至60年代初，PCM作为传输端机开始投入实际使用，作为两个模拟局间的数字中继线，既解决了线路复用，又改善了音质音量。由于效果显著，所以后来PCM发展很快。目前世界上流行两种PCM制式，一是美、日等国发展的PCM24路一次群设备，称为T<sub>1</sub>，另一种由西欧国家发展的PCM30/32路一次群设备称为E<sub>1</sub>，目前我国采用E<sub>1</sub>制式。

PCM一次群的帧结构在T=125μs一个周期内共有32个时隙，其中有30个话路时隙，1个同步时隙和1个信令时隙。每个时隙时间为3.9μs，内有8位码，所以在一个取样周期内共有8×32=25.6bit，每秒取样8000次，故30/32路PCM传输端机的码率为8k×256=2.048Mbps，而每一路码率为8k×8=64kbps。

上面为一次群速率，如果信道带宽允许，则4个一次群合成8.448Mbps的二次群码率，4个二次群可合成34.368Mbps的三次群码率，4个三次群合成139.264Mbps的四次群码率。

CHINA DDN在北京设立网管中心，管理全网的网络资源分配及运营状态、故障诊断、报警及处理等。在北京、上海、广州、南京、武汉、西安、成都、沈阳设有枢纽节点机，其他省会城市设骨干节点机，此外，北京、上海、广州还设有国际出入口节点设备。

目前CHINA DDN适用于信息量大、实时性强的中高速数据通信业务，如局域网的互连、大型同类主机的互连、业务量大的专用网以及图象传输、会议电视等。目前能提供的业务有：提供2.4、4.8、9.6、19.2、 $n \times 64\text{kbps}$  ( $n=1 \sim 31$ )等不同速率的点对点、点对多点的通信；单向、双向、 $n$ 向的通信；提供各种可用度高、延时小、定时、多点等专用电路服务，此外还可提供帧中继、话音/G3传真及虚拟专用网等业务。截至1995年11月止，数字数据网用户已有1.64万多户。

### 3.4 帧中继FR

帧中继FR(Frame Relay)为广域网的公共通信平台提供了一种新的高速、高质量的数据传输服务。

#### 3.4.1 基本原理

X.25分组交换技术产生的背景是针对过去质量较差的传输环境，为提供高可靠性的数据服务，保证端到端传送质量，所以它采用逐段链路差错控制和流量控制，由于协议多，每台X.25交换机都要进行大量的处理，这样就使传输速率降低，时延增加。而帧中继技术吸纳了X.25的优点，以分组交换技术为基础，综合X.25统计复用，端口共享等技术，采用分组交换中把数据组成不可分割的帧，以帧为单位发送、接收和处理，为了克服X.25分组交换开销大、时延长的缺点，帧中继省略了分组层(网络层)的功能，保留了链路层统计复用和核心子层(LAPE—CORE)中帧的透明传输和差错检测及虚电路复用功能，不提供出错后的重传功能。由于省略了帧编号、差错控制、流量控制、应答、监视等功能，所以大大节省了交换机的开销，降低了时延，提高了信息吞吐量，而把这些功能全部交给用户终端去完成。

近年来，由于光缆线路的铺设，大大提高了数据传输的可靠性，再加上用户终端设备的处理速率和处理能力都有很大的增强，所以帧中继在线路上可以减少许多功能，而把这些功能由端机去完成，这样就大大提高帧中继的交换速率，人们把它称作为快速分组交换，从实际使用来看，它确实是一种灵活、高速、可靠的网络技术。

#### 3.4.2 帧中继的主要性能

帧中继的主要性能如下：

- (1) 用户进网速率 64kbps~204kbps ( $E_1$ 速)，(今后可达更高的 $E_2$ 、 $E_3$ 速率)
- (2) 中继线速率 256kbps~45Mbps
- (3) 节点机时延 2~8ms
- (4) 帧大小 可变长度~4096B

(5)网络通过量 1000~100000帧/s

(6)虚电路通过量 1~256kB/s

(7)突发性业务处理能力 强

### 3.4.3 帧中继在中国的应用

我国在北京、上海、广东等一些局部地区开放了帧中继业务，如北京在1994年在北京8个电话汇接局安装帧中继节点，为北京建设银行、外汇管理局等用户建立了帧中继网，其速率分别为64kbps和512kbps，后者经路由器与令牌网、IBM ES9000主机及两台3745前端处理机相连。由于帧中继的各种新产品不断问世，且它主要以软件为基础，所以容易实现连网，也容易更新，联网成本低，系统配置灵活。虽然ATM异步转移模式已经问世，但其大量发展还需一定时间。帧中继作为过渡时期对ATM的一种补充，它在高速数据传输领域还有较强的生命力。

### 3.5 综合业务数字网(ISDN)和ATM

综合业务数字网ISDN是由电话综合数字网IDN(Integrated Digital Network)为基础发展起来的通信网。电话网是各国主要的电信网，为了使模拟网发展成为数字网，首先要将大量模拟电话网改造成为能实现传输和交换的数字网，这就形成电话IDN。而ISDN不仅要利用IDN的数字交换和数字传输，而且要在用户终端之间实现端到端的双向数字传输，并把各种信息源的电信业务(电话、电报、传真、数据、图象)采用一个共同的接口，综合在同一网内进行传输和处理，统一计费，并可在不同的业务终端之间实现通信，使数字技术的综合和电信业务的综合互相结合在一起构成综合业务数字网。

ISDN和B-ISDN将在第九章中介绍，在此就不再赘述。

ATM是一种信元交换和多路复用技术。信元(Cell)实际上是分组，为了与X.25的分组有别，所以将ATM的信息单元命名为信元。ATM信元具有固定长度，总共53个字节，前5个字节是信头(Header)，其余48个字节是信息段。信头中有信元去向的逻辑地址、优先级、信头差错控制、流量控制等信息。信息段中装入被分解成数据块的各种不同业务的用户信息或其他管理信息，并透明地穿过网络。来自不同业务和不同源端发送的信息统一以固定字节的信元汇集一起，在ATM交换机的缓冲区排队，然后传送到线路上，由信息头中的地址来确定信元的去向。由于信元发自主不同的速率，每个信道不像同步时分复用是对应于某个固定的时隙，而是由信头的标志来区分信息的方法叫异步时分复用，这种方法可使任何业务按实际需要占用资源、保证网络资源得到合理利用。

由于ATM在CATV宽带综合网和B-ISDN中的重要作用，将在第十一章进行专题介绍。

## 4 网络的互连

随着局域网和广域网的发展，网络互连的要求也越来越迫切。网络互连的实现，不仅可使用户能够更好地实现资源共享，消除地理位置的差异，而且可以从整体上提高网络的效益和各种性能。

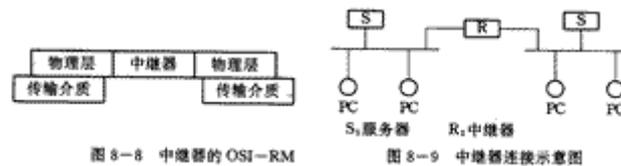
### 4.1 局域网之间的互连

根据OSI-RM的分层模式，计算机局部网之间的互连分为4个层次，即物理层、数据链路层、网络层和传输层。实现这些不同层次上互连的硬件分别有中继

器、网桥、路由器和网关。

### 4.1.1 中继器

中继器工作在OSI-RM的最低层—物理层，如图8-8所示。中继器的作用是放大通过网络传输的数据信号，用于扩展局部网的作用范围。由于中继器工作在物理层，所以它对于高层协议是完全透明的，即无论高层采用什么协议都与中继器无关。



采用中继器所连接的网络，在逻辑功能方面实际上是同一个网络。在图8-9所示的同轴电缆以太网中，两段电缆其实相当于一根。中继器仅仅起了扩展距离的作用，但它不能提供隔离功能。中继器的主要优点是安装简单，使用方便，几乎不需要维护。集线器也可以看成是一种中继器。

### 4.1.2 网桥

网桥的操作在数据链路层，如图8-10所示。当一个信息包通过网桥时，网桥检查它的源地地址和目的地址。如果这两个地址分别属于不同的网络，则网桥把该信息包转发到另一个网络上，反之则不转发，所以网桥具有过滤和转发功能，因此能起到网络的隔离作用，这样提高了网络的整体效率。网桥对高层协议也是透明的。网桥还有一个重要特点：它能连接各种不同传输介质的网络。

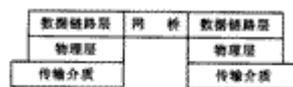


图 8-10 网桥的 OSI-RM

网桥的最简单形式是互连两个局部网的两端口网桥，如图8-11(a)所示。由于网桥具有隔离作用，所以网络的运行效率高。当两个网络上的节点访问各自的服务器时，它们同时工作，互不干扰。还有多端口网桥，将多个局部网互连，称为多路网桥。网桥还可以分近程网桥和远程网桥。近程网桥直接把网络的传输介质连入网桥。远程网桥则通过长途线路连接网络。两个局部网通过远程网桥互连时，每个网络上都要安装一个网桥，如图8-10(b)所示。

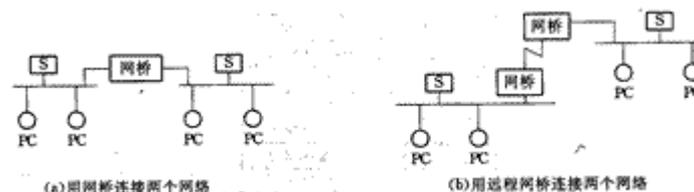


图 8-11 网桥连接示意图

### 4.1.3 路由器

路由器工作在网络层，如图8-12所示。路由器中存放着一个路由表，根据它决定用户数据的流向。路由器可以用于连接多个网络和多种传输介质，适用于复杂和大型的网络互连。由于路由器工作在网络层，所以网络层以下的低层协议不

能使用。

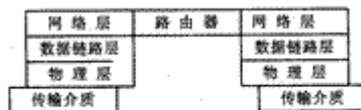


图 8-12 路由器的 OSI-RM

路由器具有以下特点：

(1) 在多个网络 and 不同传输介质之间提供网络互连。例如，一台路由器可以互连若干个以太网和一个X.25网。

(2) 不需要相互通信的网络之间保持永久连接。路由器能够根据需要建立新的连接，提供动态带宽，拆除闲置的连接。

(3) 能够提供可靠传输、优先服务，还能按路由配置提供最便宜和最快速的服务。

(4) 使用路由器可使互连的网络保持自己的管理控制范围，保证网的安全。

由于路由器具有上述特点，除了用于局部网之间的互连外，也用于实现局部网和广域网的互连。如图8-13所示。

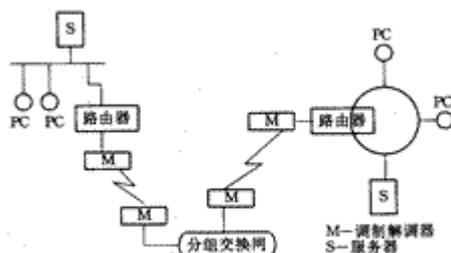


图 8-13 路由器应用示意图

#### 4.1.4 网关

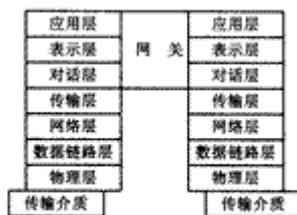


图 8-14 网关的 OSI-RM

网关用于两个完全不同的网络互连。网关工作在OSI-RM的高三层，即对话层、表示层和应用层，如图8-14所示。网关的重要特点是具有协议转换功能，也就是把一种网络协议转换到另一种协议，并且还保留原有的功能。所以网关也称为协议转换器。网关主要用于通用的网络系统，如电子邮件等。网关应用的例子如图8-15所示。

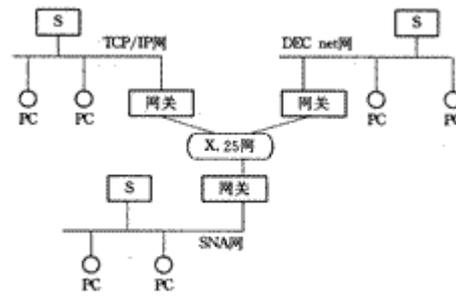


图 8-15 网关应用示意图

由于网关提供一种协议到另一种协议的转换功能，因此它的效率比较低，透明性不好，而且更具有针对性。网关的管理比网桥和路由器更加复杂。

## 4.2 广域网之间的互连

### 4.2.1 X.75协议

X.75协议是前CCITT为实现国际分组交换网之间的互连而制定。通过它，不同分组交换网上的用户之间就可以进行通信。为了便于互连的实现，X.75与X.25十分相似。图8-16是采用了X.75协议把两个X.25分组交换网互连起来的示意图。X.75协议定义了信号端接设备(STE)。STE的功能是连接两个X.25网的DCE级网关。如图所示，X.25协议规定了DTE和DCE之间的接口，而X.75协议则规定了STE之间的接口。

当多个分组交换网进行互连时，可在每个网络中设置多个STE。

### 4.2.2 TCP/IP协议

将在第十章中进行讨论。

## 第九章 ISDN和B-ISDN

### 1 ISDN的基本概念

#### 1.1 ISDN的定义

电话网在实现了数字传输和数字交换后，就形成了电话的综合数字网IDN(Integrated Digital Network)。然后，在用户线上实现二级双向数字传输，以及将各种话音和非话音业务综合起来处理和传输。实现不同业务终端之间的互通。也就是说，把数字技术的综合和电信业务的综合结合起来，这就是综合业务数字网ISDN的概念。

CCITT于1972年第一次给出了IDN和ISDN的定义。指出ISDN是一种网络结构，通常是以IDN为基础发展演变而成。这种网络能够提供端到端的数字连接，用来承载包括话音和非话音在内的多种电信业务，用户能够通过有限的一组标准的多用途的用户/网络接口接入这个网络。经过20余年的研究和试验，ISDN的定义正在逐步修改、补充和完善。

#### 1.2 ISDN的主要内容

ISDN提供一种对局内呼叫或局间呼叫的端对端的透明数字网，其所需要的局间传输中继线设备是已广泛使用的数字多路传输系统。

ISDN只使用两种基本类型的信道：承载用于传输数字语音和数据业务的64kbps的B信道以及用于传输呼叫用的数字信令或数据的16kbps的D信道。

ISDN与现有的电信网及其他通信网的业务是完全兼容的。后者现有的外部设备大约有94%仍可用于ISDN中，交换机配上能处理ISDN业务接口的硬件板和专门的软件后，大多数现代的数字程控交换机系统本质上都可以用来交换ISDN的呼叫。

对ISDN的呼叫控制是在D信道中采用共路信令来完成用户终端和中心局之间的信令任务的。

ISDN的用户设备CPE(Customer Premises Equipment)和网络之间信息传输和物理连接是用用户/网络接口来实现的。

ISDN的用户/网络接口在众多的接口方案中，采用两种接口方式：基本速率接口BRI(Basic Rate Interface)即2B+D，B为64kbps速率的数字信道，D为16kbps的数字信道；以及基群速率接口PRI(Primary Rate Interface)即30B+D或23B+D，B和D均为64kbps的数字信道。用户/网络接口用于CPE和网络之间的信号形成和物理连接。

用户终端设备、接口和网络的连接关系参见图9-1。

### 1.3 ISDN的组成部分

ISDN的主要组成部分是用户/网络接口、原有的电话用户环路和交换终端ET(Exchange Termination)。ISDN可以提供对现在和将来的所有网络业务的接入。图9-2所示的是从用户接口到中心局设备ET的接入。图中有两个ISDN的接入部分位于两边的ET和CPE之间。在两个ET之间的是所有现存的或一些潜在的局间网络。包括：

- (1) 传统电话的电路交换网；
- (2) 分组交换网，用于数字化的数据通信；
- (3) 信道交换网，包括能够进行组交换的、保持长时期的数字载波信道；
- (4) 宽带网，用于需要额外带宽的场合；
- (5) ISDN的局间信令网，一个带外的共路信令系统。目前选用7号信令系统(CC-SS7)。它不仅能传输传统的局间信令，还能同时传递中心局之间的D信道中的智能信息。

ISDN与以上所有的网络兼容，均可接入。

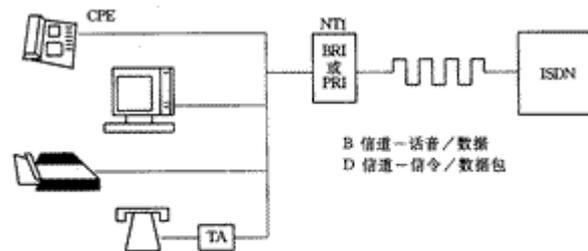


图9-1 用户终端设备、接口和网络连接关系图

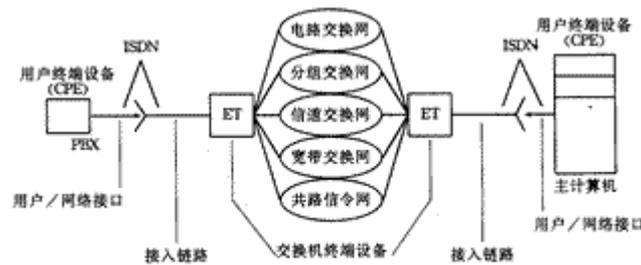


图9-2 ISDN的组成部分以及与现存各种网络的关系

## 2 ISDN的网络接口标准

实际上，ISDN是一种接入的结构形式，各组成部件按一定的规约、协议、标准相连接。图9-3是ISDN用户/网络间参考配置模型。

### 2.1 ISDN传输标准接口

ISDN采用标准的基本速率接口BRI或基群速率接口PRI，使用户能接入多种业务。电话局采用一种国际标准格式，通过数字信号单元的形式，向ISDN用户提供所有的业务

TE1—ISDN标准终端    NT1—一端接U环路的网络接口    LT—线路终端    TE2—非ISDN标准终端  
 NT2—多路ISDN接口    ET—ISDN交换终端    TA—终端适配器

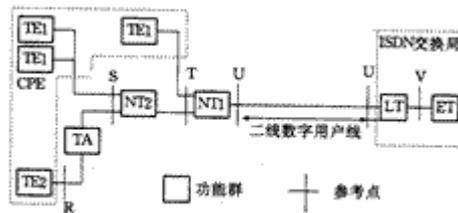


图 9-3 ISDN 用户/网络间参考配置模型

基本速率接口BRI结构如下：

BRI含有两个64kbps的B信道和一个用作控制的16kbps的D信道。因此，BRI接口的容量可以为：两个话路+16kbps的数据包；或者两路高速数据+16kbps的数据包；或者一个话路+一路高速数据+16kbps的数据包。

基群速率接口PRI结构如下：

PRI支持23个(或30个)B信道和一个64kbps的D信道作为信令用，也可支持64kbps的B信道的联合使用。比如6个B信道联合组成384kbps的H0信道，或者组成一个单独的1.536Mbps的H11信道，或者组成一个单独的1.920Mbps的H12信道。D信道总是需要的，D信道被用来传递信令以及控制多重接口。

ISDN的PRI可以有多种安排，使用最广泛的是23(或30)个分别工作的64kbps的B信道和一个作控制的64kbps的D信道。PRI允许接到一个数字专用分支交换机上。

PRI的终端用户通常是一个有ISDN功能的数字专用分支交换机或者一个主计算机。一个终端用户并不一定需要使用全部24(或30)个信道，只要安排好D信道，其他信道则可用可不用，多余的信道可以划分给专用线使用，也可闲置起来。

### 2.2 ISDN用户 / 网络接口

ISDN使用一组兼容的用户 / 网络接口，它可以在很广的范围内支持用户的应用、装备和各种配置。接口包括NT1、NT2、TE1、TA和TE2。这些接口为应用之间、位置之间和业务之间提供了极大的灵活性。

图9-3中R、S、T、U、V是国际电信联盟ITU定义的ISDN的用户 / 网络模型中的参考点。参考点是用来划分不同功能群的分界点，也可以是设备单元之间的物理接口。功能群是接口中具有某些功能的组合，这是一个抽象的概念，不一定与实际设施相符。

我们先来看看NT1和U参考点，这是NT1去中心局向的线路侧。U参考点去中心局的两线环路称为U环路，NT1的U侧完成的功能有：端接恒定的电流；端接传输线路；线路的过压过流保护(雷电、线路交叉及火灾等)；线路信号的编码、译码；线路特性的自动补偿(不同的电缆长度、线径、抽头引起的失配等)；支持同步；收发数据码流的加扰和解扰；清除B1、B2、D信道的发送和接收，以及插入操作和维护等。

表9-1 ISDN用户 / 网络接口种类

用户网络接口类型	物理接口速率	接口结构 结构名称	
		结构名称	信道结构
基本接口	192kbit/s	基本接口 (基本接入)	2B+D16 B=64kbit/s; D=16kbit/s
基群速率接口	1544kbit/s 或 2048kbit/s	B信道接口 (多信道接入) H0信道进口(高速接入)	23B+D64 (D=64kbit/s) 30B+D64(D=64kbit/s) 4H或3H0+D64(1544kbit/s) 5H0+D64(2048kbit/s)
		H1信道接口 (高速接入) B/H0混合信道接口	H11(1544kbit/s) H12+D64(2048kbit/s) nB+mH0+D64
		基本接入 复用接口	1544kbit/s正在研究 12×(2B+D16)(2048kbit/s)

再来看NT1和T或S/T参考点(仅有一路ISDN接口时S参考点即T参考点)，这是NT1的终端侧。NT1是用四线与用户终端CPE相联的，一个线对发，一个线对收。在T或S/T参考点，ISDN的基本速率是192kbps。NT1的S/T侧完成的功能有：提供两组终端阻抗，分别用于发送和接收线对；对布线的过压过流保护；线路信号的编码、译码；解决与S/T总线相连的终端设备对D信道的争用(把D信道比特从接收帧中插入发送帧的回波比特中)；提供NT1和终端适配器TA之间的四线连接；信号重建以适应NT1内部接口需要(从S/T总线到U总线)；提供自环测试及维护等。

NT1的S / T侧也是无源总线的一部分。无源总线由用户布线、ISDN接口和ISDN终端组成。无源总线的最大长度取决于电缆的型号和长度、多终端无源总线的配置、信号衰减(96kHz时不大于6dB)、终端设备的相位延迟等。

我们继续来看NT2, NT2用于多个终端和一条ISDN用户线之间的连接, 比如PBX或终端控制器。若只有一个ISDN终端, 就不需要NT2了。NT2的功能有规约(协议)的处理、多路复接、交换、集线、维护及接口等功能。

TE1是符合CCITT I 410ISDN用户 / 网络接口建议标准的终端设备, 可直接与NT1接口。如一部ISDN的电话机不同于普通模拟话机, 它还应具有协议处理、连接其他设备、维护及接口等功能。

TE2是不符合标准的终端设备, 需经过一个终端适配器TA才能接入NT1。

R是非标准的ISDN终端TE2与TA之间的参考点。

### 2.3 数字用户线

数字用户线是用户与中心局之间的二线环路的连接, 无载回路可长达18.7km, 包括电缆对、跳接线接口、中心局内的布线和用户驻地的布线。

数字用户线上传递ISDN的所有信息, 其线路码采用2B1Q方式。这种编码方式把两个相邻的比特结合在一起组成一个四进制符号, 第一位比特为符号位, 第二位比特为振幅位, 见图9-4。

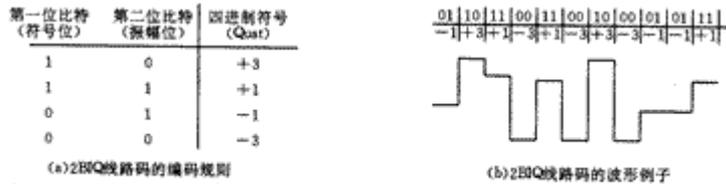


图9-4 数字用户上传的2B1Q码

考虑到经济性, 数字用户线不象中继线路, 一般是二线制的。因此, 实现二线双向数字传输是关键所在。双向复用的方法可以有: 频分法、乒乓法和回波抵消法。

频分法是对接收和发送采用不同频率的传输频带, 用高、低通滤波器分割而实现。但对滤波器要求严格, 一般不用。

乒乓法又称时间压缩法。它是采用对数字比特流进行处理, 变成高速窄脉冲流, 再利用开关周期性地在二线环路上交替发送、接收数字信号流。在接收端再将高速窄脉冲恢复成原先的数字比特流。由于存在线路延迟, 为了适应不同的环路长度, 应在每一交替周期中安排一个保护时间。由于提高了传输速度, 会增大线路损耗, 缩短传输距离, 在0.5mm线径上的传输距离约4~5km, 但技术难度小, 成本较低。

回波抵消法是对收、发差接电路产生的近端回波, 采用自适应滤波器根据输入端的信号估算出回波的大小, 然后在输出端减去此估算值, 达到抵消回波的目的。见图9-5, 回波抵消法传输距离长, 传输距离可达6~7km, 但实现的技术较为复杂。随着大规模集成电路技术水平的提高, 回波抵消法可能在U接口中被越来越多地采用。



图9-5 回波抵消法原理图

回波抵消法的原理为: 在二线传输的两个方向上同时间、同频谱地占用线路, 在线路上两个方向传输的信号完全混在一起, 本端发信号的回波即成为本端收信号的干扰信号, 利用自适应滤波器可抵消回波以达到较好的接收信号质量。

## 3 ISDN用户 / 网络接口的分层功能

根据开放系统互连参考模型, ISDN用户 / 网络接口协议分为三层: 第一层是物理层, 它包括基本接入接口和一次群速率接口。第二层是数据链路层。第三层是网络层。

物理层提供建立、维持和释放物理连接的手段, 保证物理电路上的信息传输。物理层规范是指对接口的电气特性、物理特性, 包括接插件机械特性等的规范。

链路层在物理层的基础上提供数据链路的建立、维持和释放手段。数据链路层完成链路复用、差错检测及恢复流量控制和信息传递的功能。

表9-2 ISDN用户 / 网络接口协议概要

OSI层	主要功能	业务特性
------	------	------

号				
第一层	电气 / 物理规范, 包括布线配置等, D通路冲突检测, 激活 / 去激活功能, 供电功能	提供多个传输通路, 连接多个终端, 标准插座 〔BHDG4〕第二层	建立传递消息的链路, 差错检测及控制, 流量控制	多个逻辑链路的复用; 提供广播链路和点对点链路, 具有地址和业务标识能力
第三层	呼叫控制包括呼叫建立、保持和释放, 补充业务的控制	提供多个通路的选择和使用; 呼叫暂停和恢复, 多个终端接入的协议控制; 多种业务的请求及控制		

网络层根据第二层提供的服务完成呼叫控制的功能, 包括电路交换呼叫和分组交换呼叫的控制。在ISDN用户 / 网络接口上的第二层和第三层协议称为1号数字用户信令(DSS1)。

ISDN用户 / 网络接口物理层、链路层和网络层的功能概要见表9-2, 分层示意图见图9-6。

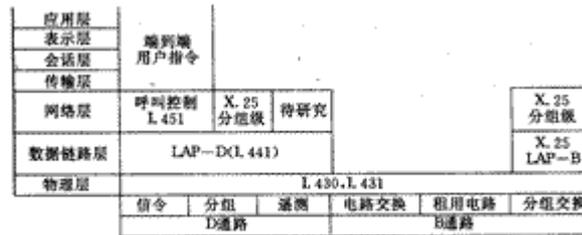


图 9-6 用户/网络接口协议结构

### 4 ISDN发展概况

ISDN的优点和合理性是显著的, 尤其是可以在现有的用户线路上实现, 这是最诱人之处。世界各国都在制定各自的ISDN的发展规划。

但是引入ISDN还需解决不少问题, 关键是标准化和经费方面的问题。其中标准的制定已有协议, 因此实施和试验是走向实用化的极为重要和不可缺少的一步。美国电信部门已作了部署, 从1996年12月31日23点59分(世界时)起, 所有的ISDN局必须满足CCITTE. 164建议的要求。日本、法国、德国、韩国都已制定了计划, 积极推进ISDN的应用。

### 5 ISDN的应用热点

ISDN已在民用、商用等领域内获得很广的市场。下面介绍几种应用情况。

- (1) 在家办公(Work-At-Home): ISDN使一些用户能够在家工作, 从而节约了办公空间和上下班时间, 提高了工作效率, 增加了灵活性, 减少了空气污染。
- (2) 远程通信(Telecommuting): 通过Internet, ISDN可以访问象公告牌、当天新闻信息资源, 也能容易地通过访问数据库预订机票、查询图书馆。
- (3) 电子函件(E-mail): 信息扩展后的E-mail可向用户提供传真、语音和图象信息, 而且传输速度很快, 平均少于8s。
- (4) 在线接续: 借助于ISDN, 无论在家中还是卫星局, 用户都可以使用计算机进行在线交互访问, 比如数据库和屏幕编辑。
- (5) 远程医疗诊断: 对于一些边远地区或象监狱中的罪犯病人, 可以在世界各地的医院通过ISDN实时交换有关患者的数据进行诊断, 见图7-19。
- (6) 远程教育: 远距离的学习使学生免去旅行时间, 可以大量地传播知识, 多媒体程序使学生获得更多的信息, 见图7-20。
- (7) 可视电话会议和桌面会议: 电视会议使远离的人们能够全方位地出席会议相互交流, 桌面会议则适于两个或多人之间的一对一的会晤。
- (8) 远距离的传播声音: 在专业广播领域需要高质量的音频连接, 使用ISDN技术则可以远距离传播清晰的

数字化的声音。

(9) 商业信用卡：在销售点P O S(Point-of-Sale)，由于数据库的响应能快速传输，因此对ISDN信用卡的核对仅需3~5s，而传统的模拟呼叫的建立平均需要15s。

(10) ISDN增强了专用线的过载和事故恢复能力，一旦线路不工作，不论是由于出错还是过载，ISDN会将业务量自动按需增加带宽，故障解决或通信量下降时又会返回，恢复工作。

表9-3 B-ISDN的主要宽带业务和窄带业务

业务种类	持续时间(分钟)	突发性	速率(Mbit/s)	
ISDN业务	电话	2~3	2~3	$4 \times 10e-3 \sim 64 \times 10e-3$
	传真	0.1~2	1	$< 64 \times 10e-3$
	遥测	0.01~0.2	$> 10$	$< 10e-3$
对话型	高速数据	0.1~60	1~100	$> 1$
	高速文件	0.1~60	1~10	$> 1$
	可视电话	2~3	1~2	1~135
	会议电话	60	1~2	1~135
检索型	文件检索	3	2~20	1~33
	宽带可视图文	10	1~20	1~135
分配型	电视	60	1	33~135
	高清晰度电视	60	1	135
	高保真立体声	60	1	$768 \times 10e-3$

## 6 宽带ISDN(B-ISDN)

# 第十章 因特网—Internet

## 1 Internet简介

### 1.1 什么是Internet

Internet是世界是最大的计算机互连网，是成千上万条信息资源的总称。这些资源以电子文件的形式，在线地分布在世界各地的数百万台计算机上；Internet上开发了许多应用系统，供接入网上的用户使用，网上的用户可以方便地交换信息，共享资源。Internet也可以认为是各种网络组成的网络，它是使用TCP/IP协议(传输控制协议/网间协议)互相通信的数据网络集体。Internet是一个无级网络，不专门为某个个人或组织所拥有及控制，人人都可以参与。

### 1.2 Internet的发展

Internet起源于美国、现在已连通全世界的一个超级计算机互连网络。Internet在美国分为三个层次：底层为大学校园网或企业网，上一层为地区网，最高层为全国主干网，如国家自然科学基金网NSFnet(National Science Foundation Network)等主干网，它们连通了美国东西海岸，并通过海底电缆或卫星通信等手段连接到世界各国。

Internet是近几年来最活跃的领域和最热门的话题。而且发展势头迅猛。成为一种不可抗拒的潮流。根据有关资料表明：到1996年上半年为止，Internet已连接5万多个网络，500万台计算机，拥有5000万个用户。据预测，到2000年，Internet将连接100万个网络，1亿台计算机，拥有10亿个用户。

### 1.3 Internet的特点

Internet之所以获得如此迅猛的发展，主要归功于如下的特点：

(1)它是一个全球计算机互连网络

(2)它是一个巨大的信息资料

(3)最重要的是Internet是一个大家庭，有几千万人参与，共同享用着人类自己创造的财富（即资源）

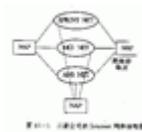
### 1.4Internet的构成

如前所述，Internet是一个网络，凡是采用TCP/IP协议并且能够与Internet中的任何一台主机进行通信的计算机，都可以看成是Internet的一部分。Internet的网络空间可以看作是受计算机控制的空间。Internet采用了目前分布式网络最为流行的客户机/服务器方式，大大增强了网络信息服务的灵活性。

Internet最初宗旨是为大学和科研单位服务。由于其信息丰富、收费低廉，目前不但已成为服务于全社会的通用信息网络，而且近年来已明显地出现了商业化的趋势。美国在Internet骨干网的经营方面也有此趋势。美国国家科学基金会把NSFNET的经营权交给了美国最大的三家电信公司，即SPRINT，MCI和ANS。NSFNET也将分成SPRINTNET，MCINET和ANSNET三部分，由上述三家公司管理和经营，并建立一系列的网络存取点(NETWORK ACCESS POINT)，它实际上是一个集中存放路由器的路由服务站，可为客户提供入网服务。该Internet的网络结构如图10-1所示。

## 2 TCP/IP协议

TCP/IP有100多个网络传输协议，FTP、Telnet是两个使用得很广泛的协议。其中，最重要的两个协议是传输控制协议TCP(Transmission Control Protocol)和网间互联协议IP(Internet Protocol)。IP协议负责按地址在计算机之间传输信息，TCP则保证传输的信息是正确的。



### 2.1 TCP/IP协议的结构

TCP/IP协议的四层结构如图10-2所示。图中的网络相当于物理传输的媒介。数据在实际传输时，每通过一层要在数据上加上一个报头，其中的数据供接收端的同一层协议使用。到达接收端时，每经过一层要把用过的一个报头去掉。这种方式可以保证接收的数据和传输的数据完全一致，以及发送端和接收端相同层上的数据都有相同的格式。

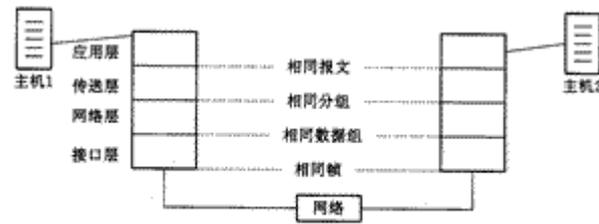


图 10-2 TCP/IP 协议的四层结构

TCP/IP协议所采用的通信方式是分组交换方式。数据在传输时分成若干段，每个数据段称为一个分组。TCP/IP协议的基本传输单位是数据报，可以把数据看成是一封长信，分装在几个信封中邮寄出去。

## 2.2 TCP/IP协议的功能

TCP/IP协议在数据传输过程中主要完成以下功能：

①TCP协议先把数据分成若干数据报，并给每个数据报加上一个TCP信封(即报头)，上面写上数据报的编号，以便在接收端把数据还原成原来的格式。

②IP协议把每个TCP信封再套上一个IP信封，在上面写上接收主机的地址。有了IP，信封就可以在物理网络上传送数据了。IP协议还具有利用路由算法进行路由选择的功能。

③上述信封可以通过不同的传输途径(路由)进行传输，由于路径不同以及其他原因，可能出现顺序颠倒，数据丢失，数据重复等问题。这些问题由TCP协议来处理，它具有检查和处理错误的功能，必要时还可以请求发送端重发。因此，可以说，IP协议负责数据的传输，而TCP协议负责数据的可靠传输。

## 2.3 信息按TCP/IP协议的传输过程

TCP/IP是怎样工作的呢?信息是怎样在Internet上传送的呢?Internet上各种网络之间是通过 路由器(Router)连接的，信息的传送是通过路由器来实现的，如图10-3所示。

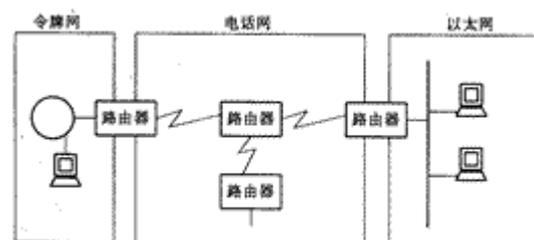


图 10-3 通过路由器连接的网络

我们把与路由器相连接的主机称为站点。一个路由器并不连接所有的站点，它只连通相邻的站点。信息是由路由器一个一个站点传送到目的地的。路由器知道下一个站点(NextHOP)是什么?哪一个站点距离目的地近?由此，路由器可决定将信息送往那儿。

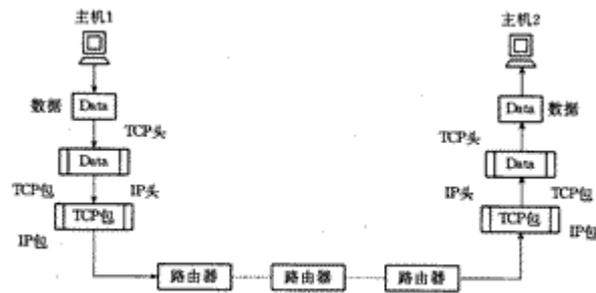


图 10-4 TCP/IP 工作原理图

路由器是怎样知道信息的目的地的呢?这就像邮寄信件要有信封、地址一样, Internet上的信息在传送前要加一个信息头,其中包括信息的地址,Internet上叫IP地址,负责Internet地址管理的协议叫IP协议。由于受传输硬件的限制,长的信息是分组传送的,每组都有编号,当信息被传送到目的地后再重新组合起来。负责将信息拆开、分组、编号、再重新组合起来的协议叫TCP协议。信息在每经过一层协议时需要附加一些信息,组成新的信息包。例如,经过TCP协议时,要附加编号、校验码等组成TCP包,经过IP协议时要附加地址信息等组成IP包。当信息被传送到目的地后再拆包,丢弃附加信息,还原为原始数据,其过程如图10-4所示。

总之, TCP/IP是一个非常庞大的协议族,其中,最重要的两个协议是TCP和IP。IP负责信息的实际传送,而TCP则保证所传送信息的正确性。它们和其它100多个协议一起使Internet上千万台计算机组成一个巨大的因特网,协同工作,并提供各种各样的服务。

### 2.4 TCP/IP协议的主要内容

TCP/IP协议的主要内容见表10-1。

层次	主要协议
应用层	SMTP、DNS、DSP、FTP、TELNET、GOPHER、WAIS、HTTP...
传送层	TCP、UDP、DVP...
网络层	IP、ICMP、AKP、PARP、UUCP...
接口层	ETHERNET、ARPANET、PDN... [(BG)F

①SMTP(Simple Mail Transfer Puotocol)一简单邮件协议,主要用来传输电子邮件。

②域名(Domain Name)一IP地址的文字表现形式。它的实现是依靠DNS(Domain Name Service)和DSP(Domain Service Protocol)。

③FTP(File Transfer Protocol)一文件传输协议,主要用来进行远程文件传输。

④TELNET的远程登录(Renote Login)一用来与远程主机建立仿真终端。

⑤UDP(User Datagram Protocol)一用户数据报协议。该协议可以代替TCP协

议，与IP协议和其他协议共同使用。利用UDP协议传输数据时不必使用报头，也不处理丢失，出错和失序等意外情况，若发生问题，可通过请求重发的办法来解决。因此它的效率较高，且比TCP简单得多。该协议适合传输较短的信息。

⑥HTTP(即WWW)、GOPHER和WAIS—既是通信协议，又是实现协议的软件。

需要强调的是：电子邮件、文件传输和远程登录是Internet三大基本功能，而域名与IP地址同等重要。

### 3 Internet的地址和域名

为了在网络环境下实现计算机之间的通信，网络中任何一台计算机必须有一个地址，而且该地址在网络上唯一的。在进行数据传输时，通信协议必须在所传输的数据中增加发送信息的计算机地址(源地址)和接收信息的计算机地址(目标地址)。

#### 3.1 IP地址

Internet网络中所有计算机均称为主机，并有一个称为IP的地址。

IP地址是Internet主机的一种数字型标识，它由网络标识(Netid)和主机标识(Hostid)组成。

目前使用的IP协议版本规定是：IP地址的长度为32位(bit)。Internet的网络地址可分为A、B、C三类。每类网络中IP地址的结构，即网络标识长度和主机标识长度都不一样。

整个internet的地址空间可以分为A类网络地址空间，B类网络地址空间和C类网络地址空间三个子空间。A类网络地址空间包括126个网络地址空间和16387064台网络主机，B类网络地址空间包括16256个网络地址和64516台网络主机，C类网络地址空间包括2064512个网络地址和254台网络主机。整个Internet的IP地址空间包括200多万个各类网络，可包括36亿台主机。A类网络适用于主机较多的大型网络，B类网络适用于中等规模网络，C类网络适用于主机较少的小型网络。

目前Internet上大约有6万多个网络和400万台主机，占用网络地址和主机地址资源很少，但却出现了IP地址不够用的现象，这是因为许多地址已分配给申请者而没有充分利用。因此，合理地使用地址资源是每个Internet用户必须注意的问题。

需要说明的是，Internet网络信息中心(NIC)是按照网络(Internet的子网)分配地址的，因此只有在谈到网络地址时才可以使用A类，B类，或C类地址的说法。

#### 3.2 域名

上面所讲到的IP地址是一种数字型网络和主机标识。数字型标识对使用网络的人来说有不便记忆的缺点，因而提出了字符型的域名标识。目前使用的域名是一种层次型命名法，它与Internet网的层次结构相对应。域名使用的字符包括字母、数字和连字符，而且必须以字母或数字开头和结尾。整个域名总长度不得超过255个字符。在实际使用中，每个域名的长度一般小于8个字符。

由于Internet起源于美国，所以美国通常不使用国家代码作为第一级域名，其他国家一般采用国家代码作为第一级域名。

Internet地址中的第一级域名和第二级域名由网络信息中心(NIC)管理。我国国家域名的国家代码是Cn。Internet目前有三个网络信息中心，INTERNIC负责北美地区，APNIC负责亚太地区，还有一个NIC负责欧洲地区。第三级以下的域名由各个子网的NIC或具有NIC功能的节点自己负责管理。

一台计算机可以有多个域名(一般用于不同的目的)，但只能有一个IP地址。一台主机从一个地方移到另一个地方，当它属于不同的网络时，其IP地址必须更换，但是可以保留原来的域名。

把域名翻译成IP地址的软件称为“域名系统(Domain Name System)DNS”。DNS的功能相当于一本电话号码簿，已知一个姓名就可以查到一个电话号码，号码的查找是自动完成的。完整的域名系统可以双向查找。装有域名系统的主机叫做域名服务器(Domain Name Server)。

域名采用层次结构，每一层构成一个子域名，子域名之间用园点隔开，自左至右分别为计算机名、网络名、机构名、最高域名。例如：indi.shcnc.ac.cn  
该域名表示中国(cn)科学院(ac)上海网络中心(Shcnc)的一台计算机(indi)。

### 3.3 域名的查找过程

为了实现域名的查找，需要在域名服务器之间建立许多指针(Pointer)。

例如，一个中国的用户要通过域名查找英国某个主机的IP地址，系统首先要查找中国的域名服务器，经过识别后自动转移到一个装有英国域名服务器的主机并查出它的IP地址，然后把IP地址送回到中国域名服务器。如图10—5所示。

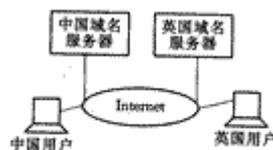


图 10-5 域名服务器查找示意图

例如，中国科技信息研究所的VAX7610主机的IP地址是168、160、1、110(B类网络地址)，其域名为ISTIC、STI、AC、CN(ISTIC是中国科技信息研究所的缩写，STI表示科技信息机构，AC表示学术界。CN表示中国)，若要与英国域名为PARADISC、ULCC，UK的主机进行通信，则首先要利用管理STI子域的域名服务(设在中国科技信息研究所)，通过指针找到管理AC子域的域名服务器，再利用同样的方法找到最高域名CN的域名服务器。CN域名服务器应存有所有其他国家最高级域名的服务地址，即指针。这样可找到UK域名服务器的地址，并由此找到PARADISC及ULCC，即128、86、8、56。查找过程完成后，就把该地址送到发出查询请求的ISTIC、STI、AC、CN的主机，从而完成了两个主机之间的连接过程，如图10—6所示。

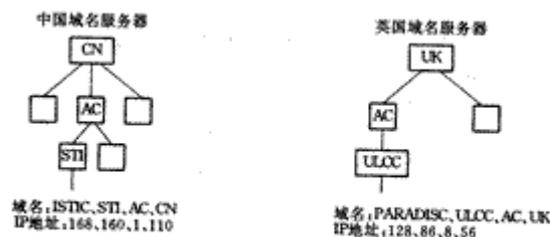


图 10-6 域名服务器的查找过程

## 4 Internet的应用

Internet能为用户提供的服务项目很多，主要包括电子邮件(E-mail)、远程登录(Telnet)、文件传输(FTP)以及信息查询服务，例如用户查询服务(Finger)、文档查询服务(Archie)、专题讨论(Usenet News)、查询服务(Gopher)、广域信息服务(WAIS)和万维网(WWW)，这里着重介绍电子邮件、远程登录、文件传输三项基本服务内容以及信息查询服务中的万维网。

### 4.1 电子邮件(E-mail)

电子邮件是Internet的一个基本服务。通过电子邮件，用户可以方便快速地交换信息，查询信息。用户还可以加入有关的信息公告，讨论与交换意见，获取有关信息。用户向信息服务器上查询资料时，可以向指定的电子邮箱发送含有一系列信息查询命令的电子邮件，信息服务器将自动读取，分析收到的电子邮件中的命令，并将检索结果以电子邮件的形式发回到用户的信箱。

早期Internet所用的电子邮件软件是许多Internet主机所用UNIX操作系统下的程序，如MAIL，ELM及PINE等。最近出现了新一代的程序，如流行的EUDORA程序。不同的程序使用的命令和用法会稍有不同，但地址格式是统一的。Internet统一使用DNS来编定信息的地址，因而Internet中所有的地址均具有同样的格式，其格式为用户名称@及主机名称。Internet的电子邮件系统遵循简单邮件传送协议，即SMTP协议标准。

### 4.2 远程登录(Telnet)

远程登录是Internet上最诱人和重要的服务工具之一，它可以超越时空的界限，让用户访问远地的计算机，当然这些计算机必须连在Internet上。我们把连在Internet上的计算机叫做Internet主机。远程登录能把本地计算机连接并登录到Internet主机上，它是一种特殊的通信方式。在UNIX计算机上，用rlogin(Remote Login)命令可以达到同样的目的，所以，我们把Telnet称作远程登录。

#### (1) 分时系统

我们通常使用的微机是一个单CPU的系统，其操作系统DOS是一个单任务的操作系统，就是说，在任何一个时刻，系统中只能有一个应用程序在运行。当要运行一个应用程序时，必须终止目前正在运行的程序。当要继续运行刚才终止的程序时，必须重新将它装到内存中。对于大型的计算机系统，采用的是分时多任务操作系统，就是说，在计算机中好像同时在运行着多个程序。

用户通过计算机终端来使用大型计算机的资源，终端只是完成用户输入和结果显示的任务。由于主机在多个用户之间快速切换，用户感觉不到主机还在运行其他用户的程序。当然，若有多个用户同时使用主机的某一种共享资源，如打印机等，可能就需要等待。远程登录就是基于主机的多任务而实现的。

远程登录也是Internet上应用非常广泛的资源，用户可以通过远程登录来使用主机的强大的运算能力。通常，用户使用的微机在运行大的、复杂的程序时要耗费大量的时间，甚至根本无法完成。这样，用户可以登录到一台他具有合法帐户的主机上，在该主机上运行他的程序。主机完成运行后，将结果传送到用户的计算机中。其次，用户还可以登录到别的主机中来运行该机中的程序。例如，工作站上的软件非常昂贵，一般用户无法完全配齐，这样，不同工作站的拥有者可以协商购买不同的软件，他们互相向对方提供帐户就可以运行各种软件了。

与普遍使用的微型计算机一样，Internet上的主机也有其操作系统。由于网

络上有各种各样的计算机，因而存在着多种操作系统，UNIX是最常用的一种多用户、多任务的操作系统。

### (2) Telnet登录方法

Telnet提供两种登录远地Internet主机的方法：第一种方法要求使用帐号，也就是说，只要用户在任意一台Internet主机上有帐号(对UNIX主机来说是合法的)用户码和密码)，就可以通过Telnet使用该台主机。第二种方法不要求用户申请帐号。

Internet上有许多主机允许公众访问。当用户使用Telnet登录到这些主机时，它们并不要求输入密码。Internet上许多资源正是通过这种方式让公众访问的。

### (3) Telnet工作模式

Telnet使用客户机/服务器模式。用户在本地主机上运行一个称为Telnet的客户程序，客户程序可与远地机上的Telnet服务程序建立连链，连接一旦建立，用户在本地键盘上输入的命令或数据会通过Telnet程序传送给远地计算机，而远地计算机的输出内容会通过Telnet显示在用户的本地计算机的屏幕上。本地机就好像是直接连在远地计算机上的一个终端。

### (4) Telnet基本功能

利用远程登录，用户可以实时使用远地计算机上对外开放的全部资源，可以查询数据库、检索资料，或利用远程计算完成只有巨型机才能做的工作。

另外，Internet上有许多服务是通过Telnet来访问的，例如Auchie、Gopher等，这类系统通常开放公用帐号，无需输入密码。

## 4.3 不具名的文件传输协议(Anonymous FTP)

文件传输协议FTP(File Transfer Protocol)和前面所介绍的E-mail、Telnet是Internet提供的三项基本服务。

(1) 主要功能 FTP的主要功能是在两台联网的计算机之间传输文件。除此之外，FTP还提供登录、目录查询、文件操作、命令执行及其他会话控制功能。

(2) 工作原理 FTP的工作原理并不复杂，它采用客户机/服务器模式。FTP客户机是请求端，FTP服务器为服务端。FTP客户机根据用户需求发出文件传输请求，FTP服务器响应请求，两者协同完成文件传输作业。

为了保护你的资源，客户程序在请求连接时，FTP服务器会要求用户输入用户码和通行密码。如果用户自愿将资料提供给网络上公用，则应该开放一个公用的帐号。Internet约定，FTP的公用帐号是anonymous，密码是用户的E-mail地址。Internet中已经有上千个使用anonymous公开帐号的FTP服务器，为网络中数以千万计的客户提供文件共享服务。我们称Internet提供的这种服务为不具名(Anonymous)FTP服务。

(3) 文件拷贝 通过FTP，你既能将文件从远地计算机拷贝到本地机上，也能将本地文件拷贝到远地计算机，前者叫下载(Down Load)，后者叫上载(Up Load)。

## 4.4 万维网WWW

万维网WWW(World Wide Web), 简称Web, 也称3W或W3, 是全球网络资源。Web最初是欧洲核子物理研究中心CERN(the European Laboratory for Particle Physics)开发的, 是近年来Internet取得的最为激动人心的成就。Web最主要的两项功能是读超文本(Hypertext)文件和访问Internet资源。

### (1) 基本功能

#### ① 读超文本文件

web将全球信息资源通过关键字方式建立链接, 使信息不仅可按线性方式搜索, 而且可按交叉方式访问。在一个文档中选中某关键字, 即可进入与该关键字链接的另一个文档, 它可能与前一个文档在同一台计算机上, 也可能在Internet的其他主机上。Windows Help文档就是一个超文本文件, 只不过Windows的所有Help文档都在同一台PC机上, 而Web的超文本文件都分布在整个Internet上。

在超文本文件世界中, 我们用超媒体(Hypermedia)一词来指非文本类型的数据文件, 例如声音、图象等。Web是一个交互式超媒体系统, 它由链接方式相互连接的多媒体文件组成。用户只要选中一个连接, 就可以访问相关的多媒体文件。这里要说明的是: Web中确实有许多超媒体文件, 但到目前为止, 大部分还是能在普通终端上显示的文本文件。

#### ② 访问Internet资源

Web的第二项功能是, 它可连接任何一种Internet资源, 启动远程登录, 浏览Gopher, 参加Usenet专题讨论等。例如, 当Web连接到Telnet, 便会自动启动远程登录, 用户甚至不必知道主机地址, 端口号等细节。若连接到Usenet, Web将以简明的超文本格式让你阅读专题文章。Web的奇妙之处还在于资源(不论是文件还是服务工具)是自动取得的, 你无需知道这些资源究竟存放在什么地方。

总之, Web试图将Internet的一切资源组织成超文本文件, 然后通过连接让用户方便地访问它们。尽管离真正实现这一目标还相距甚远, 但通过阅读文本文件的方式, Web确实使你访问到Internet上的许许多多资源。

### (2) 工作模式

同Internet上其他许多服务一样, Web使用客户机/服务器模式。客户端使用的程序叫做浏览程序, 这是Web的用户窗口。从Web的观点看, 世界上每样东西, 或者是文档, 或者是连接。所以, 浏览程序的基本任务就是读文档和跟随连接走。浏览程序懂得怎样访问Internet的资源和每一项服务。例如怎样启动Telnet, 怎样阅读专题讨论文章等。浏览程序最重要的功能是它懂得怎样连接到Web服务器上, 因为实际的搜索是由Web服务器完成的。

使用Web需要三项基本技巧, 一是控制文本显示, 二是怎样连接, 三是怎样搜索。一个好的浏览程序会自动帮助你完成这三项任务。

## 4.5 微机环境下Internet的使用

目前已有越来越多的用户, 尤其是日益增多的家庭用户使用微机(PC机)来访问Internet。这主要有两个原因:

### (1) PC机的普及

Windows界面友好，使用方便，深受用户青睐。Microsoft在全球范围推出了Windows95，它界面功能完备，易于使用，并可支持长文件名。此外，Windows95具有开放式网络和系统体系结构，支持TCP/IP，并能让用户充分领略多媒体的卓越功能，它是目前在Internet上占统治地位的UNIX操作系统的竞争对手。

## (2) SLIP/PPP协议的使用

SLIP是英文Serial Line Internet Protocol(串行线路Internet 协议)的缩写。PPP是英文Point-to-Point Protocol(点对点协议)的缩写。

通过SLIP/PPP协议，用户可以拨号方式实现与主机专线入网完全相同的功能(除通信速率受一定限制外)，可以从Internet服务提供者获得动态的IP地址，用户可以享用Internet的所有服务。

下面以Internet In a Box为例，介绍Windows环境下Internet的使用方法。

## 4.5 1 什么是Internet In a Box

Internet In a Box是一种在Windows环境下使用Internet的软件，它能让你访问Internet，提供最流行的服务，例如：下载文件、阅读News专题文章、发送电子邮件、远程登录等，它包括以下应用软件。

(1)Web浏览软件AIR Mosaic LIR Mosaic是Web浏览程序，它使用方便，只要点几下鼠标就能访问到Web的资源，包括文本、图形、声音以及动画，也可用它来阅读News、访问Gopher或FTP。

(2)Internet电子邮件AIR Mail AIR Mail让你在Internet上发送和接收电子邮件。你可以方便地将文件、程序以及图形文件附加在信件中一起发送，也可以保存、打印信件，或者将信件拖动到邮件册中。

(3)Internet News阅读程序AIR News AIR News用于在Usenet上阅读和发表专题文章。你可以用来对文章分类，并且可以建立个人小组，使其包含你感兴趣的文章。

(4)FTP/远程文件管理系统Network File Manager 使用Network File Manager，你可以从FTP服务器上得到程序文件、图形文件等。你可以将Internet上的文件拖动到PC机上，就像使用Windows的文件管理程序一样方便。

(5)Internet的检索工具AIR Gopher 检索Internet Gopher服务器上的资源信息。可方便地跟踪你用的检索步骤，并让你建立只包含你常用资源的Gopher窗口。

(6)终端仿真程序AIR Telnet 用终端仿真程序访问公共图书目录、情报检索和其他研究工具。

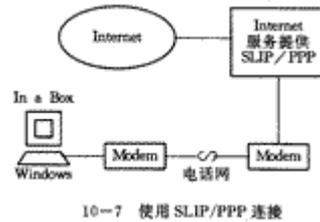
## (7) Internet实用程序

①实用程序Image View让你看Internet上常见的GIF和JPEG图形、图像文件。

②实用程序UUCode让你还原Internet上常见的用uuencode转换的文件(从二进制文件转为ASCII文件)。你也可用UUCode将二进制文件uuencode转为ASCII文件，以便存放在Internet上。

## 4.5 2 Internet In a Box怎样工作

Internet In a Box是使用计算机和Modem通过电话线拨号连通提供Internet接入服务的机器的，从而接通Internet。它使用SLIP(串行线路接口协议)或PPP(点对点协议)访问帐号。和其他拨号连接的方式不同，SLIP或PPP连接将你的计算机作为一台真正的Internet主机，你可以使用Internet上的所有资源。就好像你的计算机直接连在Internet上一样，如图10—7所示。



Internet In a Box 的运行环境为：PC 386以上IBM兼容机，4MB RAM，5MB以上硬盘空间；Windows 3.1或Windows for Workgroup。若要提高性能，建议使用486或586计算机，8MB RAM，使用快速显示卡(带1MB以上RAM)。Internet In a Box要求Modem有9600bit/s以上的速率，并支持硬件流控制。

## 5 用户与Internet的连接方法

连接Internet的方法有电话线连接和专线连接两种。

### 5.1 电话线连接

对于PC机用户，不论你在何地，只要能接通电话，就可以利用调制解调器(Modem)和电话线路拨号连通Internet。与Internet互联的网络上通常都提供终端服务(Terminal Server)，公开若干电话号码供远地用户拨号入网。Modem的型号很多，技术规格也很复杂，但你不必感到困惑，只要购买新式的14.4kbps Modem就一切都行了。拨号连接的优点是联网费用便宜，联网的地点可随心所欲地移动。其缺点是不能使用Internet的全部服务工具，传输速度受电话线路质量的限制，目前在国内的电话线上只能达到14.4kbps(经压缩可望达到56kbps)。拨号连接的另一个缺点是，只有当电话接通时，网络才能开通，因此，对方用户不能主动与你联系通信。使用电子邮件的用户必须在网络电子邮件服务器上申请一个邮箱(存储转发的服务)，以保证对方发给你的信件不丢失。用电话线接通Internet的PC用户又分两类：主机连接和终端连接。

#### (1) 主机连接

主机拨号连接要求用户具备：一台PC机，一台Modem或一块Modem卡，普通电话线，供对方拨号的电话号码，通信软件，如TurmpH WInsock、Chameleon Sampler、TCP/IP For Windows等。作为主机入网，还需要唯一的IP地址。主机连接的优点是，联网费用低，还能获得与专线相同的功能，能得到Internet的全部服务。其缺点是通信速率受限制，软件的安装和维护相对困难。主机连接适合于具有一定网络知识的互联用户，其业务量较小，但又希望得到Internet的全部服务。

(2) 终端连接 终端连接是最简单、最容易的连接方式。你只要在Internet的任意一台网络主机上有帐号，就可以通过电话拨号和PC Telnet软件远程登录到该台计算机上，使用该台主机提供的Internet资源及服务工具。

终端连接要求用户具备：一台PC机，一台Modem或一块Modem卡，普通电话线，供对方拨号的电话号码，普通通信软件，如PROCOMM、PCTCP，或WINSOCK、TCP/IP For windows等。此外，你必须在某台Internet主机上申请一个帐号。利用微机上的仿真软件把微机仿真成主机的终端，其功能与真正的终端完全一样。这种方式价格最低，而且对微机的性能要求不高。其缺点是没有IP地址，无法使用高级的用户接口软件。可以联机阅读，但若要把文件放在微机的软、硬盘上或打印的话，需利用DOWNLOAD协议把文件再传送到微机上。终端连接的优点是，联网费用低，安装维护简单，有计算机基础知识的人都能安装使用；其缺点是，通信速率及Internet服务均受到限制。终端连接适合大量的个人用户使用。

## 5.2 专线连接

专线连接是指利用光缆、电缆或通过卫星、微波等无线通信方式，或租用电话电线、DIN专线将网络连通。专线连接通常以网络为单位进行。一个网络只要通过路由器接到Internet，该网络上的所有计算机便成为Internet的一部分。Internet并不存在一个网络中心，其网络上互联的所有网络都是平等的。不论在哪里，只要能用专线与已经连通的Internet的网络互联，就可通过该网接入Internet。入网后，网上的所有计算机都可享用Internet提供的全部服务。专线连接要求用户具备一局域网或一台主机，入网专线和支持TCP/IP协议的路由器，并为网上设备申请到唯一的IP地址和域名。租用专线必须向当地邮电部门申请安装，IP地址可在申请入网的同时向上述机构申请。

采用专线连接的优点是，可以使用Internet全部服务工具，传输速度快，其缺点是联网费用昂贵。

专线连接适合业务量大的单位和机构等团体用户使用。

(1) 局域网与Internet主机的连接方法将一个局域网连接到Internet主机可以有两种方法。一种是通过局域网的服务器(Server)，用一个高速调制解调器的电话线路把局域网与Internet主机连接起来，局域网的所有微机共享服务器的一个IP地址；另一种是通过路由器把局域网与Internet主机连接起来，局域网上的所有主机都有自己的IP地址，路由器与Internet主机的通信可以通过X.25网或DDN专线实现。

通过调制解调器连接的方法与仿真终端以及SLIP/PPP方法大致相同。通过路由器的连接方法与建议Internet子网的方法基本一样。

### (2) Internet子网的连接方法

前面已经谈到，Internet是一个网络的网络，可以把所有构成Internet的网络都看成是Internet的子网。按照网络地址的分类，构成Internet的子网可分成A、B、C三类。由于Internet的网络拓扑结构系层次结构，所以这些子网还可以进一步分割成若干子网。以B类网络地址为例，它可以容纳64000多台网络主机，这些主机可以构成若干层次的子网。子网进入上级网络的出口点(即路由器的存放点)也可以称为节点。

子网与Internet主机的连接涉及到一系列较复杂的技术问题，如通信量的估算，通信方式的选择，路由器参数的设定，域名服务器的建立以及路由协议的选择等。并且还要解决子网的一系列管理问题，即NIC的功能，其连接的简单步骤如下：

- ① 申请一个唯一的子网地址。

- ②建立一个域名服务器并把该域名服务器与上级域名服务器连接起来。
- ③确定子网进入Internet的连接点，即已经与Internet连接的主机。
- ④与有关Internet主机的系统管理人员协商路由器的安装细节并进行路由器的调试。
- ⑤对自己的主机上安装连接Internet所需的软件并进行调试。
- ⑥对某些不采用TCP/IP协议包的子网也可以实现与Internet连接，但要使用具有协议转换功能的网管，以实现不同协议之间的数据传输，并在功能上也要受到一定限制。子网与Internet的连接方式如图10—8所示。

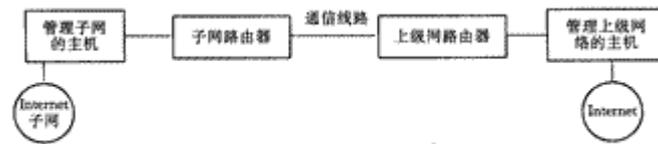


图 10—8 子网与 Internet 的连接方式

### (3) Internet与CATV宽带综合网的连接方法

Internet与CATV宽带综合网的连接方法有多种，现在各种方案处于试验阶段，现举例说明这种连接。

在CATV宽带综合网中，局域网的多种信息服务，用频分复用的方法，分为上行通道和下行通道，与用户进行信息交换，如图10—9所示。图10—9的Internet信号流程如下：

下行：通过路由器R把Internet信号接入局域网LAN，数据信号经CU(中央单元)调制(如QPSK)与模拟电话信号混合，经电—光转换(E/O)由光发射机输出，经HFC网传至远端单元RU，RU是一个频分和时分多业务交换机，解调后由RU经双绞线传送至Internet主机。

上行：由Internet主机发出的信号，至RU，在此进行射频调制，经5~42MHz上行通道至光节点，在此进行光调制，经反向光纤送至前端，进行光检波后，输至LAN网，经路由器R与Internet网连接。

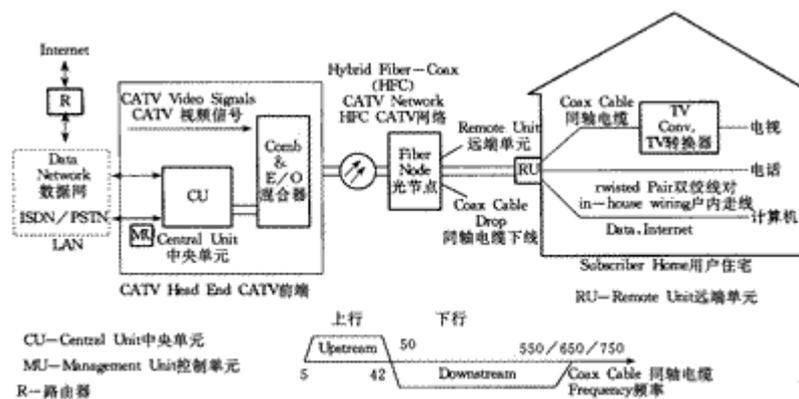


图 10—9 HFC 网系统多媒体业务方案例子

## 6 CHINANET

CHINANET是邮电部门经营管理的中国公用Internet，是中国的Internet骨干

网。CHINANET于 1995年4月开通，向社会提供服务。通过CHINANET的灵活接入方式和遍布全国各城市的接入点，可以方便地接入国际Internet，享用Internet上的丰富资源和各种服务，也可以利用CHINANET平台和网上的用户群，经营多媒体信息服务或组建本系统的应用网络。

## 6.1 CHINANET的网络结构

CHINANET由核心层，接入层和网管中心组成，其网络结构如图10—10所示。

图中核心层和区域层构成CHINANET的骨干网，提供接入层接入端口，中继端口和CHINANET所需的各种资源，同时也为国内Internet业务提供者提供高速接入端口。接入层是CHINANET的地区性网络，它主要提供接入端口和用户接入管理。网管中心负责对全网的设备和中继电路进行实时监控和管理，统计分析全国的业务量，设备和电路的利用率，以保证全网的正常运行，也可以负责用户的生成和管理。

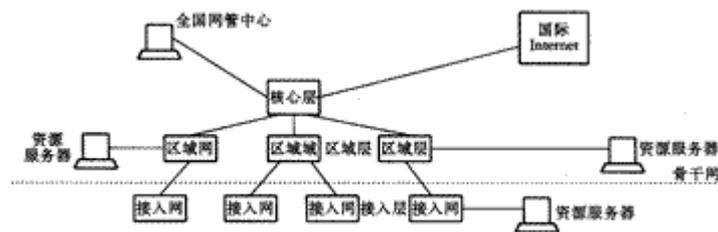


图 10-10 CHINANET 网络结构图

CHINANET还与帧中继网(CHINADDN的帧中继)、分组交换网(CHINAPAC)、公用电话网和电子邮件(CHINAMAL)系统互连，保证用户可以不同的方式接入CHINANET，使用Internet业务。

## 6.2 CHINANET的用户入网方式

### (1) 通过CHINANET上的UNIX主机入网

用拨号入网的方式经济实惠，适于业务量较小的单位和个人使用。拨号入网的用户需备有一台PC机、一般的通信软件、一台MODEM和一对电话线，到当地电信局(或邮电局)申请一个入网帐号，即可使用。每次入网使用时，先用电话拨号登录到CHINANET上的UNIX主机。由于该主机是Internet上的主机，运行的是IP软件，因此，用户可以通过UNIX主机提供的软件进入Internet。拨号入网的用户可以使用电子信箱、TELNET、GOPHER和FTP服务。

### (2) 通过SLIP/PPP协议入网

用户用拨号方式通过SLIP/PPP协议入网的方式适用于业务量较小，但又希望以主机方式入网的用户。通过SLIP/PPP协议拨号入网的用户，所需的硬件与普通拨号方式入网一样，不同的是需配备SLIP/PPP软件。通过SLIP/PPP入网，用户可以享用Internet的所有服务。

### (3) 专线入网

用户通过专线用TCP/IP协议接入CHINANET，用户需配置相应的路由器。专线入网的通信速率为1200~2400kbit/s，适用于大业务量的网络用户使用，但费用相对较高。入网后，网上的所有终端和工作站均可享用所有Internet服务。

#### (4) 帧中继入网

帧中继的特点是通信效率高, 同时又可以与多个点建立PVC(专用虚电路), 且租费比专线低(约为专线的20%), 适用于LAN(局域网)之间的互联。用户通过帧中继入网, 首先需具备一个LAN或主机, 申请入网时使用的帧中继电路, 配备TCP/IP协议的路由器, 并还需为其网上的设备申请IP地址和域名。通过帧中继方式入网后, 用户网上的所有终端均可享用Internet的所有服务。帧中继入网的速率为9600bit/s至240kbit/s, 适用于所有要求以主机或网络入网的用户。

#### (5) 通过分组交换网入网

##### ①通过CHINANET上的UNIX主机入网

该方式适用于分组网上的所有用户。用户只需要到当地电信局(或邮电局)申请一个Internet帐号。办理有关手续, 即可从分组用户成为Internet用户。该方式入网的用户可以使用的Internet服务同普通拨号入网用户完全相同。该方式入网的优点是通信费与距离无关。

##### ②通过分组网以TCP/IP协议入网

该方式与专线入网相似, 但其传输媒介是分组网的虚电路(SVC或PVC), 而不是物理电路。用户除需要是分组网的有权用户外, 还需具有支持TCP/IP协议的路由器和运行IP软件的主机或网络。同时, 用户还需要为其网上的所有设备申请IP地址和域名。这样, 用户网上的所有终端均是Internet的用户。可以享用Internet的全部业务。

通过分组网和路由器入网, 用户可以一机多用, 即用户除是Internet的有权用户外, 还可以同时与分组网上的用户通信。通过分组网入网, 入网速率可以是1200~64000bit/s。该方式适用于以使用电子邮件为主的业务量不大的所有用户。

## 第十一章 异步转移模式(ATM)

### 1 什么是ATM

人们一般习惯把电信网分为传输、复用、交换和终端等几个部分。但是近年来随着程控时分交换和时分复用的发展, 电信网中的传输、复用和交换这三个部分已越来越紧密地联系在一起了, 开始使用传递(transfer mode)来统一描述。目前通信网上的传递方式可分为同步传递方式(STM)和异步传递方式(ATM)两种。如ISDN用户线路上的2B+D, 以及数字电话网中的数字复用等级等均属于同步传递方式, 其特点是在由N路原始信号复合成的时分复用信号中, 各路原始信号都是按一定时间间隔周期性出现, 所以只要根据时间就可以确定现在是哪一路的原始信号。而异步传递方式的各路原始信号不一定按照一定时间间隔周期性地出现, 因而需要另外附加一个标志来表明某一段信息属于哪一段原始信号。例如采用在信元前附加信头的标志就是异步传递方式。宽带ISDN中ATM信元的信头就是一个例子。

ATM与STM传输方式示意图如图11-1所示

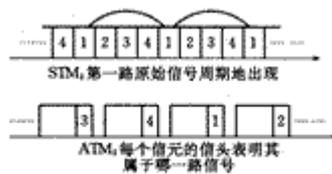


图 11-1 ATM 与 STM 传输方式示意图

## 2 ATM与电路交换和分组交换的比较

现代通信网中广泛使用的是电路交换和分组交换两种方式。电路交换方式适用于电话业务。分组交换适用于数据业务。而ATM信元中承载的是宽带综合业务，既有电话业务，又有数据业务，还有其他业务。ATM采用的是ATM交换方式，它是一种新的交换方式，它既像电话交换方式那样适用于电话业务，又像分组交换方式那样适用于数据业务，并且还能适用于其他业务。

电路交换是以电路连接为目的的交换方式。电路交换的过程，就是在通信时建立电路的连接，通信完毕时断开电路。至于在通信过程中双方是否在互相传递信息，传递什么信息，这些都与交换系统无关。在电话通信中的电路交换方式由于讲话双方总是一个在说，一个在听，因此电路空闲时间大约是50%，如果考虑到讲话过程中的停顿，那么空闲时间还要多一些。当把电路交换方式用在计算机通信中，由于人机交互(键盘输入、阅读观察屏幕输出等)时间长，因而电路空闲的时间比50%还大，甚至可高达90%，所以电路交换方式最大的缺点就是电路利用率低。

分组交换是以信息分发为目的，把从输入端进来的数据分组，根据其标志的地址域和控制域，把它们分发到各个目的地，而不是以电路为目的的交换方式。分组交换是把信息分为一个个的数据分组，并且需要在每个信息分组中增加信息头及信息尾，表示该段信息的开始及结束，此外还要加上地址域和控制域，用以表示这段信息的类型和送往何处，加上错误校验码以检验传送中发生的错误。

因而可以说，电路交换它只管电路而不管电路上传送的信息。分组交换则对传送的信息进行管理。电路交换的主要缺点是在通信过程中独占一条信道。分组交换中，交换机根据数据分组上的地址域来确定送到目的地，因而，可以有多个通信过程共享一个信道，这是分组交换的一个主要优点。

然而，分组交换却具有信息传送的随机时延的缺点。因为在电路交换中，如果电路忙，呼叫就被拒绝，只要电路一旦连通，就可以随时把信息传送过去。在分组交换中，其共享的电路有时可能很空，信息可以马上就传送过去，有时可能很忙，信息就要在分组交换机中排队等候，排队的长度和等候时间是由电路的忙闲来决定的，这就是不确定的随机时延。当然，在分组交换机中也采取了流量控制的措施，以便减少这种时延，即当在交换机中等待的数据分组过多时，交换机会向各个输入端发出命令，禁止它们继续发送信息，或者要求它们改用较低速率传送信息。此外，在分组交换中，对收到错误的分组数据要求马上重发的反馈重发机制也增加了随机时延。随机时延对于计算机通信(数据业务)问题不大，但对于话音业务来说，随机时延就不可容忍了。

宽带ISDN中传送的是ATM信元，ATM信元从概念上讲与数据分组相似。但是，由于宽带ISDN要提供各种业务，而对话音、电视图像、立体声音乐等是不能容忍随机性延迟的，因而对于ATM信元的交换就不能照搬分组交换方式，而需要一种新的交换方式，这就是ATM交换方式。

近年来，由于光纤通信的迅速发展，不仅通信能力极大提高，而且传输错误也微乎其微，因而在分组交换的基础上产生了帧中继等快速分组交换方式，把检

错纠错功能放在终端设备，从而减少了时延，提高了速率。ATM交换方式也属于快速分组交换，但它不仅仅是简化了控制，提高了速率的分组交换，同时为了满足实时业务的要求，还使用了一些电路交换中的方法。ATM改进了电路交换的功能，使其能灵活地适配不同速率的业务；ATM改进了分组交换功能，满足实时性业务的要求。所以ATM交换方式又可以看作是电路交换方式和分组交换方式的结合。

电路交换，分组交换和ATM交换方式的比较如表11-1所示。

	优点	缺点
电路交换	1 适合固定速率的业务。 2 没有接入时延。	1 信息速率种类较少。 2 网络资源及电路利用率不高
分组交换	1 适合可变速率的业务。 2 通过合并若干个分组，可以达到各种速率	1 由于时延大，不适合实时业务。 2 可变的分组长度增加了处理成本。
ATM交换	1 通过给一个逻辑连接分配若干个信元，可以达到各种速率。 2 可以更好地利用网络资源，如动态容量分配，统计复用等不同速率的连接。	1 面向分组，对于实时业务需要附加的机制。 2 分组装拆会引起一些时延

### 3 ATM的基本概念和原理

#### 3.1 ATM的基本特征

ATM的基本特征是信息的传输、复用和交换都是以信元(cell)为基本单位。按照CCITT的建议，每个信元的长度为53个字节，其中前面5个字节为信头，用来表示这个信元来自何处，到何处去，是什么类型等。后面48个字节是要在线路上传送的信息。由于ATM有信头，所以会有一部分线路传输能力用在信头上。因此，用户可以使用的传输速率将不是155.52Mbit/s，而是155.52Mbit/53\*48=140Mbit/s。

ATM是定长度的信元，它可以适应用户不同速率分配的要求。例如，某用户要与A、B、C三个用户通信，其速率分别为20、40、60Mbit/s，这样在用户线路上每出现一个给A的信元，就会有二个给B的信元和三个给C的信元。由于上述三个通信用户合起来的速率是120Mbit/s，尚未达到155.52Mbit/s，因此线路还会有一些时间处于空闲状态。所以ATM可以非常灵活地适配各种不同速率的要求，用户几乎可以按任何方式把信道分割成任意多个不同速率的子信道。只要它们的速率之和不超过信道的总容量，即155.52Mbit/s就可以。

#### 3.2 ATM的信元结构

ATM信元结构如图11-2所示。

图中：UNI为用户-网络接口；NNI为网络-节点接口；GFC为一般流量控制域；VPI为虚路径标识符；VCI为虚通道标识符；PT为净荷类型，即后面48个字节

信息域的信息类型；RES为保留位，可以用作将来扩展定义，现在指定它恒为0；CLP为信元丢弃优先权，在发生信元冲突时，CLP用来说明该信元是否可以丢掉；HEC为信头校验码，检验多项式  $x^8 + x^2 + x + 1$ ，这个字节用来保证整个信头的正确传输。

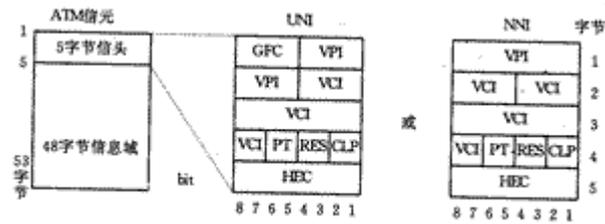


图 11-2 ATM 信元结构

### 3.3 ATM的虚路径和虚通道

在信元结构中，VPI和VCI是最重要的两部分。这两部分合起来构成了一个信元的路由信息，也就是这个信元从哪里来，到哪里去。ATM交换机就是根据各个信元上的VPI-VCI来决定把它们送到哪一条线路上去。

用同步时分复用的办法可以把一条通信线路分割成若干个子信道，如一条窄带ISDN用户线路可以分割成两个64kbit/s信道和一个16kbit/s的D信道。在异步传递方式中，使用虚路径和虚通道的概念，也可以把一条通信线路划分成若干个子信道。例如在一条宽带ISDN用户线路上，要进行5个通信，其中到A地三个通信，到B地两个通信，这些通信里有电话通信，数据通信，图像通信等。可以用VPI=1表示向A地的通信，VPI=2表示向B地的通信。到A地的三个通信分别用VCI=4、VCI=5、VCI=6来代表，到B地的两个通信用VCI=5、VCI=6来表示。在线路上所有VPI=1的信元属于一个子信道，所有VPI=2的信元属于另一个子信道，一般把这两个子信道都叫做虚路径，每个虚路径还可划分为若干个虚通道。图11-3所举的例子就是2个虚路径和5个虚通道。

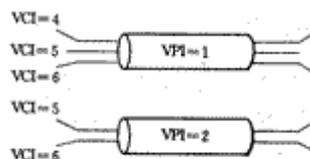


图 11-3 宽带 ISDN 划分成虚路径和虚通道举例

宽带ISDN用户线路采用ATM方式的重要优点是可以灵活地把用户线路分割成速率不同的各个子信道，以适应不同的通信要求。这些子信道就是虚路径和虚通道。在不同的时刻，用户的通信要求不同，虚路径和虚通道的使用就不一样。当需要某一个通信时，ATM交换机就可为该通信选择一个空闲中的VPI和VCI，在通信过程中，该VPI-VCI就始终表示该通信在进行，当该通信使用完毕后，某VPI-VCI就可以为其他通信所用了。这种通信过程就称为建立虚路径、虚通道和拆除虚路径、虚通道。

一条虚路径是一种可适用于所有虚通道的逻辑结构。一个虚路径标识符内可放入多条虚通道。路径/通道概念的使用允许ATM交换设备以相同的方式在一条路径上处理所有的通道。路径可以将许多通道绑在一起作公共处理。对于要求服务类的连接(通道)公共处理是需要的。

图11-4说明了一条物理链路上的虚路径和虚通道之间的逻辑关系，可以看到逻辑路径可携带多条逻辑通道。

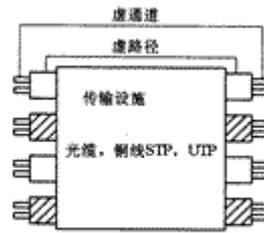


图 11-4 ATM 逻辑连接部件

这是从逻辑角度而不是物理角度看路径和通道。在物理介质上，虚路径和通道并不是并行传输的，ATM不利用频率或微波的多路复用。虚路径和虚通道在物理介质上是以相同的波长传输的，区分的方法是在信元标头中插入不同的VPI / VCI值。图11-5说明了从物理角度看信元在物理链路上传输。在路径上的所有输入虚通道都可导向某些输出通道，这便于数据单元的管理。这种处理的优点是更快地吞吐及在交换设备上较低的内部延迟。



图 11-5 ATM 链路上的物理信元流

每个连接分配一个唯一的虚路径标识符 (VPI) 和虚通道标识符 (VCI)。VPI / VCI的组合用来区分ATM网络内部的一个连接。采用VPI / VCI标识符，ATM网上的许多端点可以互相映射。在同一虚路径上可容纳许多虚通道，在单条虚路径上可支持多达65536条虚通道。每个ATM端点可支持256条虚路径，每条虚路径可支持65536条虚通道。ATM网上单一物理UNI接口可支持的总的路径和通道的组合是16777216个开发连接。

### 3.4 ATM信元

在宽带ISDN用户线路上传送的信息都是ATM信元，所以信令也用ATM信元来传送，传送信令的ATM信元叫做信令信元。为了区别信令信元和其他ATM信元，将信令信元的信头规定一个特定值。例如，可以规定一个特定的VPI-VCI专供信令信元使用，其他ATM信元都不可以使用。也可以规定一个其他的ATM信元永远不用的净负荷类型 (PT)，专供信令信元使用。

除了承载用户信息的信元和信令信元之外，还有空闲信元如运行维护信元 (OAM)。如果在线路上没有其他消息发送，则发送“空闲信元”可以起“填充”空闲信道的作用。运行维护信元上承载的是宽带ISDN的运行和维护的信息，如故障，告警等信息，它是ATM交换机经常定时发送的48字节信息域，其内容是事先规定好的，收到这些信元的交换机，根据这些信元误码来判断线路质量，如是否有故障告警等。

ATM信元是定长的，所以时间是被划分成一个个等长的小片段，每个小片段就是ATM的信元，它有点类似于同步时分复用情况，但不同于分组交换网中的情况。

语音、活动图像等恒定速率的实时性信号，在装入一个个ATM信元后，应该是每隔一个固定的时间间隔出现一次。例如，64kbit / s语音信号装入155.52Mbit / s的ATM信元，因为每个信元内有 $48 \times 8 = 384$ bit用户信息，所以每秒钟内只出现 $64000 / 384 = 167$ 个装载该语音信号的ATM信元，即每隔6ms出现一次。如果这些ATM信元在经过宽带ISDN后的随机性时延不大于某一规定值，那么就可以在接收端重新组合成无失真的语音信号。

### 3.5 ATM的错误检验与时延

ATM交换中取消了信息反馈重发，这点可以从ATM信元的定义中看出，它没有对整个信元作错误检验，而是对信头部分的错误检验(HEC)。实际上，当某一个ATM信元的信头部分错了，也不会反馈重发，而是把该ATM信元丢弃。这是因为一方面光纤传输线路质量很高，出现差错的可能性很小，另一方面对于要求实时性高的话音和电视频像，小部分的差错对其影响不大。对于不能容忍差错的计算机数据业务，则可以通过在终端上附加反馈重发功能的办法来消除通信网中发生的传送差错。

除了反馈重发造成的随机时延外，一个ATM信元还可能会在交换机内部及中继线路上延迟，在中继线路上的延迟，主要是排队造成的。ATM交换机具有当线路上没有足够通信能力来满足用户通信要求时，可以发送一个信令信元给终端，告诉它现在“忙”。ATM可以根据用户业务类型对通信能力规范其要求，对有的业务在“忙”时可以丢掉一些信元，对有的业务，则可以在交换机中多等一会儿。但那些可以丢掉一些信元的业务，也可能会有些信元比较重要，绝不可以丢掉，对于这样的信元，可以使用ATM信头中的信元丢弃优先级(CLP)予以标志。为了不使ATM交换系统的控制处理负担太重，可以采用虚路径(VP)和虚通道(VC)两级管理的办法。通过虚路径对交换机连接到各地的线路进行宏观管理，通过虚通道对各个通信进行微观管理。在正常情况下，交换机向各个方向的信息流量分布总是可以统计或估计的，可以预先对虚路径进行大致的分配。这样，在呼叫到来时就会给有空余通信能力的虚路径中分配一个虚通道。在虚路径和虚通道两级管理时，ATM交换机可分为进行虚路径交换和虚通道交换两类，当虚通道交换机找不到虚路径放置新的呼叫时，它可以通知有关的虚路径交换机调整虚路径。当然，虚路径交换机自己也可以根据各条虚路径上的信息流量来进行调整。

#### 4.1 ATM协议模型的作用

ATM提供了一套网络用户服务，但与网络上传输的信息类型无关。这些服务由ATM协议参考模型定义。模型定义出对高层的服务和操作维护ATM网络所需的功能。如图11-6所示。

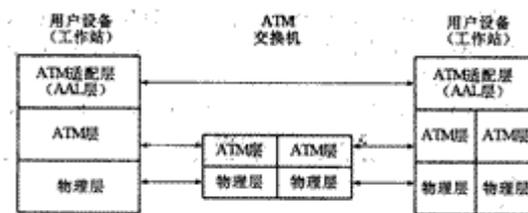


图 11-6 ATM 的协议模型的作用

#### 4.2 ATM协议参考模型

图11-7为ATM协议参考模型。

ATM在逻辑上可按三个层面描述：

用户平面——是用户协议之间的接口，如IP或SMDS和ATM等协议的接口互相协调。

管理平面——使ATM栈的各层互相协调。

控制平面——使信令传送以及虚电路的建立和拆除互相协调。

ATM协议由通信所需的有关ATM层组成，每层的功能见表11-2。

### 4.3 适配层AAL

ATM适配层(AAL)，负责适配从用户平面来的信息，以形成ATM网可利用的格式。

送给ATM的信息可有多种格式，ATM网可以传输数据、语音以及视频信息，每一种都要求ATM网络有不同的适配。因此，ATM定义了不同类型的AAL服务。数据协议必须生成与ATM网适配的信息单元(包)。TCP / IP是最常用的一种协议。TCP / IP协议将交给ATM适配层一个IP数据包，这个包可能非常大，其长度也许是几百或几千字节。ATM网只传输53字节的单元，AAL必须为IP包作分割准备，然后将其分割成ATM层可接受的单元——信元(cell)。

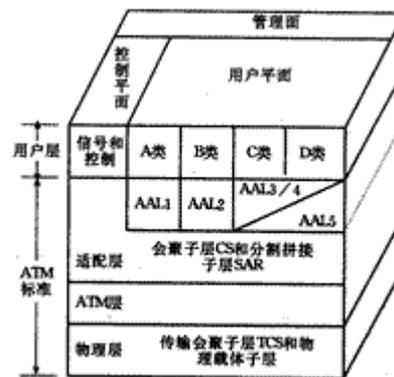


图 11-7 ATM 协议参考模型

ATM层利用53个字节中的5个字节提供网络服务(路由、优先级以及阻塞控制)，只有48个字节作为用户信息载体。因此，ATM适配层必须将大的IP包适配成ATM网络可接受的格式。AAL将IP包分割成48字节的单元用来作为信元的载体部分，信元载体信息再提交给ATM层，作为信元的一部分。再看一下图11-7，AAL分成两个主要子层：汇聚子层(CS)和分割拼接子层(SAR)。

层管理	高层	高层功能	
	AAL层	CS子层	会聚功能即将业务数据变换成CS数据单元
		SAR子层	会聚功能分段与重组，在此层内以信元为单位对CS数据单元分段或重组，即将业务数据变换成CS数据单元
	ATM层	流量普控，信头的产生 / 提取，信元的VPI / VCI交换、信元复用和分用	
	物理层	TC子层	信元速率解耦，HEC信头序列产生 / 验证 信元定界(识别)，传输帧自适应产生 / 恢复
PM子层		比特定时，物理载体	

汇聚子层CS(Convergence)：AAL的CS层负责为来自用户平面(如IP包)的信息单元作分割准备。进行这种准备的目的是让CS层能够将这此包再拼接成原始状态。

为执行这一功能，CS要求有控制信息，控制信息附在用户信息上。CS控制信

息包括标头和后缀或只是后缀。控制信息的利用是由AAL服务的类型决定的。CS控制信息将与用户数据一起放在信元的载体部分。

分割及拼接子层SAR(Segmentation and Reassemblly): SAR子层将来自汇聚层的信息单元(叫作汇聚子层协议数据单元CS-PDU)分割成48字节的载体。ATM层只能处理53字节的信息单位,其中含有48个字节的载体部分。这部分是用户实际通信的有用信息(包括像TCP/IP信息这样的协议开销)。穿越边界从ATM适配层AAL进入ATM层的信息单元只能是48个字节长(一个信元载体),从ATM层返回到AAL层的信息单元也只能是48字节,任何其他单元都不能通过AAL和ATM层之间的这条分界线。

ATM适配层具有一种称作层管理项(LME)的控制功能,层管理项也可称为管理项(ME)。管理项的功能是启动和控制对ATM层的连接请求。另外,它协调提交给ATM层的用户数据和控制信息。

AAL的作用和5种类型的业务归纳如下:

ATM适配层的作用,是把来自协议栈高层的用户通信业务量转换成可以纳入ATM信元的定长字节与格式,并在目的地地址把它转换成原来形式,也可以完成不同速率和特性的业务入网适配。

ITU(国际电信联盟)定义了5种类型的AAL。AAL1传输数字语音、视频之类比特率恒定的通信业务。适用于对信元丢弃与时延均敏感的场所,并用来仿真常规的租用线路,但要耗去有效负荷中48字节的1个字节,即为信头信息增加1个字节,以供编排序列号码之用,信元中的有效负荷只剩下47个字节。AAL2用于分组语音之类对时间参数敏感的可变比特率通信业务。AAL3/4处理面向突发性连接的通信业务,如差错消息或变速率无连接业务、文档传送业务,它可用于容许延时但不容许信元丢弃的业务。为保证信元丢弃尽可能的小,AAL3/4对每一信元实施差错检测,并采用一种较复杂的纠错机制,要耗去有效负荷每48字节中的4个字节。AAL5适用于处理开销比AAL3/4小的突发性LAN数据流,故也可称它为简单有效的自适应层(SEAL)。AAL业务分类示于表11-3。

业务分类	A	B	C	D	X
连接模式	连接型			非连接型	连接型
端一端的定时	要求		不要求		由用户定义
比特率	恒定(CBR)	可变(VBR)			由用户定义
应用举例	固定比特率的语音、活动图像	可变比特率的语音、活动图像	数据通信	数据通信	LAN间连接
AAL类型	类型1	类型2	类型3	类型4	用户定义

#### 4.4 ATM层

ATM层负责生成信元,它接受来自AAL的48字节载体并附加上相应5字节信元标

头。ATM层支持连接的建立，并汇集到同一输出端口的不同应用的信元，同样也分离从输入端口到各种应用或输出端口的信元。当ATM层看到信元载体时，它并不知道、也不关心载体的内容，载体只不过是要被传输的0或1信息符号。

因为ATM层不管载体的内容，所以它与服务无关，它只负责为载体生成信元标头并附给载体，以形成信元标准格式。跨越ATM层到物理层的信息单元只能是53个字节的信元。

ATM支持点对点、一点对多点以及多点对多点连接。ATM层的主要功能和责任如下：

- 一般流量控制；
- 信元标头生成；
- 信元标头去除；
- VPI和VCI值的转换；
- 汇集信元到物理接口；
- 从物理接口分检信元；
- 信元速率调整；
- 网络阻塞控制；
- 信元放弃；
- 交通整形；
- 交通管制；
- 连接分配和取消。

#### 4.5 物理层

ATM模型的最下面一层是物理层。物理层由传输汇聚子层和物理介质相关层组成。物理层功能是物理线路编码和信息的传输。传输汇聚子层的功能是实现物理层汇聚协议(PLCP)。PLCP负责确保整个物理链路上信息的有效传输和接收。物理介质相关(PMD)子层负责物理介质性质、bit定时及线路编码。

ATM论坛为用户到网络的接口定义了下列物理层接口：

- SONET STS-3数据速率为155.52Mbit / s；
- DS-3数据速率是44.736Mbit / s；
- 4B / 5B协议，数据速率是100Mbit / s；
- 8B / 10B协议，数据速率是155.52Mbit / s。

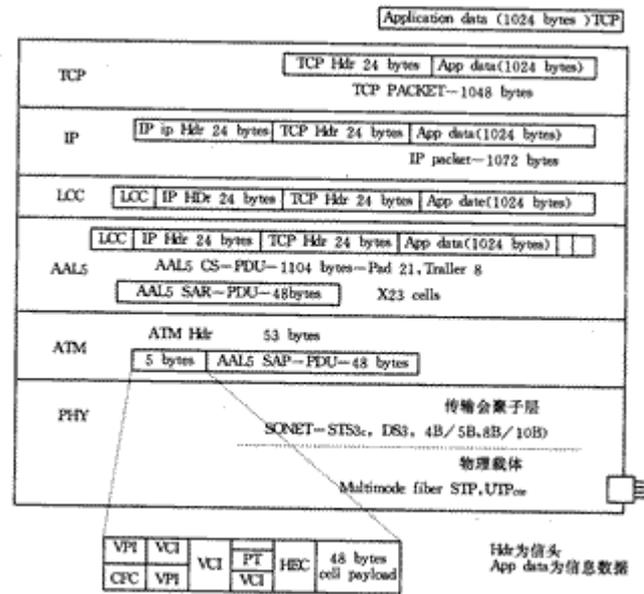


图 11-8 通过 OSI 模型的数据流

ATM接口描述了特定的线路编码，以此来确定ATM信元能以正确的可识别的格式到达，这些接口可以由光纤或铜线物理介质支持。光纤介质可采用单模或多模，铜介质可以是同轴电缆、屏蔽或非屏蔽双绞线。

SONET是同步光纤骨干网，SDH的速率基础与SONET相同。两者有微小差别。差别之一是SDH的基本速率为STS-3C，速率为155 52Mbit / s。

DS-3接口用于实现ATM网络的广域连接。

4B / 5B接口用于实现ATM网络的局域连接。

8B / 10B接口用于ATM网络局域连接。

#### 4 6 协议参考模型(OSI)的数据流

现以1024字节TCP信息域为例说明OSI模型的数据流，见图11-8。

### 5 ATM交换结构

交换结构将决定ATM网络的规模和性能，其设计方法将影响它的吞吐量、信元阻塞、信元丢失以及交换延迟等。交换机路由来自输入端口的信元到输出端口的的方法。交换机性能和扩展特性、支持广播和多点转发的能力等都取决于交换结构。交换机主要功能是提供将来自输入端口的信元快速有效地路由到输出端的方法。而ATM交换机将进行单个信元的输入处理，信头的转换以及信元输出处理，以确保信头按输出端口要求转换和信元进入合适的物理链路。交换设计可分为下列两大类：

- 时分交换结构：包括共享存储和共享总线；
- 空分交换结构：包括Banyan, Delta以及循环交换。

#### 5.1 时分结构

多路时分交换结构在处理信元交换过程中共享公共的内部设施。时分结构通过一个共享设施，如内部底板或内存，路由所有交换信息从输入端口到输出端口。多路时分最直接的形式是使用共享总线。信元通过这个共享设施进行传输，必须先请求，获准后才可存取总线。共享存储交换结构要求交换机中的所有端口共享对交换存储器的存取。

共享设施要求在获准存取前，交通必须等待资源的可用性，如果资源正在使用，则交通必须等待这一资源的释放。竞争公共共享资源是时分结构的主要特征之一。所有的交通使用单个的设施，所以一个瞬间只能对一个信元进行操作。在大型网络中，一次处理一个信元，即使速度很快，共享设施仍会成为潜在的瓶颈。随着吞吐量需求的增长，由于存取共资源的冲突机会增加，所以时分结构的吞吐量会下降。

像共享总线系统这样的共享设施的主要优点就是易于扩展交换端口，只要将扩充端口板插入系统就可增加端口，可是，所有端口必须共享公共资源，或是总线或是内存。随着必须存取共享设施的设备数目增加，这些设施被占用的机会会增加。因此，资源的竞争会引起延迟，在等待资源可用时，必须采用缓冲机制。

时分交换有一个设备吞吐量的固定上限，这种交换能力的限制不能随端口的增加而增加。所以，当对公共资源的需求增加时，网络性能会受到影响。交换的吞吐量是由公共资源的速度确定的，一般不能扩展，所以无法满足容量的增加。

共享存储系统要求将进入的信元放入系统存储器，由负责输出信元功能的端口处理器存取。为完成特定的信元功能，每端口的处理必须存取公共的存储设施，在执行信元操作前，每个端口必须请求获准后方可存取存储器。输入端口必须将输入信元放入存储器，经端口处理器处理完成输出功能。当每个端口存取共享资源时，其他所有端口必须等待，每个等待存取公共设施的端口必须缓冲到达此端口的信元。共享资源限制了交换器及时地对每个信元进行服务的能力。

共享总线具有与共享存储系统相同的限制。单个资源由所有端口共享，每个端口必须等待。

## 5 2 空分结构

空分网络结构提供通过交换构架的多条路径。与共享存储或底板结构不同，空分结构不依赖于共享设施。多条路径的概念允许多个信元同时通过交换器进行传输。空分结构具有良好的硬件扩展性，可以增加端口而不影响交换器的吞吐量，端口不必竞争单一的共享资源。另外，空分结构随着端口数的增加，性能也获得提高。由于交换机性能可随端口的增加而提高，所以在理论上交换机可容纳多少端口不存在上限。

### (1) Banyan结构

Banyan结构是一种基于 $2 \times 2$ 交换单元的网络交换构架。Banyan结构交换单元的构造方法是在任意给定的一对输入和输出端口间形成一条路径。多条路径可支持多个信元同时传输。Banyan结构是一种自路由结构，在信元进入交换器时将路由前缀附在信元上，后缀则定义输出端口。内在的交换构架式交换单元可利用路由前缀信息，快速地导引信元到达正确的端口。自路由结构可确保所有信元到达由每个信元后缀信息指定的输出端口。

Banyan交换结构的优点是互联特性、高效地处理随机到达的数据，以及可以建立大型的交换结构。

图11-9示意了Banyan结构。端口A端和端口C间的路径只有通过交换单元B才能建立，没有其他路径可使信元到达交换单元C。端口D到端口L的路径只通过交换单元K。每个输入和输出对之间只有唯一的一条路径，而且路径是单方向的。

Banyan结构的缺点是连接阻塞及在大型网络中性能下降。如果两个以上的信元同时请求同一个输出端口时，将发生阻塞，只有一条路径且只有一个信元可以通过交换构架而其他则被阻塞。非阻塞交换允许输入和输出端口之间选择多条路径，因此可保证多个信元同时通过交换构架。

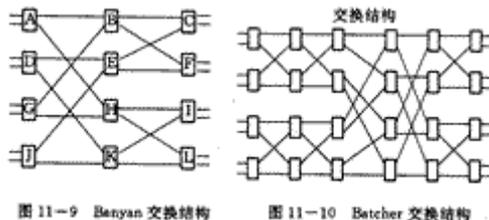


图 11-9 Banyan 交换结构

图 11-10 Batcher 交换结构

## (2) Batcher-Banyan结构

如果信元在进入交换结构之前先按目标点进行排序，Banyan结构将具有无阻塞特性，每一瞬间每个输出端口只有一个信元请求。为确保同一输出端口每个瞬间不会有两个以上的信元请求，Batcher网络将进行信元排序。Batcher网络的排序功能将把具有较低地址的信元放在交换单元较高的输出上，如图11-10所示。

Banyan结构将阻塞同时请求同一端口的两个信元之一，除非信元被预先排序。Batcher结构的使用将使信元在请求输出端口前进行排序，排序功能有效地消除两个信元同时请求同一端口的机会。图11-10说明Batcher排序阵列，而图11-11则是Batcher排序阵列与Banyan路由阵列的组合，由此构成非阻塞的交换结构。

## (3) Delta结构

Delta结构是Banyan结构的一个子集。Delta交换是自路由，且具有规则的交换单元互联模型。Delta结构设计用于建立大型交换网络。Delta结构的交换机的信元路由基础是一个由 $N \times N$ 交换单元组成的交换构架，在任何输入和输出端口之间只有一条路径。Delta网络采用下述方法来减少潜在的阻塞条件：

- 增加交换构架的内部速度；
- 在交换单元进行缓冲；
- 在交换单元之间实现多条内部路径。

图11-12说明了基于Delta结构的交换阵列。



图 11-11 Batcher-Banyan 交换结构 图 11-12 Delta 交换阵列

(4) 循环交换结构

循环交换器如图11-13所示，采用缓冲技术降低对输出端口的竞争。多个信元同时竞争同一输出端口会引起信元丢失。循环缓冲技术再次引导那些不能由输出端口接收的信元回到输入端口，进行第二次通过交换机的传输。但可能引起信元之间的顺序混乱，有可能导致信息错误。必须防止此类情况的发生。

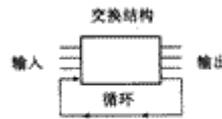


图 11-13 循环交换结构

6 ATM的标准

宽带业务的发展，尤其是宽带ISDN的建立，其传输的基础是同步数字体系(SDH)，其交换的基础就是ATM，所以ITU-T在制定B-ISDN的标准中，就开始涉及一些ATM的标准，如ATM的基本原理建议I 150，ATM层技术规范建议I 361，ATM信元传递性能建议I 351等。除了ITU-T制定ATM的一些建议标准外，欧洲电信标准化委员会(ETSI)和ATM论坛也制定了一些建议标准。ATM论坛于1991年成立，已有全世界400个以上成员参加，它是一个全球的非盈利性的组织，其宗旨就是通过运营与生产的合作加速ATM产品和服务标准等的研究与开发。由于ATM是一个崭新的，正在不断发展的技术，许多标准尚待制定和完善，目前已有的标准如表11-4所示。

标准提出部门	ITU-T (原CCITT)	ETSI	ATM
标准内容			
用户-网络接口(UNI)物理层	I 413 I 432	Pr ETS 300 299 Pr ETS 300 300	UNI规范 (3.0版本, 1993年9月)
资源管理及业务量控制	I 432	DE / NA-52807 Pr ETS 300 301	UNI规范 (3.0版本, 1993年9月)
ATM自适应层(AAL)	I 362 I 363	DE / NA-52617 (AAL1) DE / NA-52618 (AAL3 / 4) DE / NA-52619 (AAL5) DE / NA-52620	
运行及维护		DE / NA-52209 DTR / NA-52204	

(OAM) / 网路管理	I 610	DE / NA-52806 [ ]	在制定中
信令 (UNI)	Q 93B (基本信元) Q 93 * (超级业务)	DE / SPS-5024 (基本信元) DE / SPCS-5034 (超级业务)	UNI规范 (3.0版本, 1993年9月)
信令AAL	Q SAAL0 Q SAAL1 (SSCOP) Q SAAL2 (SSCF)	DE / SPS-5026-1 DE / SPS-5026-2	UNI规范 (3.0版本, 1993年9月)
ATM上的无连接数据业务	I 364	DTR / NA-53203 DE / NA-53205 D E / NA-53206	B-ICI规范 (1.0版本, 1993年8月)
ATM由的帧中继	I 555 I 365 1	DE / NA-53204	B-ICI规范 (1.0版本, 1993年8月)

## 第十二章 同步数字体系

宽带网络的物理传输媒介是光纤，光同步数字传输网(SDH)将成为宽带网络的骨干网，SDH网是一种全新技术体制，具有路由自动选择能力，上下电路方便、维护、控制、管理功能强、标准统一、便于传输更高速率的业务等优点。该网的推出使电视、图像、话音、数据以及数字微波传输发生了重大改变。SDH网络的引入和使用，就可以比较容易地实现高智能的、高效的、维护功能齐全、操作运行廉价的信息高速公路。因此，在SDH技术推出的短时期内，其产品和应用就得到了极为迅猛的发展。

### 1 SDH的产生

#### 1.1 PDH的缺陷

以往的准同步(PDH)系统已越来越不适应电信网的发展，因为PDH体制有以下固有的一些缺点。

##### (1) 标准不统一

目前世界上有三种异步复接体制(表12-1)，三者互不兼容，国际互联时必须进行转换。

表12-1 三种异步复接体制

次群	以1.5Mbps为基础的系列		以2Mbps为基础的系列
	日本体制	北美体制	欧洲体制
0次群	64	64	64
1次群	1554	1554	2048
2次群	6312	6312	448
3次群	32064	44736	34368

另外，目前只有统一的电接口标准(G. 703)，而没有统一的光接口标准，即使在同一种异步复接体制中，也不能保证光接口的互通。同为欧洲体制的4次群系统，光接口就可能有几种。如用5B6B码型，输出光信号码率为167.1168Mbps；用7B8B码型，输出光信号码率为159.1589Mbps；用8B1H线路码型，输出光信号码率又为156.6620Mbps。光信号的码型、码率都不同时，很难互通，只有通过光电变换将光接口转换为电接口后才能保证互通。这增加了网络成本，影响了光纤系统的互联，与目前光纤通信飞速发展的形势不符。

(2) 复用结构复杂

要完成数字复接，各低速数字支路必须彼此同步，有两种方法可以保证这一点：建立同步网络和采用异步复接。在准同步网络中，各群次独立定时，因此高次群复接都采用以比特为单位的异步复接。异步复接实际上是通过两个步骤实现的：先用码速调整将各支路信息码流调整到速率、相位都一致，然后进行同步复接。一般采用正码速调速，这样在发端就要插入一些码速调整比特，一路低速信号往往要经过多次码速调整，使得在高速信号中很难直接识别和提取低速支路信号，要上下话路，只能采用一系列背靠背的复接器，将高次群信号一步步地解复用到所要解出的低次群上，上下路后，再重新一步步地复用到高次群上(图12-1)。显然，这种异步复用方式结构复杂，成本高，设备利用率低，硬件所占的成分大，因此很不灵活。

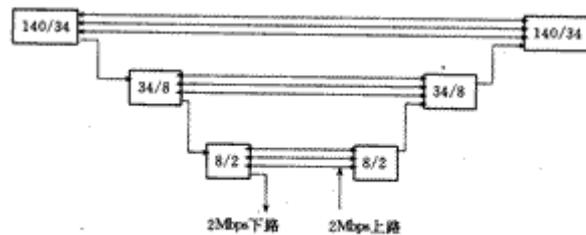


图 12-1 异步复接系统上下路方法

(3) 缺乏强大的网络管理功能

在光纤通信系统中必须有辅助工作系统及相应的辅助信道，而目前的PDH网络已很难挖掘出足够的辅助信道容量，因为PDH网的运行、管理和维护主要采用人工数字交叉连接和暂停业务进行测试的方法，因此帧结构中没有过多设置OAM比特。现代通信网的发展要求网络管理功能越来越强，网络管理功能的缺乏使PDH网络已无法支持新一代电信网。

要在原有的技术体制中对PDH网进行修补已是得不偿失，只有进行根本的改革才是出路，于是就出现了光同步传输网。

1.2 SONET和SDH

美国贝尔公司首先提出了同步光网络(SONET)，美国国家标准协会(ANSI)于20世纪80年代制定了有关SONET的国家标准。当时的CCITT采纳了SONET的概念，进行了一些修改和扩充，重新命名为同步数字体系(SDH)，并制定了一系列的国际标准。

SDH和SONET的基本原理完全相同，标准也兼容，但还是略有差别(表12-2)。

表12-2 SONET、SDH比较

SDH	SONET
-----	-------

等级	速率 (Mbps)	速率 (Mbps)	等级	
		51.840	STM-1	OC-1
STM-1	155.520	155.520	STM-3	OC-3
		466.560	STM-9	OC-9
STM-4	622.080	622.080	STM-12	OC-12
		933.120	STM-18	OC-18
		1244.160	STM-24	OC-24
		1866.240	STM-36	OC-36
STM-16	2488.320	2488.320	STM-48	OC-48
STM-64	9953.280	9953.280	STM-192	OC-192

SONET的电信号称同步传递信号STS (Synchronous Transport Signal)，光信号称光载体OC (Optical Carrier Level)，它的基本比特率是51.840Mbps；SDH的基本速率为155.520Mbps，其速率分级名称为同步传递模块STM (Synchronous Transport Module)。我国采用SDH标准，因此下面的叙述都按SDH分级方式。

### 1.3 SDH的特点

SDH网的主要特点是同步复用、标准光接口和强大的网管功能，这三点在后面都要详细说明。SDH网络还是一个非常灵活的网络，这体现在以下几个方面。

#### (1) 支持多种业务

SDH的复用结构中定义了多种容器C和虚容器VC，各种业务只要装入虚容器就可作为一个独立的实体在SDH网中进行传送。C、VC以及联和复帧结构的定义使SDH可以灵活地支持多种电路层业务，包括各种速率的异步数字系列、DQDB、FDDI、ATM等，以及将来可能出现的新业务。另外，段开销中大量的备用通道也增强了SDH网的可扩展性。SDH的这种灵活性和可扩展性使它成为宽带综合业务数字网理所当然的基础传送网络。

#### (2) 迅速、灵活地更改路由，具有很强的生存性

PDH中改变网络连接要靠人工更改配线架的接线，耗时长、成本高且易出错。在SDH网中，大规模采用软件控制，通过软件就可以控制网络中的所有交叉连接设备和复用设备，需要改变路由时，通过软件更改交叉连接设备和分插复用器的连接，只要几秒钟就可灵活地重组网络。特别是SDH的自愈环，在某条链路出现故障时，可以迅速地改变路由，从而大大提高了SDH网的可靠性。

(3) 定义了标准的网络接口和标准网络单元，提高了不同厂商之间设备的兼容性，使组网时有更大的灵活性。

## 2 SDH的网络节点接口及帧结构

### 2.1 网络节点接口

从原理上讲，传输网络由传输系统设备和完成多种传送功能的网络节点构成。传输系统设备可以是光缆传输系统，也可以是数字微波系统或卫星通信系统。网络节点所要完成的功能包括信道终结、复用、交叉连接和交换等多种功

能。简单节点可以只具有部分功能，例如仅有复用功能，而复杂节点则通常包括全部的网络节点功能。

所谓网络节点接口(NNI: Network Node Interface)表示网络节点之间的接口。在实际中也可看成是传输设备与网络节点之间的接口。图12-2给出了一种可能的网络配置，用以说明网络节点接口的位置。规范一个统一的NNI标准，其基本出发点在于，应使它不受限于特定的传输媒质，不受限于网络节点所完成的功能，同时对局间通信或局内通信的应用场合也不加以限定。因此NNI的标准化不仅可以使3种地区性PDH系列在SDH网中实现统一，而且在建设SDH网和开发应用新设备产品时可使网络节点设备功能模块化、系列化，并能根据电信网络中心规模大小和功能要求灵活地进行网络配置，从而使SDH网络结构更加简单、高效和灵活，并在将来需要扩展时具有很强的适应能力。

同步数字系列的网络节点接口NNI的基本特征是，具有国际化的接口速率和信号帧结构。

### 2.2 SDH帧结构

首先来看一下STM-1的帧结构(图12-3)，STM-1比特率为155.520Mbps，帧长为125μs，因此一帧包括19440比特，即2430字节，如图排列成9行270列，发送顺序为从左至右；从上至下依次发送。每行的前9个字节(前9列)，共81字节中放置了段开销(SOH——Section Over head)和管理单元指针(AU PTR)；每行的后261个字节构成了信息净负荷区(Payload)，其中有9字节为通道开销(POH——Path Overhead)。

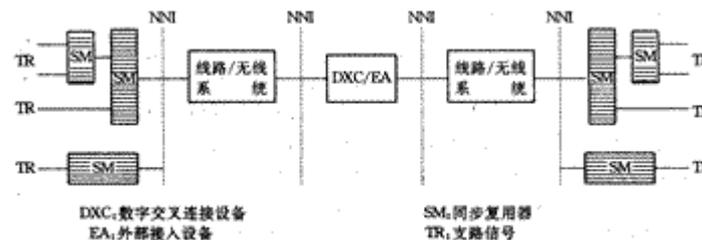
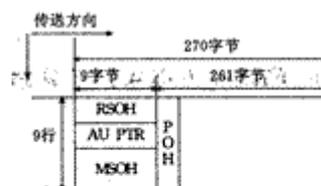


图 12-2 NNI的位置

段开销和通道开销字节的安排如图12-4。段开销的前3行为再生段开销(RSOH)，第5-9行为复接段开销(MSOH)。再生段、复接段以及通道在实际系统中的位置可参见图12-5，POH在整个通道中保持不变；RSOH由再生段终端修改，在一个再生段内保持不变；MSOH由复接段设备(如ADM、SDXC)修改，在一个复接段内不变。



RSOH—再生段开销；  
MSOH—复接段开销；  
AU PTR—管理单元指针；  
POH—通路开销。

图 12-3 SDH帧结构

段开销和通道开销各字节功能如下：

A1A2为帧定位字节，其中

A1=11110110 A2=00101000

一帧中有48个帧定位比特，伪同步概率仅为。B1B2B3为误码监测字节，其中：  
B1：再生段误码监测，偶校验的比特间插奇偶校验8位码(BIP-8码)；

B2：复接段误码监测，BIP-24码；

B3：通道误码监测。

C1C2为标记符号字节，其中

C1：STM识别符，识别每个STM-1信号在STM-N复用信号中的位置；

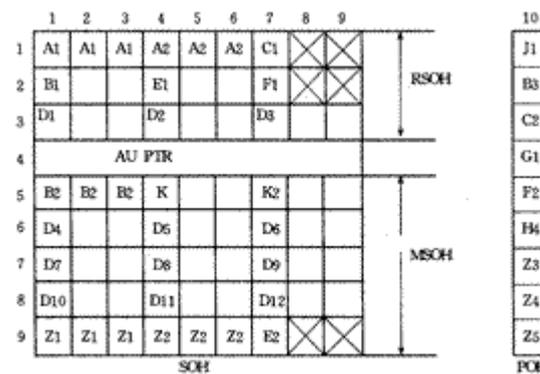


图 12-4 段开销和通道开销的各字节安排



TM-终端复用器;REG-再生中继器;ADM-分插复用器;SDXC-交叉连接器。

图 12-5 段、通道在实际系统中的位置

C2：信号指示标记，标明VC中映射的是ATM信元、FDDI、MAN还是某种PDH信号。

D1~D12为数据通信通路(DCC)，构成SDH管理网(SMN)的传送链路，其中：

D1~D3：192kbps的数据通道，用于再生段。

D4~D12：576kbps的数据通道，用于复接段。

E1E2提供两路64kbps的公务联络语声通路，其中：

E1：用于本地公务通路，在再生器接入；

E2：用于直达公务通路，在复接段终端接入。

F1F2为用户通路，为特定维护目的提供临时的数据 / 语声通路。

G1: 通道状态字节。

H4: TU位置指示字节, 指示当前TU帧在TU复帧中的位置。

J1: 用于跟踪通道连接状态, 在J1中重复发送高阶通道接入点识别符, 以使接收终端能根据J1确认与发送终端处于连接状态。

K1K2用于自动保护倒换, 专用于保护目的的128kbps APS信令信道。

Z1~Z5: 分别为复接段和通道段备用字节。

X标示为国内备用字节, 其余为国际备用字节。

从段开销和通道开销的内容可知: 段开销SOH提供帧定位, 另外SOH和POH都提供了误码监测、自动保护倒换以及维护公务信道, SOH的DCC信道则为网管提供了专门的通路, 这些都显示了SDH网丰富的辅助通路资源。

STM-1是SDH网中最低等级的速率, N个STM-1以字节为单位同步交错复接后构成STM-N信号, STM-N的帧结构如图12-6所示。

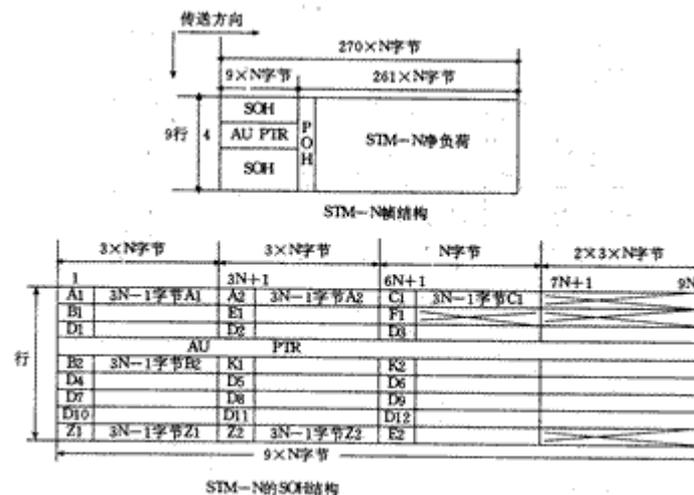


图 12-6 STM-N 帧结构示意图

### 3 复用映射结构

图12-7是一个完整的SDH同步复用映射结构。SDH的复接方式中应用了几个非常重要的概念, 即C、VC、TU和AU, 它们之间的简单关系可由图12-8表示, 它们在分层光接口中的位置 见图12-9。下面对这两个图以及这些名词作一些具体说明。

#### (1) 容器C

用于传递同步信号的一种信息结构, 主要完成速率调整等适配功能。需要传递的电路层信号 (如准同步信号以及B-ISDN信号等) 在容器中经过码速调整后转换为同步信号, 因此经过容器后信号的速率将会变化。G. 709建设中定入了5种标准容器:c-11, c-12, c-2, c-3, c-4各容器的标准输入速率如图12-7。

#### (2) 虚容器VC

虚容器(VC)是SDH网中用以支持通道层连接的一种信息结构,它是由信息净负荷和通道开销(POH: Path Overhead)组成的一矩形块状帧结构。

VC是支持通道层连接的一种信息结构,分低阶VC和高阶VC(见图12-9),分别由C和TUG加上通道开销构成(见图12-8)。VC是SDH中最重要的一种信息结构,它的包封速率与SDH网同步,VC可作为一个独立实体在通道中任一点取出、插入,以进行同步复用或交叉连接处理。

(3)支路单元TU和支路单元组TUG。

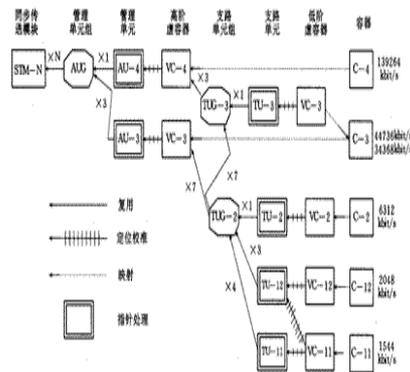


图12-7 SDH同步复用映射结构

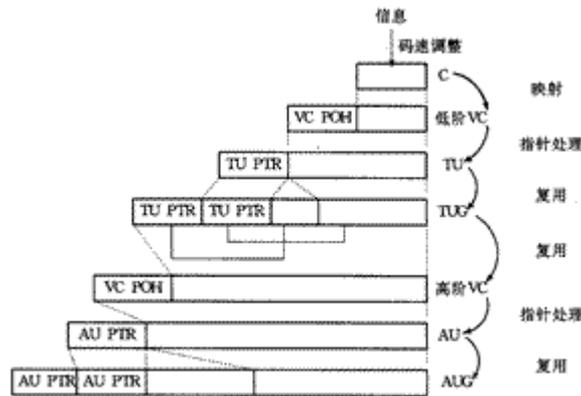


图12-8 C、VC、TU、AU关系图

TU是一种为低阶通道层和高阶通道层提供适配功能的信息结构,它由低阶VC加TU指针组成(见图12-8)。VC在TU中的起始位置是浮动的,由TU指针指明。一个或多个TU经字节交叉复用并加入一些塞入字节组成TUG,加入额外的字节是为了保证完整的帧结构。

(4)管理单元AU和管理单元组AUG

AU对高阶VC和复接段层进行适配,由高阶VC加上AU指针构成(见图12-8, AU经AUG复接后成为STM-1帧结构的组成部分, AUG本身又可以复接成高阶同步传递模块。

图12-7的复用映射结构几乎包括了三种PDH体制的各种速率的复用,从图中可见,除了4次群信号只能经AU4进入STM-1码流,其余各支路信息都可经AU3或

AU4进入STM中，这就要求合理选择复用路径，主要考虑以下因素：高次群交换机效率、系统可靠性、造价、网络内部互联安排。一般来说，原使用2Mbps数字系列的设备采用经AU4的复用路径，原使用1.5Mbps的设备采用经AU3的复用路径。

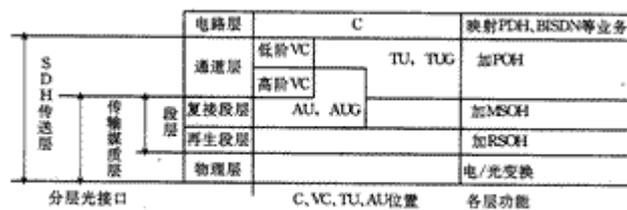


图 12-9 分层光接口

### 4 映射、复用和指针处理

信号装入SDH帧的净负荷中要经过三个主要过程：映射、复用和指针处理。

#### 4.1 映射

所谓映射(Mapping)是指在SDH网络边界处，把支路信号适配装入相应虚容器的过程。它的目的是为了为了使信号能与相应的VC包封同步，以使VC成为能独立进行传送、复用和交叉连接的实体。图12-7中表明了各种速率的PDH信号的复用映射过程，对于高次群信号，经异步映射就可装入相应的VC中。异步映射不要求信号与网络同步，只通过以后的各级TU指针、AU指针处理将PDH信号接入SDH中。对于基群信号可采用异步映射和同步映射，同步映射要求信号先经过一个一帧长度的滑动缓冲器，以使信号和网络同步。同步映射的好处是信号在VC净负荷中的位置是固定的，无需TU指针，减少了处理过程，并使TU、TUG的所有字节都可用于传送信号，提高了传输效率。代价是加入了时延和滑动损伤。

对于ATM信元，MAN(DQDB)和FDDI等信号则可以经任一种VC接入。以ATM信元的映射为例，53字节的ATM信元可直接装入各容器C中，只需保证ATM信元字节边界与容器的字节边界定位对准，从而使在SDH信息流中可正确识别出ATM信元的各字节。由于容器的容量不一定是53字节的整数倍，在映射时允许ATM信元跨越容器的边界，这样就不可能依靠SDH的帧结构从SDH信息流中有信头误码控制(HEC)字节，它是对信头中除HEC外的32bit进行CRC运算得到的，因此就可利用HEC和信头中其他32bit的这种相关性来实现ATM信元的定界。

#### 4.2 复用

从图12-7中可知，在组装AUG和TUG以及从TUG到VC的过程中要进行复用。SDH的复用最基本的原则是字节间插复用，即复用时按顺序从各支路中读取一个字节。这通过比较图12-4中STM-1的SOH与图12-6中STM-N的SOH结构可以看出。从图12-10中3个TU12复用成一个TUG2的过程可以更清楚地看到字节间插的复用过程。TU12是9行4列的结构，TUG2是9行12列的结构，因此无需插入额外的字节。

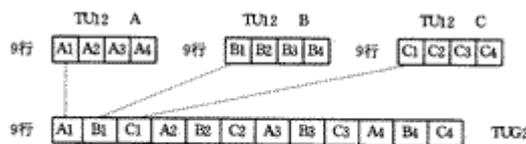


图 12-10 TU12复用成TUG2的字节安排

#### 4.3 指针处理

由图12-7可知，从VC到TU、AU的过程要进行指针处理。前一节已经提到，在AU和TU中分别有AUPTR和TUPTR，这两种指针的设置是SDH的一大特点。从图中可知，SDH中的AUPTR有两种：AU4PTR，AU3PTR。TU指针有4种：TU3PTR，TU2PTR，TU12PTR，TU11PTR。下面分别介绍一下各种指针在SDH帧结构的位置、指针的构成以及利用指针实现频率调整的方法。

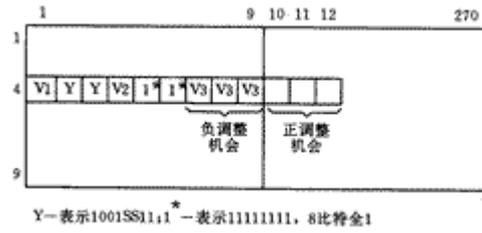


图 12-11 AU4PTR 在 STM-1 中的位置

前面已经说过，SOH第4行的9个字节是AU指针，它包括两种形式：一是单个AU4PTR

图12-11；二是三个AU3PTR图12-12，这是由于三个AU3进入一个STM-1的帧中，三个AU3PTR组成AUPTR时也符合字节间插复用的原则，即第1、4、7列的V1、V2、V3属于第1个AU3，第2、5、8列属第2个AU3，第3、6、9列属第3个AU3。

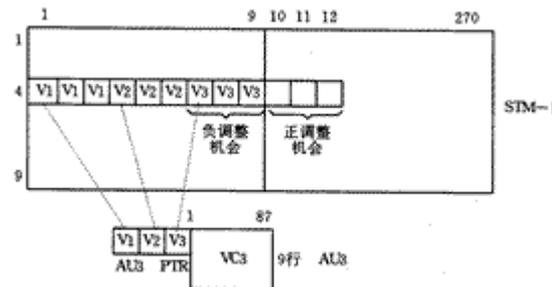


图 12-12 AU3 结构及三个 AU3PTR 在 STM-1 中的位置

TU3PTR的位置可以这样得到：由AU4PTR得到VC4在STM-1中的起始位置，而VC4是由三个TUG3复用成的，因此可再由图12-13得出VC4中TU3PTR的位置。

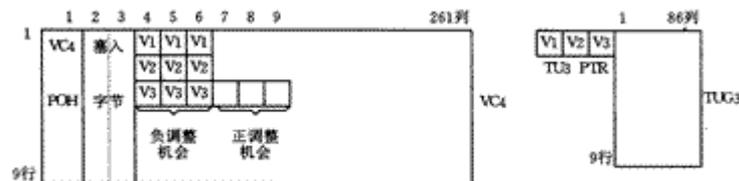


图 12-13 TU3PTR 在 VC4 中的位置

TU11、TU12、TU2的指针是由TU复帧结构决定的。为了适应不同容量净负荷的传送需要，SDH定义了500μs(4帧)、2ms(16帧)、3ms(24帧)三种复帧结构，根据POH中的H4字节识别当前TU帧为哪一种复制结构中的第几帧。图12-14以500μs的复帧结构为例说明了TU指针在复帧中的位置。

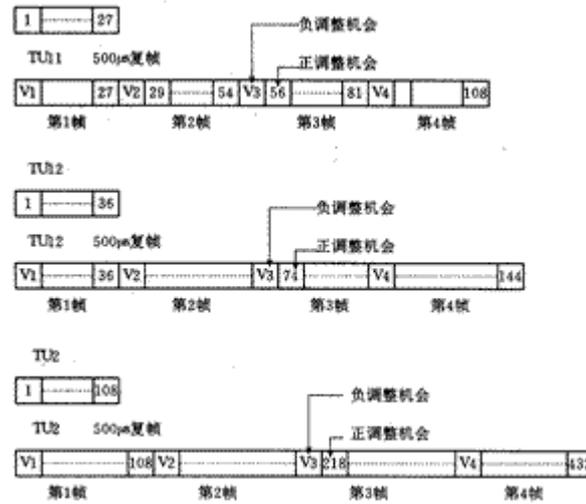


图 12-14 TU 复帧结构及 TUPTR 位置

以上几个图中，TUPTR的V4字节作为保留字节，其他AUPTR和TUPTR中的V3字节作为频率和相位的负调整机会，V1、V2的结构如图12-15所示。各符号意义如下。

I：增加比特，V1、V2中共有5比特I，若需要正调整，则将这5比特反转，在收端按大数判决 后进行一次正调整，并将指针加1。

D：减比特，意义同I，V1、V2中共有5比特D，反转时指示一次负调整，并将指针减1。

SS：AU和TU3PTR中为未规定，TU复帧中表示TU帧的类型。

NNNN：为新数据标识(NDF)，正常值为0110，当它反转成1001时表示NDF，这时其后的10比特 为新的指针值，即以二进制表示的VC起始位置，它将刷新以前的指针操作。

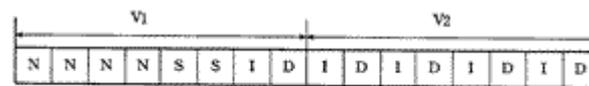


图 12-15 指针各比特定义

指针的设置是同步数字系列和异步数字系列的重大区别之一。

指针的作用之一是保证复用时各支路信号的同步。指针指示了虚容器在净负荷区中的起始位置，通过调整这个起始位置，可以进行同步信号间的相位校准；同时，由于设置了正、负调整机会，指针还可完成频率校准。网络处于同步状态时，指针进行相位校准；当网络失去同步时，指针用来进行频率和相位校准；指针还用来容纳网络的频率抖动和漂移。同步数字系列这个名词可能会使人误认为SDH要求网络各部分时钟严格同步。实际上，SDH的信号时钟精度仅要求

$\pm 10^{-11}$ ，指针的设置保证了在这个时钟精度下可使各信号间同步。

指针完成频率调整的具体过程和规则是这样的。

(1)NDF为1001时，VC的起始位置由新指针标明。

(2)在VC的频率相对较低时，要进行正调整，以提高VC频率。在VC频率低时，VC内的数据就放不满下一级的纯载荷区域，此时就在正调整机会的位置上插入填

充用的伪信息字节，同时在发端将I比特反转，收端则将指针值加1。

(3)在VC的频率相对较高时，要进行负调整，以降低VC频率。VC频率高时，纯载荷区就放不下VC的数据。因此就在负调整机会的位置上也放置VC信息字节，同时在发端将D比特反转，指示一次负调整，收端则将指针值减1。

(4)在一次指针操作后至少3帧内不得进行任何指针增减操作。

在AU4和TU-2中，V1、V2还可设置成级联指示CI=1001SS1111111111(SS不作规定)。级联表示一个VC内的所有容器净负荷应保持在一起，并可以作为单个实体在网络中进行复用、交叉连接和传输，这是为了提供大于C-4的容量以及介于C-2和C-3之间的容量，以增加SDH网适应业务的灵活性，并适应高速通信业务如图像业务的需求。

指针的设置还使上/下路过程大大简化。在2.1节中说到，在异步复用数字系统中，用比特填充的方法来使各支路信号同步，这导致低速支路信号深埋入高速复用信号中，在高速信号中无法直接识别出复用的低速信号，而只能通过一连串的复用/解复用才能上/下支路。而在SDH中，虚容器是参加复用、交叉连接和传送的独立单元，在上/下路一个VC时无需将各级AUG、AU、TUG、TU都解开，只需进行一系列的指针处理就可准确地STM帧中找到所要的虚容器。

我们以图12-16所示34Mbps的信号经VU4进入STM-1中为例，来看一下如何从STM-1中识别出VC3的34Mbps信号

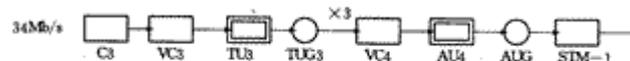


图 12-16 34Mbps 信号经 AU4 进入 STM-1

(1)由帧定位信号对STM-1码流进行帧定界，识别出一个完整的STM-1帧，根据图12-11和图12-12所示AU3PTR、AU4PTR在STM-1中的位置，从第4行第1列(即第1081字节)处得到AUPTR，并可识别出是AU4PTR。

(2)根据AU4PTR指示的VC4在净负荷中的起始位置，可对VC4进行定界，找到完整的虚容器VC4。

(3)根据图12-12所示VC4中TU3PTR的位置，得到TU3PTR。

(4)由图12-13及TU3PTR指示的VC3起始位置，就可得到VC3。可见，SDH中信号的上/下路比PDH简单多了，特别是通过分插复用器，在SDH中可以灵活地实现网络信号的分配、交换和组合

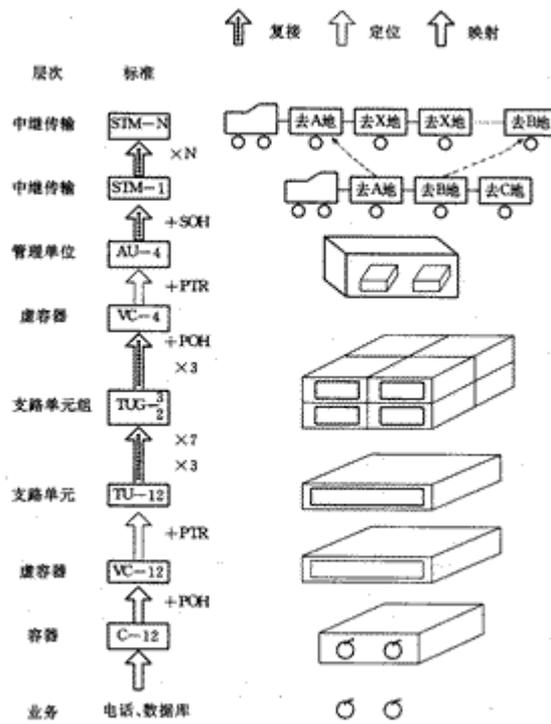


图 12-17 复用结构的比喻

#### 4.4 SDH复用过程的解释

为便于理解SDH的复用结构，现用集装箱运载货物作比喻，如图12-17所示。将容器C视为运输用的标准包装箱，C-n表示不同的容量规格，以便能适配装入PDH的各种物品(信息)，在容器的包封上面附上称作通道开销(POH)的一些码字，如此处理后的箱体称为虚容器(VC)。而包封上的POH只是用来指示箱内物品在端到端运送过程中的状态、性能以及装载情况等，因而是为运营者操作维护而设。在虚容器基础上再附上指针(PTR)就构成支路单元(TU)或管理单元(AU)。PTR是用来指明虚容器在支路单元内或在STM帧结构内的准确位置，根据PTR所指示的地址可以实现灵活转移VC，或在需要时直接取下(或插入)物品而不必拆卸整车物资。把多个同等级的相同支路单元、支路单元组、管理单元及管理单元组集装(复用)起来构成一个大型集装箱后，并利用管理单元指针指明地址，然后再附上段开销，这是为了在运营段上进行运行中的操作维护和管理，于是各种物资(信息)将十分灵活、方便、准确、可靠地被送往各地。

### 5 SDH成网技术

#### 5.1 统一的光接口

SDH通过定义统一的光接口，解决了不同厂家设备之间的兼容问题。

在G. 957建议中，提供了对同步数字系列光接口的规定，包括一系列光接口详细参数及其测量方法，如：光发射机的平均发射光功率范围、最小消光比、信号眼图模板，光源的光谱特性，光通路允许的衰耗、色散值和反射，接收机灵敏度、动态范围等等。

SDH中的光接口按传输距离和所用的技术可分为三种，即局内连接、短距离局间连接和长距离局间连接。相应地有三套光接口参数：局内连接典型传输距离为几百米，小于2km，采用G. 652光纤，工作在1310nm波长区域；短距离局间连接典型传输距离为15km左右，采用G. 652光纤，工作在1310nm或1550nm波长区域；长距离局间连接典型传输距离为40km以上，工作在1310nm波长区域时使用G. 653光纤，工作在1550nm波长区域时，采用G. 652、G. 653或G. 654光纤

## 5.2 SDH网络设备

SDH设备主要有：同步终端复用器STM(Synchronous Terminal Multiplexer)，分插复用器ADM(Add/Drop Multiplexer)和同步交叉连接设备SDXC(Synchronous Digital Cross Connect)。另外，还有网络管理系统设备NMS(Network Management System)。

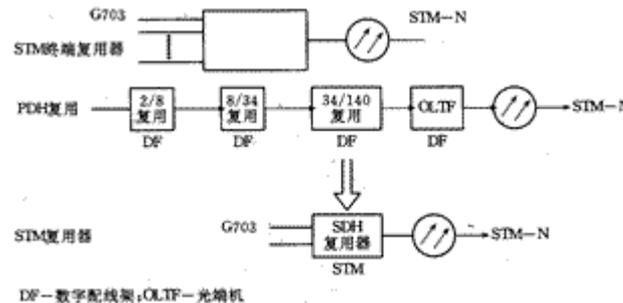


图 12-18 STM 终端复用器

STM有两类。一类提供G. 703接口到STM-N的复用功能，如图12-18所示，它代替了PDH中一连串背靠背的复用器。这类复用设备具有VC1 / 2 / 3或VC3 / 4通道连接功能，能将输入支路信号灵活地分配到STM-N帧内的任何位置。另一类是高阶复用器，如图12-19所示它将低阶 STM信号复用成更高阶的STM信号。

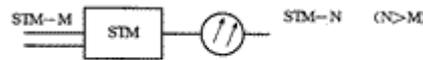


图 12-19 高阶复用器

分插复用器图12-20是SDH中应最广、最富特色的设备。它是一个三端口设备，具有两个SDH光接口，通过另一端可以灵活地上/下路复用在STM信号中的低速率信号。ADM内部还具有时隙交换功能，允许两个STM信号之间不同VC的互联，并能方便地进行带宽管理。在实际网络中，根据ADM的结构特点，它可灵活地用在网络中不同的位置。作为终端复用器时，可将两个SDH光接口分别作主备用，实际复用设备往往既可配置成终端复用器又可配置成分插复用器。利用ADM还可构成各种自愈环。

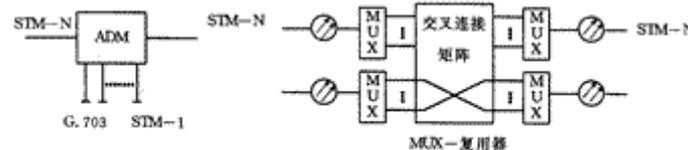


图 12-20 分插复用器

图 12-21 同步数字交叉连接设备 (SDXC)

数字交叉连接设备(DXC)是现代数字通信网中非常重要的设备之一，DXC并不是SDH网独有的设备，新研制的DXC设备往往既可用于SDH网也可用于PDH网。SDXC结构如图12-21所示，它的核心是一个交叉连接矩阵。SDXC是种兼有复用、配线、保护、监控和网管多功能的传输设备。它能代替配线架，对VC进行交叉连接。动态调整网络，实现半永久连接；SDXC还能对业务进行集散：在输入端对业务进行集中，可以提高线路利用率，在输出端可进行业务分离，如分开国内和国外业务，本地和长途业务以及租用和公用业务，这些功能使网络可灵活处理各种业务，提高了网络效率。利用SDXC的自动配置功能也可以构成SDH的自愈网，在网络出现故障后自动重选路由，恢复业务。干线网中就常采用由SDXC构成的自愈

网。

网络管理系统设备完成对整个SDH网的管理，它应满足有关电信管理网的规定，并应有各类标准接口以便与各类网络设备连接。在SDH的网络设备中都设有同步设备管理功能(SEMF)，它将性能数据和硬件告警等信号转变成面向目标的消息，并送入DCC或Q接口。

目前许多厂家都推出了SDH设备，如日本NTT, Ericsson, Philips, AT&T, Alcatel等。不同公司的产品在基本构成上大体一致，但又有各自的特点。表12-3给出了AT&T的一些典型设备及其特性，图12-22则示出了各种设备在实际网络中的应用。从这里可以看出，干线网、中继网和用户网由于容量和业务特性不同，分别有不同型号的设备；SDH设备往往既支持SDH网的接口也支持PDH系列接口；终端复用和分插复用功能有常位于同一设备中。

表 12-3 AT&T 的 SDH 设备

名称	型号	特性
干线网光纤线路设备	SLM-2000/4	STM-4 或 4 路 140Mbps PDH 1+1 保护, 包括光端机和再生器
	SLM-2000/16	STM-16, 2.5Gbps 或 16 个 140Mbps PDH, 包括光端机、分插复用器和再生器环路保护
用户网设备	ISM-2000	支持: 2Mbps 支路 STM-1 ADM 63×2Mbps STM-4 ADM 126×2Mbps 34Mbps 140Mbps STM-1 电接口, 短/中距离光接口
宽带数字交叉连接器	DACS V-2000 4/4	配置: 3 个机柜 256 端口 2 个机柜 128 端口 单机柜 64 端口 支持: STM-1 或 140Mbps VC-4 等级交叉连接
中带宽数字交叉连接器	DACS VI-2000 4/3/1	支持: STM-1 光电接口 140Mbps, 34Mbps, 2Mbps 具有交换功能 STM-1 1+1 线路保护切换
网络管理设备	ITM-2000	可管理全网 SDH, PDH 设备

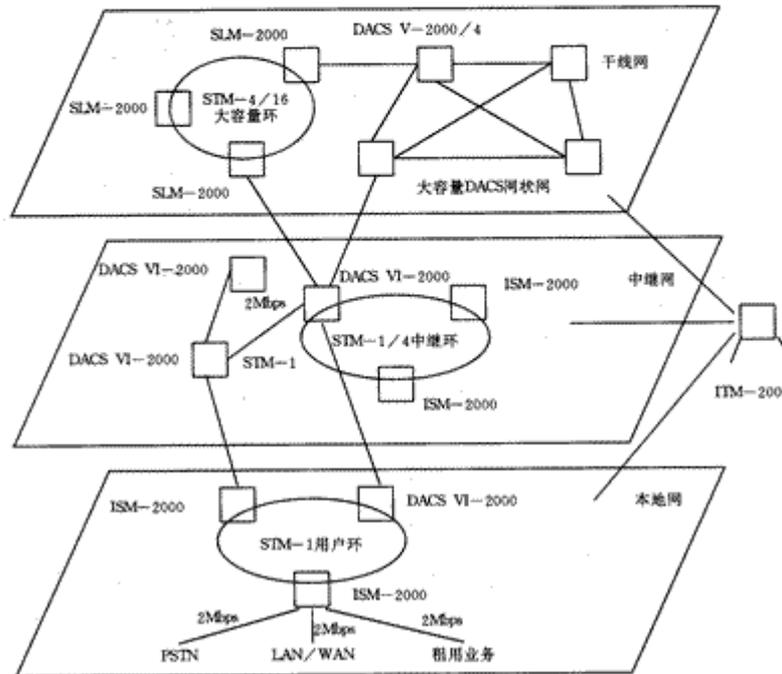


图 12-22 AT&T SDH 设备在网中的位置

### 5.3 自愈环

自愈环的作用是提高网络的生存性，即在无人工参与的情况下，网络能及时地发现错误，并能在极短的时间内自动恢复承载的业务，而用户根本感觉不到网络的故障。自愈环的结构有许多种，主要有路由保护、二纤单向环、二纤双向环和利用DXC保护的自愈环。

路由保护即采用主备份路由，这要求两条光纤在地理位置上是分开的，因此铺设成本高，而且这种方法只能对传输链路进行保护，而无法对网络节点的失效进行保护，所以只能适用于两点间有稳定的较大业务量的点到点保护。

二纤单向环如图12-23所示，由S光纤、P光纤和分插复用器ADM构成。S光纤传送业务信号，P光纤用于传送保护信号，两根光纤的传送方向相反，正常情况下以S光纤的信号为主信号。如果图中B、C之间的两根光纤断了，这时经S从B到C的信号丢失，于是在节点C，将S例换到P上，重新构成一个变形的环。单向环的控制比较简单，只涉及SDH标准中的AIS信号，因此容易实现不同厂家产品的互通。在业务量方面，由于环中所有的业务都要经过整个环，因此环的总业务量即为单个节点ADM的总容量STM-N。

二纤双向环(图12-24)的结构和单向环相同，在一对光纤上以时分复用的方式传送两路业务信号S1、S2，以及对应的保护信号P1、P2。S1、S2分别传送两个方向相反的信号，如S1用于传送AB信号，S2传送BA信号。双向环由于采用了时分复用，因此控制相对复杂些。双向环的业务量与网络节点数及网络上/下路情况有关，在业务量极端分散的情况下，即在每个节点都进行分插，则双向环达到最大容量 $K/2 \text{ STM-N}$ ，其中K为网络节点数。所以，网络业务量越分散即上/下路越频繁、网络节点数越多，双向环的效率就越高，即双向环与网络的业务量和节点数有关，这给网络的规化带来了困难。

利用DXC保护是指在某条链路出现故障时，利用DXC的快速交叉连接功能迅速地将业务交叉连接到一条替代路由上。DXC保护方式的成本比环网要高，而且网络恢复时间较长，通常需要数秒至数分钟，这将会引起业务丢失。但当网络拓扑比较复杂时，如高度互联的网状网，DXC保护方式比环网要灵活，也便于网络规划。

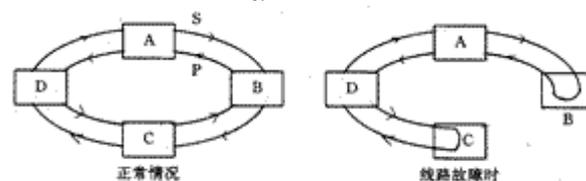


图 12-23 二纤单向环

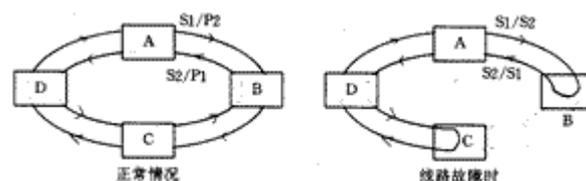


图 12-24 二纤双向环

二纤单向环、双向环和DXC保护方式各有特点，分别适用于不同的网络环境，一般来说，在长途网中采用DXC保护方式，在中继网中采用双向环，而在用户网中则用单向环保护方式。但这也不是绝对的，在实际应用中常灵活地混合使用这几种自愈环结构。

#### 5.4 SDH的网同步

SDH网同步结构采用主从同步方式，要求所有网络单元时钟都能最终跟踪到全

网的基准主时钟。

局内同步分配一般用星形拓扑，即局内所有时钟由本局最高质量的时钟获取定时，只有高质量的时钟由外部定时同步。获取的定时由SDH网络单元经同步链路送往其他局的网络单元。由于TU(支路单元)指针调整引起的抖动会影响时钟性能，因而不推荐在TU内传送的一次群信号作为局间同步分配，而直接用STM-N传送同步信息。局间同步分配一般采用树形拓扑。SDH网同步方式一般有网同步方式，伪同步方式及准同步方式等三种。

## 5.5 SDH的网络管理

SDH网的管理应纳入统一的电信管理网(TMN)范畴内。

SDH管理网(SMN)是负责管理SDH网络单元的TMN的子集，它又可以细分为一系列的SDH管理子网(SMS)。SDH网的管理采用多层分布式管理进程，每一层提供某种预先确定的网管功能。SMN由一套分离的SDH嵌入控制通路(ECC)及有关局内数据通信链路组成。ECC以段开销中的字节作为物理层，总速率达768kbit/s。

SDH的网络管理与电信网的信息模型紧密相关，它是为了达到不同系统间的兼容，需要将“信息模型化”，即电信网的信息模型。目前SDH的信息模型尚待进一步研究完成。SDH共同协议的实现将是能否实现多厂家产品环境的关键。

SDH具有很强的管理功能，共有五类。第一类是一般管理功能(ECC管理、安全等)；第二类是故障管理功能(告警监视、测试等)；第三类是性能管理(数据采集，门限设置和数据报告等)；第四类是配置管理(供给状态和控制等)；第五类是安全管理(注册、口令和安全等级等)。

在CCITT的建议中，已选择了一套七层协议栈(一组按次序堆积起来的协议)，来满足维护管理信息传递的要求。它符合目前开放系统管理所采用的面向目标的方法。用于SDH的协议栈如图12-25所示。

# 第十三章 数字电视标准简介

## 1 DVB

### 1.1 DVB的主要目标及标准

DVB(Digital Video Broadcasting)意为数字视频广播。DVB是欧洲有170多个组织参加的一个项目。它包括了卫星、电缆电视和地面广播的普通电视和高清晰度电视的广播与传输。

DVB项目的主要目标是要找到一种对所有传输媒体都适用的数字电视技术和系统，对它的要求是：

- (1) 系统应能灵活传送MPEG-2视频，音频和其他数据信号。
- (2) 系统使用统一的MPEG-2传送比特流复用。
- (3) 系统使用统一的服务信息系统提供广播节目的细节等信息。
- (4) 系统使用统一的一级里德-索罗门前向纠错系统。

(5)使用统一的加扰系统，但可有不同的加密。

(6)选择适于不同传输媒体的调制方法和通道编码方法以及任何必须的附加纠错方法。

(7)鼓励欧洲以外地区使用DVB标准，推动建立世界范围的数字视频广播标准。这一目标得到了ITU卫星广播的支持。

(8)支持数字系统中的图文电视系统。

主要的标准有三个：DVB-S、DVB-C和DVB-T，分别用于卫星、有线电视和地面广播，已得到ETS(European Telecommunication standard)的批准。DVB-S已被ITU推荐。DVB-S的标准是ETS300421，DVB-C的标准是ETS300429，DVB-T的标准是ETS300。

## 1.2 DVB系统所使用的主要技术

DVB各种系统的核心技术是通用的MPEG-2视频和音频编码。目前主要应用于数字卫星和有线电视广播的是MP@ML。因此第一代欧洲DVB接收机将提供直到“625行演播室质量”(ITU-R Rec. BT 601)的图像，可以是4:3或16:9宽高比。还可根据业务要求确定所用的码率。一般来说，所选码率越高，图像的质量越好，但占用频带越宽。码率的选用与图像内容有很大关系，对于运动较多的图像如体育节目等应采用较大的码率；而对于卡通片等节目可采用较小的码率。因此目前在把多个节目比特流复用合成一个比特流的情况下都采用统计复用的方法，能在不同码率需要的节目间灵活地分配总数码率。为了满足所有种类素材的要求，ITU-R Rec. BT 601演播室质量所需数码率为9Mbps，PAL/SECAM播出质量所需数码率为5Mbps，由于MPEG-2传送比特流是一种数据包结构，所以可以很方便地加入适当信息，把各种不同的业务，如图像声音和数据业务合在一起，并对服务信息的格式作详细的规定，所形成的标准就是服务信息标准ETS300468。同样由于MPEG-2未确定实际的加扰系统和密钥管理系统，DVB制定了解码器应用的条件接收公共接口。

## 1.3 DVB-S系统

DVB-S系统可适用于多种卫星广播系统，卫星转发器带宽可以从26MHz到72MHz。转发器功率从49dBW到61dBW。

发送端信号的处理分以下几个层次：

首先MPEG-2的信源编码和复用，将输入的视频信号，音频信号和数据按MPEG-2格式编码，再经节目复用和传送复用形成有用的数据包格式，包长188拜特，包括1同步拜特。

然后将此数据码流经多项处理。其目的是用来增加信号对误码的抵抗能力并使其适应通道传输特性。这些处理包括：用伪随机序列使数据随机化，使用里德-索罗门编码RS(204, 188 T=8)及卷积交织编码技术以提高对误码的抵抗能力。

最后以QPSK调制方式发送至转发器。

DVB-S的帧结构见图13-1。为了达到最大的功率利用率而又不使频谱利用率有很大的降低，卫星系统最好采用QPSK调制并使用卷积码和RS级联纠错的方式，可取得较好的效果。该系统最好用于一个转发器一个载波的系统，好能用于多载波系统。

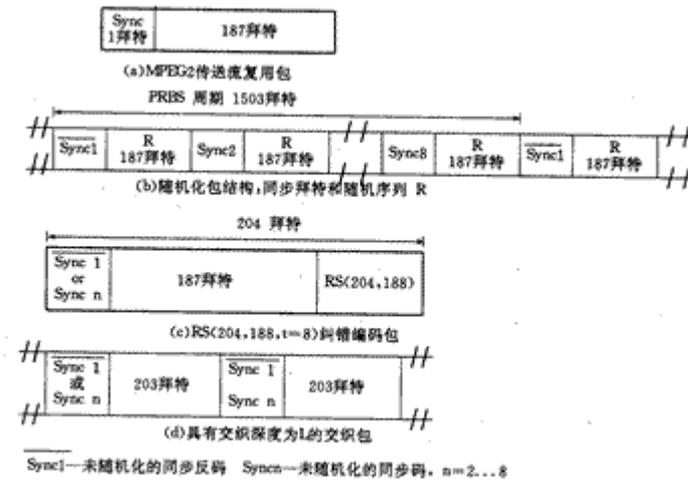


图 13-1 帧结构

#### 1.4 DVB-C 系统

有线电视系统可由图13-2的方框图表示, 其中分为两个部分: CATV前端和综合解码接收机(IRD, 也称综合解码接收机)。为了使各种传输方式尽可能兼容, 除通道调制外的大部分处理均与卫星中的处理相同, 也即有相同的伪随机序列扰码, 相同的RS纠错, 相同的卷积交织。随后进行的处理是专门用于有线电视的。首先进行拜特到符号的转换, 如64QAM是将8比特数据转换成6比特为一组的符号, 然后头两个比特进行差分编码再与剩余的4比特转换成星座图中相应的点。该方案可以适应16、32、64QAM三种调制方式。表13-1是使用DVB-C标准的CA TV的应用码率实例。

DVB关于有线电视的标准包括:

- ETS300468——电缆系统中的信道编码和调制;
- ETS300472——ITU-R中B制图文电视的传输;
- ETS300473——SMATV系统中信道编码和调制;
- ETS300743——DVB实时字幕系统;
- ETR154——有关MPEG-2的实现指导;
- ETR162——SI码的位置;
- ETR211——SI作用的实现指导;
- ETR289——共用加扰;
- EN50083——传输流与有线前端的接口。

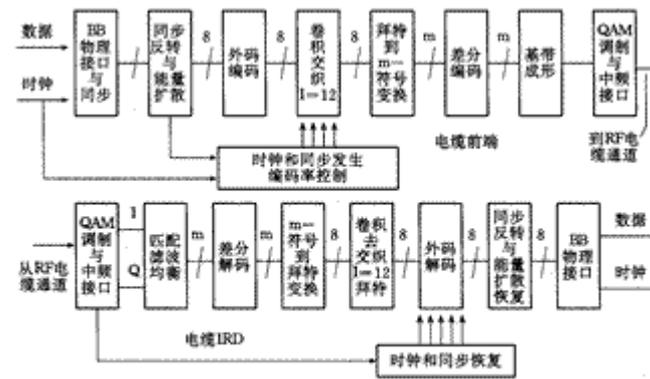


图 13-2 CATV 前端和综合解码接收

表13-1 DVB-C在CATV网中的应用实例

有用码率 Ru MPEG -2 TS	总码率Ru 包括RS (Mbps)	符号率 (Mbaud)	所占 带宽	调制方法
38.1 31.9 25.2	41.34 34.61 27.34	6.89 6.92 6.84	7.92 7.96 7.86	64-QAM 32-QAM 16- QAM
31.672PDH	34.367	6.87	7.90	32-QAM
18.9 16.0 12.8	20.52 17.40 13.92	3.42 3.48 3.48	3.93 4.00 4.00	64-QAM 32- QAM 16-QAM
9.6 8.0 6.4	10.44 8.70 6.96	1.74 1.74 1.74	2.00 2.00 2.00	64-QAM 32- QAM 16-QAM

## 2 MCNS标准

### 2.1 MCNS标准体系

MCNS是“Multimedia Cable Network System”的缩写，即多媒体电缆网络系统的意思。MCNS标准已成为美国的数字有线电视系统的标准，并已成为国际标准的基本。MCNS适用于 光纤-电缆网，即HFC网。MCNS给出了数据传输在电缆网中的参考模型，根据这个模型规定了各个接口介面，以及对各接口的技术要求。因此允许不同厂家生产的机顶盒和数据调制解调器在同一个电缆系统中工作，具有良好的统一性和互换性。

MCNS标准体系包括以下内容

- SP-CMCI 电缆Modem到用户室内设备的接口；
- SP-CMRFI 电缆Modem至射频的接口；
- SP-CMTRI 电缆Modem的电信回传接口；

- SP-CMTS-DRFSI 电缆Modem传输系统中下行RF接口；
- SP-CMTS-NSI 电缆Modem传输系统的网络边接口；
- SP-CMTS-SMI 电缆Modem传输系统的安全管理接口；
- SP-CMTS-URFSI 电缆Modem传输系统中上行RF边接口；
- SP-OSSI 工作支持系统接口；
- TR-OSSI 工作支持体制。

其中SP代表Specification即规格参数，TR代表技术报告，以便理解SP内容。在此通常的有线电视系统，改称为电缆Modem传输系统，因为其中除了电视信号外还传输各种数据，以区别以前的有线电视系统。Modem即调制解调器。

## 2.2 数据在电缆网中的参考模型

数据在电缆网中的参考模型见图13-3。

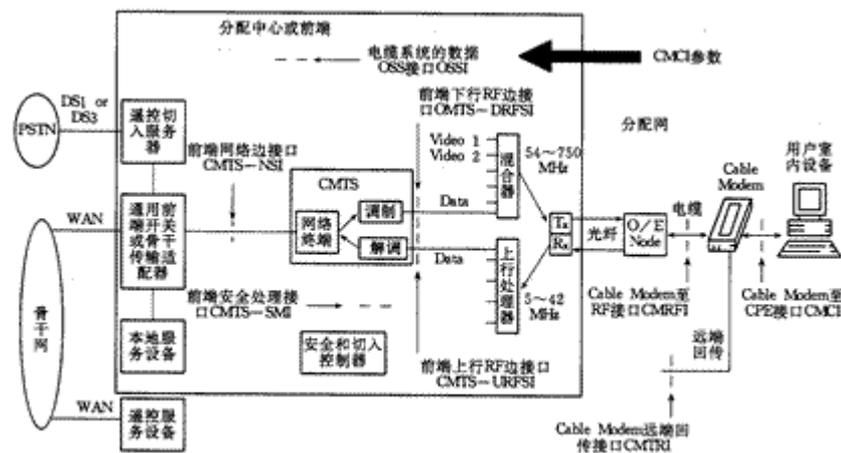


图 13-3 数据在电缆网中的参考模型

## 2.3 MCNS技术规范

(1) 前端称为电缆Modem终端系统 (CMTS)。

• 要求有适合的MCNS前端硬件设备，例如包含有通用宽带路由器，采用标准的Cisco 7200路由器和IOS软件，可支持MCNS射频和电话回传模式。

• 网络接口：10BaseT，100BaseT，ATM，HSSI。

(2) 电缆Modem (CM) • 要求有适合于MCNS的用户端硬件设备。

• 与PC的接口：以太10BaseT。

• 计划中的接口：USB和IEEE1394。

(3) 数据协议：TCP / IP

(4) 通过简单网络管理协议 (SNMP) 进行远程管理

(5) 下行按ITUJ 83附件B的要求。

- 调制：64QAM或256QAM。
- 最大数据速率：27Mbps或38Mbps。
- 带宽：6MHz频道带宽，也支持7MHz和8MHz。
- 频率范围：88—860MHz。
- 传输协议：MPEG—2。

(6) 上行

- 调制：16QAM或QPSK，可变的符号速率。
- 数据速率：320kbps~10Mbps。
- 带宽：200KHz~3 2MHz。
- 频率范围：5—42MHz。

• 系统根据调制方式在开始时设置为最高的符号速率，然后根据所检测到的噪声电平调整到合适的速率。

- 可用的速率范围及所用的带宽示于表13—2。

表13—2

上行符号速率 (Ksps)	QPSK数据速率 (kbps)	16QAM数据速率 (kbps)	所用带 (KHz)
160	320	640	200
320	640	1280	400
640	1280	2560	800
1280	2560	5120	1600
2560	5120	1024	3200

### 3.1 DAVIC系统描述

DAVIC是Digital Audio—Visual Council的缩写，即数字音视频理事会的简称，总部设在日内瓦，是一个非赢利机构。目的是推动广播和交互式数字音频、视频应用和业务的发展，制定能适应各种视音频应用和业务，能跨越世界各国不同环境有互操作性的端到端的开放接口、协议和规定，DAVIC包括了数字视音频的几乎所有的应用和业务，内容极其全面和广泛。DAVIC对所有的政府机构、国际组织、公司和个人开放，到1995年12月，DAVIC已有202个成员遍及20多个国家，几乎包括了世界上涉及数字视音频应用和业务所有公司和组织。DAVIC不是一种针对系统的专门规定，而是针对使用技术和工具的规定。因为针对系统的规定往往针对具体应用，而DAVIC规定必须是不针对具体系统的，要适用于不同的

工业和系统。对一个工具进行规定的主要过程是：对目标系统先进行分析，将系统分成各个部分，识别出系统中的共同部分，对各个部分作出必要的规定，检查工具的规定是否适于组合整个系统。只要技术上可行，进行完善规定的工具可移动位置重新放置。DAVIC要求一种工具只有一种功能特性，并且是到处一致的，但可以有不同级别的性能，如规定可以先规定一般性能，但可保留今后改进使其反向兼容。可以用图13-4来简要描述DAVIC系统。任何一个DAVIC系统都可以分解为五大部分：内容提供系统(CPS:Content Provider System)、服务提供系统(SPS : Service Consumer Provider System)和服务消费系统(SCS:Service System)以及他们之间的传递系统CPS-SPS传递系统和SPS-SCS传递系统。原则上说DAVIC可以用同样的方法定义任何子系统。

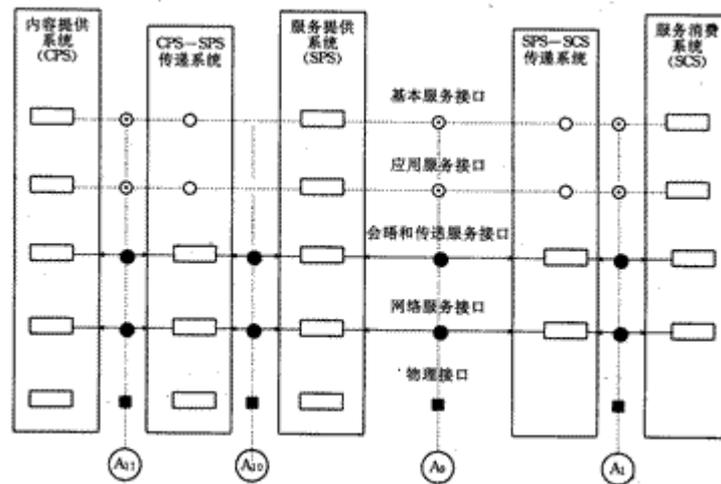


图 13-4 DAVIC 系统描述

在模拟世界中，所有类似的系统都相互独立地被各公司或公司集团所定义，由于模拟系统没有像数字系统那样的灵活性和相互联系。模拟系统的服务和应用往往与传递系统紧密联系在一起，也就是通常我们说的不管什么质量，电视总是用8MHz带宽频道传送，电话总是用4kHz专用系统来传送等等。造成各种业务的多种设备。而数字系统则将各种业务统一在一起，这要求对系统作严格的定义和分工。才能保证各种设备和各种系统的互操作性。DAVIC定义了众多的接口和层次，如图中的A11, A10, A9, A1接口和物理层接口、网络服务接口、会话和传递服务接口、应用服务接口和基本服务接口等，并给予了各种接口和层次的详细定义。

### 3.2 DAVIC文件

DAVIC文件共有13个部分，分成两类，一类是正式文件，设备必须遵守，另一类是非正式的，目前是非正式的部分但在将来可能成为正式的。

- (1) DAVIC系统功能描述。
- (2) 系统参考模式和方案。
- (3) 服务供给系统结构与接口。
- (4) 传递系统结构与接口。
- (5) 服务消费系统结构和高级应用程序接口。

- (6) 暂没有内容预留作他用。
- (7) 高层和中间协议，附录A：机顶盒管理信息基础。
- (8) 低层协议和物理接口。
- (9) 信息表述，附录：个人数据的包装。
- (10) 保密性。
- (11) 使用信息协议。
- (12) 参考点。
- (13) 互操作性和符合性。

第八部分7-7节电缆带通单向物理层接口(Passband Unidirectional PHY on coax)来看一下与DVB-C的联系与区别。这一物理层口支持电缆中无线频段(一直到1GHz)的单向传输,也称为HFC上的QAM链路(QAM-link on HFC)。这一物理层接口描述了完整的物理层结构,即包括用于S1和S2信息流包装的帧结构,通道编码和调制方法。物理层和成帧规定对这两种信息流都是一样的。

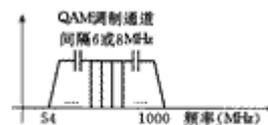


图 13-5 下行频率配置

为下行数据传输提供了两种帧结构,一种是携带MPEG-2传送码流包,另一种是携带ATM信元。对射频载波来说应都能使用这两种结构。电缆单向物理层接口的频率配置如图13-5,频率从54MHz到1000MHz,按6或8MHz间隔划分成各个QAM调制通道。

机顶盒应能工作在规定的全部频率范围内并能支持至少一种帧结构。而发送设备只要工作在规定的工作频段内即可。QAM有三种级别:16QAM,32QAM和256QAM。编解码框图与DVB-C一致,不同之处是DVB-C的QAM使用16,32,64三个等级,交织深度 $L=12$ ;而DAVIC使用16,64,256QAM,对16和64QAM,交织深度为12,但对256QAM,交织深度 $L=204$ 。除此而外,使用MPEG-TS流时的DAVIC帧结构与DVB-C完全相同。也是每8个188拜特包同步翻转一次,其他处理也同DVB-C,如图13-6。

对于传送ATM包,为了提供交织的同步和对齐纠错码块,使用与DVB-C同样的188拜特ATM复用包,包结构如图13-7。从图中可以看出。使用双包结构传送ATM的帧结构时,将7个具有48拜特信息、5拜特包头、共53拜特的ATM包转换成2个具有187拜特信息、1拜特包头的188拜特包。

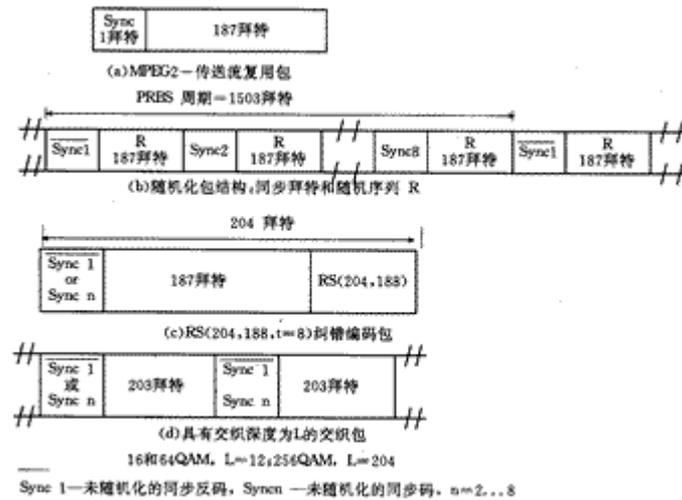


图 13-6 电缆带通单向物理层接口包结构

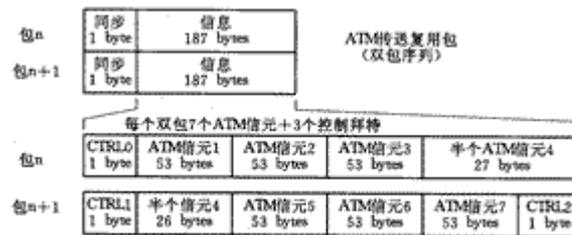


图 13-7 传送 ATM 时的帧结构

DAVIC还提供了一种改进同步可靠性的对传送标准是透明的工具“高可靠性标志”

DAVIC标准还定义了一些DVB-C未曾涉及的一些项目和参数，如对QAM定义2个级别，第一级别A，只涉及16和64QAM，第二个级别B，包括16，64和256QAM。

由上可知，DAVIC和DVB-C大部分规定是相同的，但有所补充。

## 第十四章 数字信号终端设备(IRD&Cable Modem)

### 1 综合解码机(IRD)

综合解码接收机(Integrated Receiver Decoder)是数字电视的接收设备。它接收卫星或有线电视前端发送的数字电视信号。经过信道解码，信源解码将传送的数字码流转换到原来压缩前的形式，再经D/A和视频编码送往普通电视接收机。根据卫星、有线电视和地面广播方式的不同，分为卫星IRD，有线IRD和地面广播IRD。三者使用的通道调制方式不同，卫星通道采用QPSK调制解调；有线大多采用QAM调制解调；地面广播欧洲使用COFDM调制解调；美国使用VSB调制解调。根据使用场合的不同，又分为家用和商用(CONSUMER AND CONNERCIAL)两种，前者适用于家庭，如有遥控、屏幕显示功能；而后者往往用于有线前端集体接收，要求更高的质量和更多的接口，以供设备间的连接，如数字传送码流输出接口接到再复用器等应用。同时商业应用也要求更高的可靠性。

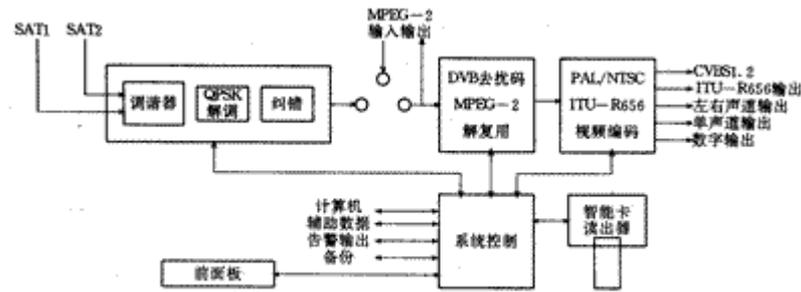


图 14-1 商用综合解码接收框图

下面我们简单介绍Philips的商用卫星IRD DVS3824的结构，大致框图如图14-1。主要部分有调谐器、QPSK解调、去扰码、纠错、解复用、解码、PAL/NTSC编码、系统控制和智能卡读出器等部分组成。调谐器部分有两个独立的射频输入和70MHz中频输出。调谐器能工作在C波段和Ku波段。根据不同的应用可以设计成MCPC接收或SCPC接收。MCPC指一个载波包含多路不同信号，称为多路单载波(Multiple Channel Per Carrier)系统。由于一个转发器只有一个载波，因此没有多载波的谐波干扰问题，频带和功率的利用率较高。但多路信号要在同一地点上星，不同节目需要地面传输设备将节目传送到地面站复用后送往上星设备。SCPC(Single Channel Per Carrier)是单路单载波系统。每路信号占据一个载波，优点是可在不同的地点上星。由于C波段和Ku波段的频谱位置左右不一样，因此Philips的调谐器具有频谱倒置功能，便于不同卫星节目的接收。两个不同的射频输入端可以用于两种不同极化方式，即水平或垂直极化方式的接收。由于防雷击的原因，通常调谐器输入端子是不允许用来提供电源的，LNB通常由室外电源提供。然而，在特殊情况下，失去外部电源时，商用IRD可通过输入接口向LNB供电，该电压通常不接通。

## 2 电缆调制解调器(Cable Modem)

### 2.1 Cable Modem的作用和发展前景

Cable Modem可以提供高速数据通信，比如：Internet接入、在线娱乐、VOD、电视会议、远程工作组以及局域网互联等等，是HFC网络的关键设备。

现有的电话Modem有其不足之处，已不能满足迅速发展的信息社会的需要，例如：

(1) 通信速率太低，大部分为28.8kbps，传输速率很低，尤其是传输多媒体画面耗时很长，而图像的信息往往比声音和其它数据要丰富和直观，是不能忽视的重要信息内容；

(2) 通信费用过高；

(3) 电话普及率不如有线电视。

而上述问题恰恰是有线电视网的优点：

(1) 有线电视网是一个宽带网，可以从5MHz到750MHz，甚至1000MHz的频率范围，可以选其中的两个频段作为下行和上行通带，下行速率可以高到达56Mbps，上行数据速率最高也可到10 Mbps，一般上行速率可在200kbps~2Mbps之间，这就大大缩短了数据传输的时间，尤其对信息量很大的图像信息具有十分重要的意义；

(2)有线电视是我国所有入户信息工具中收费最低的;

(3)有线电视的用户已接近6000万户,大大超过了电话的用户数。

综上所述,可以预计在迅速迈向信息社会的今天,随着信息网络化的发展,Cable Modem在有线电视系统中的应用会获得飞速的发展。

## 2.2 Cable Modem的标准

Cable Modem的标准化问题是一个十分重要的问题,否则不同厂家的产品不能在一个系统中共用,没有互换性,不论对消费者或是生产厂家都是十分不利的。

尽管目前Cable Modem还没有统一的国际标准,但是人们已经认识到了这个问题的重要性,并做了大量的工作,可以相信统一的国际标准的制定将很快会提到议事日程上来。

目前从事Cable Modem领域标准化工作的组织主要有:MCNS(Multimedia Cable Network System Partners),IEEE802.14,DAVIC(Digital Audio Video Council)等,其中最有影响的是MCNS和IEEE802.14。

### (1)MCNS

MCNS是“Multimedia Cable Network System”的缩写。

MCNS由Comcast、Cox Communications、TCI、Time Warner、MediaOne、Rogers CableSystems和CableLabs等公司组成,它的目标是制定在HFC网上通过Cable Modem进行数据通信的接口规范,使各生产厂商接受这一规范,从而达到不同厂家的Cable Modem具有互换性。

MCNS制定的DOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specification)由12个规范组成,在这些文件中,定义了数据、射频和电话回传接口以及安全、管理和业务支持。

MCNS已成为美国现行标准,并提交ITU-T审议已成为今后国际标准。

MCNS文件的主要技术内容有:

①MCNS网络层使用IP协议。

②数据链路层分为三个子层,即逻辑链路控制子层,链路层安全子层和媒体访问控制子层(MAC)。

MAC为所有下行数据流的传输定义了一个前端设备,即CMTS(Cable Modem Termination System),每个CM(Cable Modem)都侦听下行的所有数据而只有地址匹配的CM才能接收数据,CM之间的通信也要通过CMTS,上行通道为多个CM对一个CMTS进行时分复用。

③物理层划分为两个子层,即传输收敛子层和物理媒体依靠子层。

传输收敛子层只适用于下行通道,提供附加服务。

物理媒体依靠子层，下行通道，遵循北美数字视频传输规范，采用64/256QAM调制，6MHz带宽和可变深度交织等，上行通道，在CMTS控制下，CM具有灵活性和可编程等特点，上行调制采用QPSK或16QAM。

## (2) IEEE802.14

802.14是IEEE的一个工作组，主要定义MAC层和PHY(物理层)接口规范，包括：MAC接口、PHY接口、安全协议、基于ATM信元的接口技术(QoS及带宽分配等)。

## (3) 两种标准的比较

- ①MCNS和IEEE802.14两种标准的物理层接口非常相近；
- ②MCNS基于帧结构而IEEE802.14是基于ATM信元；
- ③MAC层接口不同；
- ④MCNS定义了安全规范、管理和业务支持，而IEEE802.14没有。

MCNS在实用方面走在了IEEE802.14前面，已有半导体厂商宣布能生产支持MCNS的标准芯片。

## 2.3 Cable Modem的分类

依据系统的类型和用户功能的不同Cable Modem有不同的类型。

(1)按数据传输的方式，可分为对称型业务和不对称型业务Cable Modem；

(2)按使用功能，可分为公共信息型和专用信息型Cable Modem；

(3)按带宽速率分配方式，可分为动态分配带宽速率与固定带宽速率Cable Modem。

动态分配带宽速率方式适用于Internet的接入，公共信息查询等业务。

固定带宽速率方式适用于电话、数据、专线等业务。

上述这些区分方法并非固定不变，也可以有其他分类方法，在一个Cable Modem上可能体现几种分类。

## 2.4 Cable Modem系统的组成

所谓Cable Modem系统，即采用Cable Modem，借助于有线电视传输网络，开展计算机网络业务的系统。

系统通常由前端系统，具有双向功能的CATV传输网和用户端子系统三部分构成。根据MCNS的定义，前端主要设备是电缆调制解调器端接系统，即CMTS(Cable Modem Termination System)，CMTS中包括网络接口，调制器和解调器，CMTS的网络侧包括有如下设备：远端服务器、骨干网适配器和本地服务器。

CMTS的射频侧包括有如下设备：混合器、上行信号频分器、光发射机和光接

收机等。

CSTV双向传输网络，包括光纤及同轴电缆传输网，即HFC网。

用户端子系统主要包括Cable Modem和用户室内设备(计算机等)。

Cable Modem系统的组成框图示于图14-2。

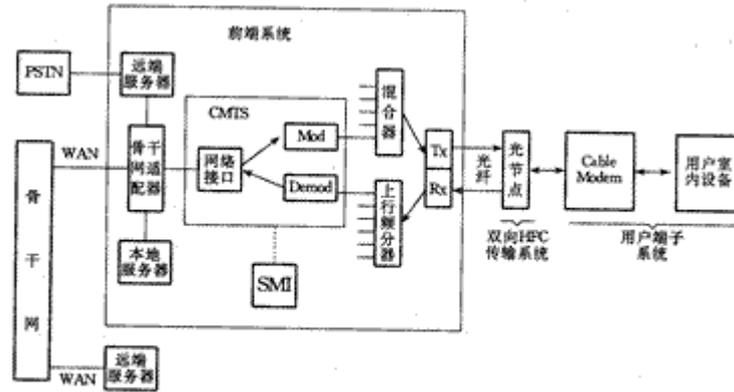


图 14-2 Cable Modem 系统的组成框图

### 2.5 Cable Modem的组成和功能

CM有多种型号，一个典型的CM包含调制解调单元、电视调谐单元、解密单元，有的CM还具有以太网集线器功能、桥接器功能、路由器功能以及网络控制功能等单元。

CM是一个双向接收发送设备。

下行方向，数字信号调制在88~860MHz内某一个8MHz带宽的一个载波上频率上，调制方式多采用QPSK或64QAM。

上行信道设置在5~42MHz频段上，该频段的噪声干扰比较大，例如无线干扰，家用电器的脉冲噪声干扰和各种工业干扰，同轴电缆的失配和屏蔽不良也会侵入噪声，因此大多采用抗干扰能力较强的QPSK或OFDM调制方式。对于某些不对称CM，上行信道带宽不超过2MHz，可采用频分法，不同的CM采用不同的载波向前端传输上行信号，上行频率范围仍在5~42MHz范围内。

### 2.6 生产厂家和产品举例

目前世界上已有数十家公司在生产和研制Cable Modem，例如：

Com21, Bay Networks(LANcity), SA, GI, Motorola, Hybrid Network, IBM, Ecnith等美国公司，此外还有以色列的Phasecom, 日本的NEC, NTT和澳大利亚的Telstra等，我国也有企业开始研制和生产Cable Modem，如深圳的傲能公司。现将Phasecom, LANcity和Com21三种产品的主要技术参数示于表14-1。

每个公司的Cable Modem有一个产品系列，以适应不同用户的需要，用户应根据自己的情况来选择产品型号，现以LANcity产品为例介绍于下：

表14-1 PHASECOM、LANCITY与COM21技术参数

--	--	--	--

产品	PHASE	COM21	LANCITY
项目			
下行频率范围	50~860MHz	54~750MHz	80~860MHz
上行频率范围	5~42MHz	5~42MHz	5~40MHz
下行频率带宽	6MHz	6MHz	6MHz
上行频率带宽	2MHz	6MHz	1.80MHz
下行调制	64QAM	QPSK	64QAM
上行调制	QPSK	QPSK	QPSK
下行传输速率	31.824Mb/s	10Mb/s	30.336Mb/s
有效下行传输速率	27.00Mb/s	$10 \times e^{-9}$ (C/N > 22dB)	23.96Mb/s
误码率	$10 \times e^{-12}$ (C/N > 30dB)	$10 \times e^{-9}$ (C/N > 22dB)	$10 \times e^{-9}$ (C/N > 16dB)
RF传输	MPEG-2/Ethernet		ATM AAL5
网络协议	OSI 3/7		OSI 3/7
MAC协议	MCNS, 基于IP	802.3	基于ATM, 802.14
NMS软件	SNMP协议	SNMP协议	UNIX操作系统
物理接口	RJ-45; F头	标准AUI或RJ-45	RJ-45; F头
电源	90/240VAC 47~63Hz		110/220VAC

### LANcity产品系列有:

#### (1) 个人电缆调制解调器 (LCP)

现在, 家庭办公者和Web浏览者能够以比过去用电话调制解调器快得多的速率交换信息。

LANcity个人有线电视调制解调器使得对大量图形文件或大型数据库进行交互式检索, 而不必像过去使用低速设备时那样要面临漫长的等待。LCP是一种单用户有线电视调制解调器, 并且有完整的数据链路和网络层桥接功能。

#### (2) 工作组电缆调制解调器 (LCw)

LANcity工作组电缆调制解调器允许小型企业或多个PC家庭机、用户访问高速城域有线电视数据网。小型PC工作组也可以享受到实时交互式服务, 这是以前低速率电话调制解调器技术根本无法实现的。随着信息检索和交换速率的不断提高, 等待数据传输的时间也越来越短, 从而大大提高了工作效率。LCw有线电视调制解调器具有工作组、数据链路、网络层桥接功能, 可允许一到四个用户使用。

### (3) 多用户电缆调制解调器 (LCb)

LANcity多用户电缆调制解调器是一种企业网络有线电视调制解调器，允许企业网络、学校系统和市政府进行城域网。

## 第十五章 CATV宽带综合服务网

### 1 CATV宽带综合服务网的特点

CATV宽带综合服务网与前几章介绍的数字通信网有所不同，它表现出多样性和兼容性的特征。

#### 1.1 模拟信号和数字信号并存

目前电视信号仍以模拟信号为主，并且过渡到全数字电视信号还要有一个相当长的过渡时期，因为现有的数亿台电视接收机是模拟电视信号接收机，并且在宽带综合网传送的信号中，电视广播信号仍占有绝对大的比重。

数字信号目前主要在交互式通信中使用，如计算机数据传输和电话，这些信号已实现了数字化，今后将逐步增加数字电视信号的传输比例。目前卫星转播电视信号已采用了数字压缩编码的信号，今后将逐步会在CATV网络上传输64QAM的数字电视信号。

#### 1.2 频分复用与时分复用并存

对于多路模拟信号的复用应采用频分复用方式，对于多路数字信号的复用常采用时分复用方式。由于CATV网中既有模拟信号又有数字信号，故系统中必然存在频分复用和时分复用并存的复杂情况。

在CATV宽带综合网中将充分利用频分复用和时分复用各自的优势，力求以有限的频带来传输更多的节目和信息，力求以最低的经济代价来换取更多的服务。

#### 1.3 光缆与电缆并存

目前我国很多地区已建立了光缆电缆混合网即HFC网。因为全光纤网，即光纤到家的网络是目前社会经济水平难以承受的。

#### 1.4 信号分配与信号交换并存

电视广播是一个单向的分配系统，而通信则是双向交互式信息交换过程。

以上四方面的并存局面说明了CATV宽带综合网的复杂性和多样性，需多方面知识和技术的结合，是一个新兴的技术领域。在国际上也还处于起步阶段或探索阶段。世界上也没哪一个国家完成或基本完成CATV宽带综合网的体系建设并投入实际运行。大多是区域性的实验网，因此需要CATV建设者加强学习，交流以便使我国今后的CATV宽带综合网的建设能比较顺利。

### 2 接入网的概念

原来进行有线电视的工作人员，未曾听说过接入网这个名词，自从欲将广播电视与通信结合在一起组成一个宽带综合网以来，在许多文章上常常听说“接入

网”这个名词并且还专门进行了接入网技术的研讨会。由此可知，接入网完全是一个通信网络的专有名词，最初是从电话网角度上产生的。

近些年来，国际电信联盟标准部 (ITU-T) 已经正式采用了用户接入网 (简称接入网) 的概念。这是一个适用于各种业务和技术，有严格规定并以较高的功能角度描述的网络概念。

从整个电信网的角度，可以将全网划分为公用电信网和用户驻地网 (CPN) 两大块，其中 CPN 属用户所有，因而，通用电信网指公用电信网部分。公用电信网又可以划分为三部分，即：长途网 (长途端局以上部分)、中继网 (即长途端局与市话局之间以及市话局之间的部分) 和接入网 (即端局至用户之间的部分)。目前国际上倾向于将长途网和中继网合在一起称为核心网 (Core Network) 或转接 (Transit Network)。相对于核心网而言，余下的部分称作用户接入网似乎是恰当的，它主要完成使用户接入到核心网的任务。可见，用户接入网是相对核心网而言的，由于两者的环境、业务量密度以及技术手段有很大差别，因而有些文献只把核心网部分称为网路，而将用户接入网称作接入环路。为了使读者对接入网在整个电信网中的位置有一个清楚的认识，图 15-1 给出了整个电信网的组成示意图。

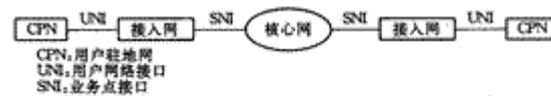


图 15-1 电信网的组成示意图

核心网有时也称作骨干网。譬如同步数字传输网 (SDH网)。

CATV宽带综合网中既传输模拟广播电视信号，又传输数字交互式通信信号，从上面接入网的定义可知。所谓接入网，目前只对数字通信而言的，因为模拟广播电视信号，只有单向的分配信号的任务，而且绝大多数是本地前端产生的信号。也就是说对电视信号谈不上接入网的概念。只是通信信息可以从全国邮电网上获取和发送至邮电网。邮电部门已建成若干 SDH网。从通信角度上说 CATV宽带综合网 (HFC网) 是全国通信网的接入网，并且是窄带信息，往往是不对称频带配置。下行频带宽获取的信息量大，上行频带窄需发送的信息量小。

只有当全国光纤 CATV 的 SDH网建成后，上百套电视节目可以取自 SDH网而无需由本地前端来产生时，HFC宽带综合网，才是完全意义上的全国 CATV网的接入网。

### 3 CATV宽带综合服务网的一般组成方案

CATV宽带综合服务网的一般组成方案图示于图 15-2 中。

#### 3.1 系统的频谱设置

从图 15-2 中可以看出 CATV宽带综合网中既有模拟信号又有数字信号，两类信号的处理方法上是完全不同的。实际上整个系统由两部分通道按频分方式混合而成。

上面部分为模拟信号通道以模拟电视信号为代表，当然还包括 FM 声音等。其组成及各部分的功能已为人们所熟悉。就如我国大多数 CATV 系统那样，在此不再讲述。

下面部分为数字信号通道，这部分信号在前端下行光发射机前与模拟信号进行数模混合，在用户终端系统中于下行光接收机后进行数模分离，然后送后 Cable

Modem, 最后送到各种 终端设备, 如电话机, 计算机等设备。

目前数字信号主要是窄带信号。如话音和计算机数据信号等, 其频带宽度为几十KHz至几M Hz。

今后将在这部分加入数字电视信号。这种数字电视信号将以64QAM或256QAM调制方式进行传输。由于采用了MPEG数字压缩编码和正交幅度调制方法, 信号频带被大大压缩, 对于不同等级的电视信号占有不同的带宽。对于主级和主类(MP@ML)大约1MHz带宽可传输1套电视节目, 则100MHz带宽大约可传输100套电视节目。

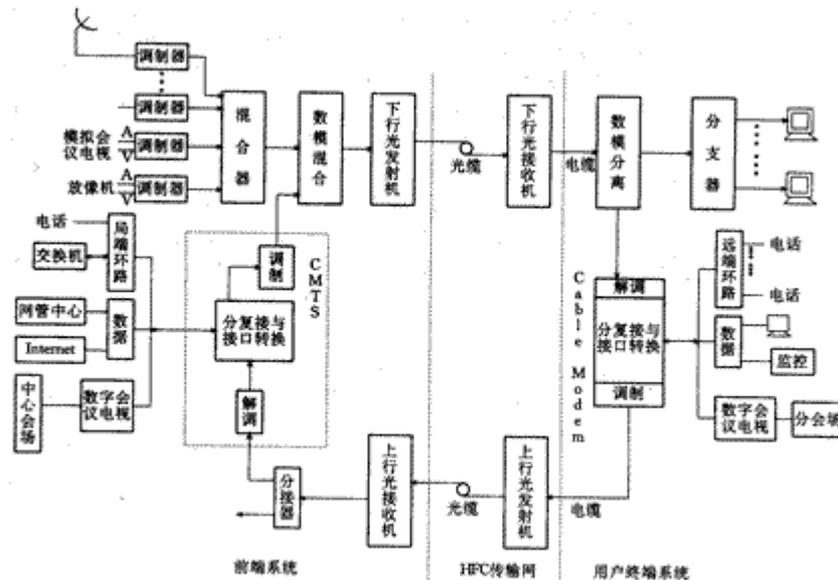


图15-2 CATV宽带综合服务网组成方案图

表15-1 有线电视系统的频率配置

波段	频率范围 MHz	业务内容
R	5~65	上行多功能业务
X	65~87	保护带
FM	87~108	声音
A1	110~167	电视
I	167~223	电视
A2	223~463	电视
II	470~550	电视
B	550~750	下行多功能业务
C	750~1000	未来发展用

各国对CATV宽带综合服务网的频谱配置还未取得完全的统一。频率的上端北美和欧洲均取为860MHz, 上行频道的规定则有所不同。美国为42MHz欧洲为

65MHz。我国的有线电视系统的频率配置可能按表15-1，但还未成为正式标准发布。

从表15-1可以看出：

①我国有线电视宽带综合网可能频率上限为750MHz，而不是860MHz，这是根据需求和可能而定的。按理根据需要今后也可以扩展到860MHz，标准是可以修改的。

②我国可能采用上行频道的频率上限为65MHz，这并不影响我们采用北美的标准。频带宽则留有余地，开展其他多功能业务，不一定目前就要用完。

③从110~550MHz为模拟电视频道的频率范围，频道带宽为8MHz。

④550~750MHz为下行多功能业务。其中包括窄带数据信息，也可以包含今后的数字电视的业务。例如：

550~650MHz作为数字电视传输大约可传输100套电视节目，在相当长的历史时期也是够用的。

650~750MHz作为窄带下行通信业务，其带宽可是足够的。

### 3.2 CATV宽带综合网的组成

从图15-2可以看出整个系统由三部分组成，即前端系统，HFC传输网及用户终端系统。

#### (1) 前端系统

前端系统的功能广义地概括起来讲有三项。即信号的接收，信号的处理和信号的控制。

##### ①对于模拟信号：

信号的接收，则是接收来自卫星的信号，开路广播的信号和自办的来自演播室的信号。

信号的处理则是信号的放大，即电平的处理信号频谱的处理，如信号的调制，信号的变频，信号的混合等。信号的控制则主要是信号电平的自动控制和频率精度的控制等。这些功能已为广大的有线电视工作者所熟悉，不在此讲述。

##### ②对于数字信号：

信号的接收，主要是指接收来自邮政网，计算机网和上行数据，对于数字信号接收的含义应理解为执行网络节点接口协议和接口转换。

信号的处理的内容很多，例如，信号结构的形成，信号的分复接，数字信号的调制，信号的同步等等。

信号的控制如流量控制，误码控制，故障控制，性能管理和安全管理等等。

数字前端的主要设备之一是电缆调制调器端接系统即CMTS(Cable Modem

Termination System)。它包括分复接与接口转换，调制器和解调器。

CMTS的网络侧包括一些与网络连结有关的设备，如远端服务器，骨干网适配器和本地服务器等，应该指出这些设备的种类很多，名称可能也不一样，但作用应大致相同。在图15-2中这些设备包括在局端环路和数据框图中。

在CMTS的射频侧，则有数模混合器，分接器，光发射机和光接收机等设备。

## (2)HFC传输网

HFC传输网的任务是将信号传输给用户，这方面我国已有不少的实践经验。因此不在此重复叙述。

## (3)用户终端系统

用户终端设备由用户Cable Modem和用户室内设备构成。用户Cable Modem是这类设备的一个总称。它由调制器，解调器和分复接与接口转换设备构成。不同的厂家有时名称不同，结构也不同，例如有的厂家，称为远端设备(RIU)。

## (4)接入网与骨干网的连接

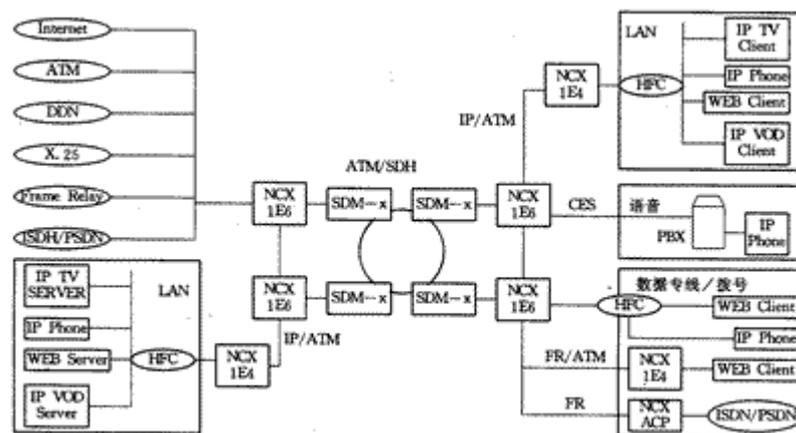


图 15-3 综合网数字信号部分链路图例

接入网与骨干网(ATM / SDH)的连接通过SDM(分插复用器)连接。这方面有多种设备，现以ECI 公司的设备为例，示于图15-3。图15-3中SDM包括ADM(分插复用器)和电视、电话及数据业务的集成服务器。NCX 1E6为多业务ATM交换机，NCX 1E4为多业务交换机。可以将ATM信元变换为IP、FR(帧中继)和ATM形式输出。

不同的系统选用不同厂家的产品，这些设备的名称和功能可能不完全相同，但其基本功能大致是一样的。

## 4 传输协议(ATM和IP)

为了提供高速数据业务以及话音业务，针对每一种业务都有多种解决方案。

以往人们认为，能够支持语言，数据和视频业务的平台只能基于ATM技术，但近年来这种观点受到了强烈挑战。由于Internet网络的迅速发展，TCP / IP协议的广泛使用，采用IP技术，提供宽带多媒体业务逐渐成熟起来。例如：改善实时应用的协议RTP，保留宽带的协议RSVP以及改善可靠性的协议IPSEC等的引入。

目前在骨干网上采用ATM技术的争议不大，但在接入网中是否采用ATM技术却有很大的争议。

美国MCNS标准，Cable Modem采用的是IP协议，并有许多生产厂商生产了基于以太网的IP Cable Modem，有的半导体厂商已生产支持MCNS标准的标准芯片。因此支持IP的Cable Modem已成为市场的主流。

一种方案，或一种产品能否迅速推广使用，除了技术上的先进性以外，市场因素是决定性因素。由于ATM骨干网尚未广泛建立，而基于IP的Internet网已为人们所熟悉而广泛使用。另一方面人们对宽带业务的需求还没有达到非常迫切的程度。因此运营商对巨大投资考虑持非常谨慎的态度，这也是IP方案能够推广的市场因素。

由于ATM与IP标准上的相容性。使用ATM传输技术可以提供基于IP的所有业务。因此有的厂商生产既支持ATM技术也支持IP的产品。即所谓“IPover ATM”已成为当今多媒体通信的热点话题。如图15-3所示的NCX 1E6，NCX 1E4等多业务交换机，其输入信号是ATM，而输出信号分别可以是ATM、FR和IP。

## 5 反向噪声

### 5.1 噪声源

由于HFC网的电缆部分采用树状拓朴结构，使得反向通道的噪声比较严重，HFC网络反向通道的噪声可分为两大类。

#### (1) 结构噪声

结构噪声是由器件自身产生的，主要以热噪声为主。网络的结构噪声主要有下列生成情况：

##### ① 基础热噪声

它与带宽有关。由15-式表示：

$$P_{no} = K \cdot T \cdot B$$

其中：〔ZK(〕 K为波尔兹曼常数 $K = 1.38 \times 10^{-23}$

T为绝对温度(常温可取 $T = 239K$ )

B为噪声带宽

##### ② 汇入噪声

当放大器串接或并接以及多个支路并接，在汇入点噪声功率要叠加，即所谓漏斗效应。

##### ③ 光端机的噪声。

#### (2) 入侵噪声

入侵噪声是一种随机的射频干扰。主要有以下几种形式：

①冲击干扰，如由天电，引擎，工业电器启动时产生的随机尖脉冲干扰。

②窄带连续波干扰。主要由各种短波广播及无线电通讯等引入的干扰，表现为某一频率上的干扰。

## 5.2 解决反向通道是噪声问题的方法

(1)采用具有较强的抗噪声能力的调制方法。例如QPSK S-CDMA等方法。一般说来，在星座图上，相邻信号点的距离越大，判决空间也越大，抗干扰能力就越强。QPSK在 $C/N > 13\text{dB}$ 时，误码率可达 ，而64QAM要在 $C/N > 20\text{dB}$ 时，误码率才能达到 。

(2)采用开关法来减小噪声积累。如采用一种消除干扰噪声的滤波器，安装在同轴用户终端口上，当用户终端Cable Modem传输上行信号时，打开上行通道，让上行数据信号通过，一旦发送完毕，关闭上行通道。

(3)采用频分法来减小噪声的影响。

由单独的光纤来传送上行信号，每个光节点可调制在不同的频带上。这样可以避免不同光节点的噪声叠加。

(4)加强电缆，接插件的屏蔽作用以及提高施工质量以减小入侵干扰。网络建设的质量特别是电缆网的质量将是我国在未来宽带综合网建设中的一个十分困扰的问题，应给予十分的重视。

## 6 CATV宽带综合网的各种模式及功能发展

CATV宽带综合网的模式有多种多样，目前也还处在试验阶段，最终市场规律将决定各种方案的生命力。社会的实际需求，社会的实际经济承受能力在此起着重要的作用。如果脱离了上述两点社会因素，即使从技术角度上来说某种方案是先进的，它具有能够传输多种信号、方便、快捷、可靠性好、网络管理功能齐全，但超出了社会经济承受能力和社会需求，则也是难以推广使用的。相反，某种方案虽然并不完美，但造价低廉，能满足当前人们最迫切的信息需要，则也是有生命力的，至少在一段时间里能得到一定程度的推广使用。应该说目前推出的任何一种CATV宽带综合网系统都是过渡性的系统，尚不存在理想的一劳永逸的完美系统。

围绕着提高系统性能，降低造价两方面，推出了各种各样的系统模式，在此无法进行全面介绍，仅举几个例子进行解释。

### 6.1 数据平台与电视平台分离的模式

对于数据传输如果正向信号都从前端发出，而反向信号又都回传至前端，则前端的设备势必十分庞大，所需的传输频带也非常宽。会给系统造价带来十分不利的影 响，也会给数据传输的速率和网络的管理带来不利的影 响。数据传输通信网络已自成体系。骨干网的任何一点都可以切入，无需在前端一处进行。网络中各部分，根据光节点的地理分布可以就近切入。这样就减轻了系统负担，降低了造价，从另一个角度上说提高了数据传输的效率和网络管理功能的简化，提高了系统的可靠性。当然对于电缆传输部分是公用的，而对光纤传输部分则是广播信号和数据信号通过不同的光纤传输即光纤网大部分同缆不同纤，也许只是到分配区的最后一段是同缆同纤。

## 6.2 减少功能的简化系统

从目前社会需求角度来看，最主要的是窄带数据业务，如IPPV的信令和Internet等，并且是不对称的业务。从网络获取的信息多，而从用户端回传至网络的信息量少。根据这种判断，有的系统用电话线作为回传反向通道。这样实际上CATV系统实际上是一个单向传输系统，系统造价大大降低。

当然Internet网是一个开放系统，有时用户也要传送比较多的信息至网络，如传送图像信息，有时会感到不方便。但大多数获取信息量要比发送信息量大，在获取信息时会比以前的窄带网快捷，这种系统应该说是过渡性的，但其思路仍是值得重视的，许多宽带交互式系统信息社会的需求并不十分强烈，而提供这类宽带服务的造价又非常高。因此上述简化的提供窄带交互式业务的综合网在相当一段时间里仍有一定的市场。对于某些宽带业务，如数字化加密电视，VOD会议电视等对于广大市民来说并非十分需要，只是在小范围群体中有需要，可以想象广大市民要拿钱建这样的复杂系统兴趣不大，目前难以推广。研究社会需求，简化系统结构，降低造价可能是在相当长一段时间里应该重点关注的课题。

## 6.3 集体解码和个体解码方案

在用户端，如每个用户都配备一台Cable Modem可能是一种方便的方案，但Cable Modem价格较高，大约需500美元左右。一般用户难以承受。另一种方案是多个用户配备一台Cable Modem，然后送入以太网，每个用户再从以太网上获取信息。这样一台Cable Modem可由几十个用户甚至更多的用户分摊。系统造价会显著降低。因此系统的结构应根据具体情况来设计，在人口密集的城市，共用Cable Modem在经济上是合算的。当然在地域上孤单的用户只能自己花钱安装设备，因为计算机网络的传输距离是有限的。

## 6.4 IP电话新业务

随着信息技术的发展，各种新的业务将会不断涌现。例如IP电话在可以预见的将来会有很大的发展，将有取代现有的电话成为电话领域中的主力军的趋势。利用分组传输模式可以利用会话的空闲时间传送其它信息并利用语音压缩编码技术把原来需要64kbps的码流压缩到大约8kbps，因而大大提高了传输效率和降低了电话费用。相信今后在CATV宽带综合网中传送IP电话的时刻不久将会到来。今后实现三网合一，其中电话主要不是目前的电话形式，而是IP电话。

## 7 CATV宽带综合网的发展方向——从“频分”到“时分”

在多路信号传输系统中，信号的复用方式往往对系统的性能和造价起着重要的作用。信号的复用方式主要有：空间复用方式(SDM)，频分复用方式(FDM)，时分复用方式(TDM)和波分复用方式(WDM)等。其中尤其以频分复用和时分复用为最常用的复用方式，有时在一个系统中同时采用几种复用方式，以求得到较好的性能和价格比。

在此有必要对频分复用和时分复用方式作一些回顾与展望。

### (1) 频分复用方式

信号的复用方式与信号本身的性质有关，在以往的模拟信号时代，往往都采用频分复用方式，不论对电话或电视信号都是如此。例如，直至今日，我们对模拟电视信号仍按频道划分来进行传输。

### (2) 时分复用方式

对于数字信号，主要采用时分复用方式。

信号的数字化时代已经到来，并将逐渐取代模拟信号，这是一个不可抗拒的发展潮流。

数字技术已在通信和信号处理领域广泛应用，若图像传输也能实现数字化将有助于形成一个统一的全数字世界。

全数字时分复用方式可以提供复杂和灵活的功能，诸如业务量集中和疏导，储存和交换，各种业务信号的混合和分插等，还可以综合所有的业务并避免了传统的VSB-AM和FM通路的固定带宽限制。

经编码和压缩处理后的图像信号有两种基本的传输方式。一种是建立在原有CATV网上的数字带通传输技术，即仍在频道划分的基础上，对数字信号进行载波调制。例如采用正交调幅方式(QAM)的调制。数字信号的载波调制方式是时分与频分复用方式的结合，是不完全的时分方式。另一种方式是直接进行数字基带传输方式。数字基带传输技术的基本思路比较简单，只需在网络侧和用户侧分别设置具有复用和分用功能的设备即可。用户侧设备即为光网络单元(ONU)，由ONU将光信号分用为电信号。这种方式非常适用于双向交互型业务，诸如电话和VOD等业务。也同样适用于单向广播式CATV业务。

过去视频信号是用单独的链路来传输，即用CATV网来传输。其原因是电信网的带宽不足，不能传送多路视频信号，现在SDH技术提供了足够的带宽，能为各种电信业务提供公共传输通道，其中包括广播电视业务。

SDH的接口速率为：

STM-1：155.52Mbps

STM-4：622.08Mbps

STM-16：2488.32Mbps

电视信号经MPEG-2压缩编码后可做到：

家用电视信号：1.5Mbps

专业级电视信号：4~5Mbps

广播级电视信号：8~9Mbps

SDH允许接受任何数字式编码，允许把不同格式和速率的信号多工组合在一起。

假定电视广播信息占全部信息的70%，其余作为通信用。则STM-16可提供广播电视容量为1741Mbps，扣除5%的开销比特，用于电视信号为1654Mbps，假定平均每路电视信号为4Mbps，则一根光纤可同时传送400个以上的电视节目，并且随着技术的发展还可能增加信道数量。有资料显示，对于配有3.1Gbps的光端机，其信道容量可达500以上，足以实现多路广播电视的要求。

数字基带传输技术无需使用副载波调制，比较简单。对信噪比的要求低，为达到 $10^{-9}$ 的误比特率，仅需21.6dB的信噪比。而数字带通传输技术，即便采用

前向纠错技术后，为达到 $10^{-6}$  的误比特率仍需要30dB至37dB的信噪比。因此从理论讲数字基带传输技术是最适合的方式，另外，基带方式可以直接监视基带信号，也可以接入低速支路信号，与SDH网的发展和全数字化进程相协调。

对于双向交互式业务，数字基带方式从长远观点看应比数字带通方式经济。

从运行维护和调整方面看，基带方式一旦投入运行，基本无需调整维护，运行成本低。

基带传输方式的机顶盒比较简单，没有复杂的射频调谐和解调设备和前向纠错。因而成本可能较低。在实现了全数字方式后，估计电视接收机将有重大的改进，电路将更简单，可以去掉PAL制的副载波色度信号处理电路。在时分传输系统中，高频调谐电路和中频放大电路也将成为多余，电视信号将可以R·G·B三基色信号直接送入电子枪。音频信号也无需FM波与调谐电路，甚至可能在显示方式上将产生重大的革新。如果按像素进行矩阵方式显示，则将省去电真空显像管，实现超薄型壁挂式显示方式。

在实现数字基带时分系统方面，骨干网上已具备一些条件或在不久的将来会具备这方面的条件，具体说来这些条件是：

(1) 目前邮电部门已建成多条SDH通信骨干网络，可以提供数据和语音的全国联网的需求。

(2) 我国广播电视总局也提出了有线电视网络规划草案，规划目标在1999年完成全国有线电视光纤联网工程。分五个层次建网。

第一层次为国家干线网，分东南沿海环、西南环、西北环和东北环四个环路。

第二层次为省级干线网。

第三层次为地、市级干线网。

第四层次为县级网。

第五层次为HFC接入网。

国家级干线网传输采用SDH体制。

实现国家级二个平台：A平台广播电视平台：2005年传送100套电视节目，100套广播节目，2010年传送200套电视节目，200套广播节目。

01年8月至今：	现在在线：	 <p>视听研究所 http://www.AVResearcher.com</p> <p><a href="#">返回首页</a></p>	<a href="#">友情连接说明</a> <a href="#">本站流量统计</a> <a href="#">联系站长</a>
----------	-------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------