

目录 Contents

第1章 交换技术基础 1

1.1 交换技术概述	1
1.1.1 点对点通信系统	1
1.1.2 交换与交换设备	2
1.1.3 交换技术分类	3
1.1.4 交换的发展历程	4
1.2 模拟信号数字化	6
1.2.1 抽样	6
1.2.2 量化	7
1.2.3 编码	8
1.2.4 几种模拟信号数字编码方式	9
1.3 信息传输方式	11
1.3.1 并行传输和串行传输	11
1.3.2 单工、半双工和全双工	12
1.3.3 异步传输和同步传输	13
1.4 多路复用技术	16
1.4.1 频分复用	16
1.4.2 时分复用	17
1.4.3 码分复用	19
1.4.4 波分复用	19
1.4.5 总线结构多机系统的信道共享技术	20

第2章 电路交换 27

2.1 电路交换原理	27
2.1.1 我国程控交换技术的发展历程	27
2.1.2 电路交换基本原理	28
2.1.3 电路交换技术的特点及分类	30
2.2 电路交换网络基本结构	30

2.2.1 时隙交换的基本概念	30
2.2.2 数字交换网络的基本电路	31
2.2.3 数字交换网络的基本类型	35
2.3 程控交换机硬件组成	36
2.3.1 话路子系统功能结构	36
2.3.2 控制子系统功能结构	39

第3章 信令系统 45

3.1 信令基础知识	45
3.1.1 信令的概念	45
3.1.2 信令的分类	46
3.1.3 随路信令方式和共路信令方式	46
3.1.4 用户线信令	46
3.1.5 局间信令	47
3.2 中国 No.1 信令	48
3.2.1 线路信令	48
3.2.2 多频记发器信令	48
3.3 No.7 信令系统	49
3.3.1 No.7 信令的优点	50
3.3.2 No.7 信令的系统结构	50
3.3.3 消息传递部分	52
3.3.4 No.7 信令网	56
3.3.5 电话应用部分	58
3.3.6 信令连接控制部分	62
3.3.7 事务处理能力应用部分	64
3.4 SIP 信令	64
3.4.1 SIP 信令概述	64
3.4.2 SIP 消息	65
3.4.3 基本消息流程	66

第4章 宽带交换技术	71	第5章 通信设备维护基础	113
4.1 分组交换	71	5.1 机房检查	113
4.1.1 报文交换	71	5.1.1 环境基本要求	113
4.1.2 分组交换方式	72	5.1.2 供配电系统	114
4.1.3 帧中继	76	5.1.3 空调系统	115
4.1.4 几种交换方式的比较	77	5.1.4 火灾报警及消防设施要求	115
4.2 ATM 技术	78	5.2 防护和安全管理	115
4.2.1 ATM 基本概念	78	5.3 设备检查	117
4.2.2 ATM 体系结构	80	第6章 ZXECs IBX1000 数据配置 ...	119
4.2.3 ATM 信元传送处理原则	83	6.1 设备结构	119
4.2.4 ATM 交换系统结构及交换原理	86	6.1.1 主框设备	120
4.2.5 ATM 网络的流量控制	89	6.1.2 主框设备资源板	121
4.3 IP 交换技术	91	6.1.3 扩展框设备	122
4.3.1 IP 技术概念	91	6.1.4 配套线缆	122
4.3.2 IP 交换机	92	6.2 功能	123
4.3.3 三层交换技术	94	6.3 硬件接口	123
4.3.4 路由器工作原理	96	6.3.1 ZXECs IBX1000 主业务处理框接口 参数	124
4.4 软交换技术	98	6.3.2 补充业务	124
4.4.1 概述	98	6.3.3 组网能力	125
4.4.2 软交换的概念和特点	98	6.4 配置说明	125
4.4.3 软交换体系思想的基本要素	99	6.5 交换机配置	126
4.4.4 软交换体系架构的组成	99	6.5.1 基本配置	126
4.4.5 软交换网络结构	100	6.5.2 高级配置	151
4.4.6 软交换设备主要功能	101	6.5.3 VoIP 配置	157
4.4.7 软交换组网方式	103	6.5.4 硬件参数	162
4.5 IMS	104	6.5.5 系统管理与维护	166
4.5.1 概述	104	6.5.6 软件安装及升级	173
4.5.2 IMS 体系结构	104	第7章 ZXV10 I508C 数据配置	191
4.5.3 IMS 和软交换区别	106	7.1 设备概述	191
4.6 光交换	107	7.1.1 产品特性	191
4.6.1 光交换基本概念	107	7.1.2 指示灯	192
4.6.2 光交换与电交换的对比	107	7.1.3 接口和按键	193
4.6.3 常用光交换技术	107	7.1.4 电源规格	193
4.7 VoIP	108	7.2 系统连接	193
4.7.1 VoIP 技术概述	108	7.2.1 系统应用环境	193
4.7.2 VoIP 网络的基本构成要素	109		
4.7.3 VoIP 技术原理	109		
4.7.4 VoIP 技术的应用	110		

7.2.2 设备连接	194	7.5 典型应用配置	217
7.3 配置准备	194	7.5.1 WAN 连接配置向导	218
7.4 登录	195	7.5.2 VoIP 典型应用配置——SIP	219
7.4.1 总体功能	196	7.6 常见问题解答	221
7.4.2 WAN 连接配置	196	附录 电信新业务性能	223
7.4.3 高级配置	201	参考文献	230
7.4.4 VoIP 配置	205		
7.4.5 操作工具	212		

第 1 章

交换技术基础

摘要

通信网是由用户终端设备、传输设备和交换设备组成的。交换设备利用各种交换技术完成接续任务，使网内任一用户可与其他用户通信。为了更好地掌握交换技术的相关知识，本章从交换的基本概念入手，介绍交换技术的分类和发展历程，以及信息的数字化处理过程、数据传送方式和信息多路复用技术等交换基础知识。

1.1 交换技术概述

1.1.1 点对点通信系统

1. 点对点通信

通信的目的是实现信息的传递。一个能传递信息的通信系统至少应该由终端和传输媒介组成，如图 1-1 所示。终端将含有信息的信息（如话音、图像和计算机数据等）转换成可被传输媒体接收的信号形式，电信系统就是转换成电信号形式，光纤系统就是转换成光信号形式，同时在接收端将来自传输媒体的信号还原成原始信息；传输媒体则将信号从一个地点送至另一个地点。通常，将这种仅涉及两个终端的单向或交互式通信称为点对点通信，由此构成的系统称为点对点通信系统。



图 1-1 点对点通信系统

点对点连接是两个系统或进程之间的专用通信链路，两个系统独占此线路进行通信。点对点通信的对立面是广播，在广播通信中，一个系统可以向多个系统传输。例如，两台电脑

之间的数据传送及两部电话机间的呼叫都是点对点通信。但是，呼叫通常是通过电话公司中继线多路复用的；因此，虽然电路本身可能是虚拟的，但用户在进行点对点通信会话，如图 1-2 所示。



图 1-2 点对点通信实例

2. 全互连方式

随着社会生产的发展，人们相互之间需要进行远距离信息交流，而且人数日益增多，当用户数量增加时，要实现用户间相互通信，最直接的方法是将所有终端两两相连，这样的连接方式称为全互连方式。以 5 部电话机的连接为例，5 个用户要两两都能通话，则需要的总电路数为 10 条，如图 1-3 所示。

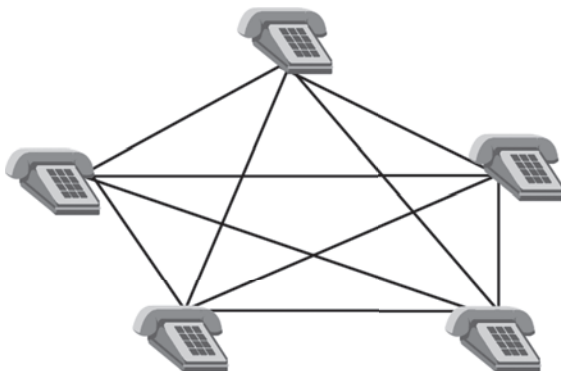


图 1-3 用户间通过全互连方式实现互连

可以看出，全互连方式所需要的连线数为 $N \times (N-1) / 2$ 条，当终端数目较少，地理位置相对集中时，可以采用这种全互连方式。但当用户数目较多，如 1000 个用户，则需要 50 万条线路，这样用在线路方面的投资也随着增加，管理维护会不方便，同时若新增一个终端，则需要与前面所有终端进行连线，工程极为浩大。因此，在实际应用中，全互连方式仅适合终端数目较少，地理位置相对集中，且可靠性要求较高的场合。

1.1.2 交换与交换设备

全互连方式随着用户数的增加和距离的延长，问题越来越突出。为了解决这一问题，很自然地会想到在用户密集的中央位置处安装一个设备，将每个用户的电话机或其他终端设备都通过各自专用的线路连接在这个设备上。此设备相当于一个开关节点，平时处于断开状态，当任意两个用户之间交换信息时，该设备就将连接这两个用户的有关节点合上，这时两个用户的通信线路连通。当两个用户通信完毕，就将相应的节点断开，两个用户之间的连线就断开。由于该设备能够完成任意两个用户间交换信息的任务，所以称其为交换设备。例

如，以 5 部电话机为例，采用交换设备相连接，仅需要 5 条连接电路，如图 1-4 所示。

最简单的通信网仅由一台交换设备组成。每台电话机或通信终端与交换设备之间通过一条专门的用户线相连接；当电话用户分布的区域较广时，可以设置多台交换设备，这些交换设备之间通过中继线相连，从而构成更大的交换网，如图 1-5 所示。不难看出，有了交换设备，每个用户只需一条线路就可以满足通信要求，采用这种方式实现多个终端之间互通，使得线路的数量大大减小，线路的利用率得到了提高，相应的投资费用也大大降低了，用户线的维护也变得简单容易了。

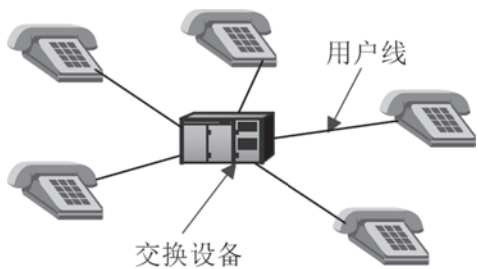


图 1-4 用户间通过交换设备互连

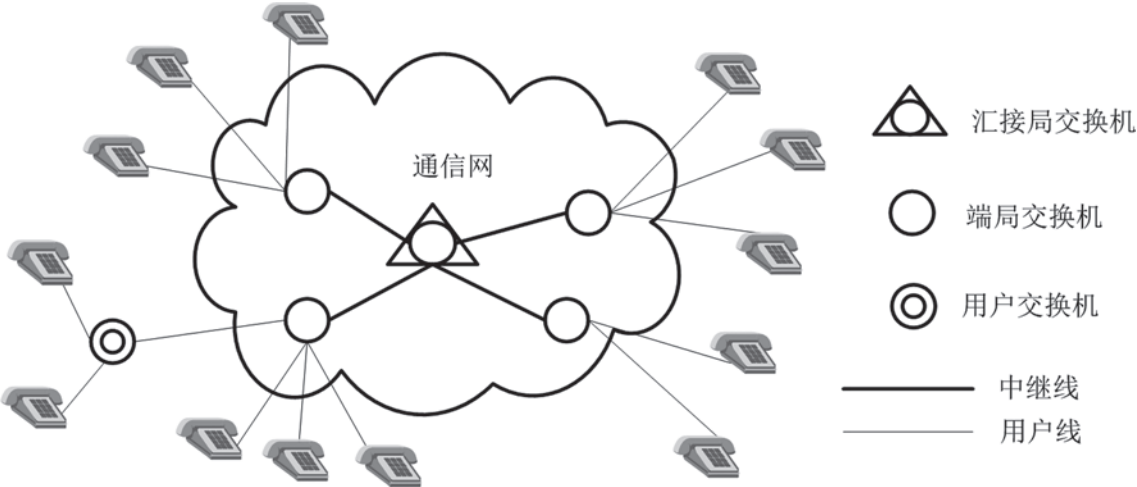


图 1-5 由多台交换设备组成的交换网

从上图不难看出，交换设备承担着将各用户来的信息转接到其他用户的任务，在任意选定的两条用户线之间建立一条通信线路，并能按需连接 / 断开该线路，如同交通运输中的立交桥和汽车站，通过汽车站和立交桥使交通四通八达，让四面八方的车辆有序通行，而不是任意两点之间有独立的相连的道路。因此说，交换是整个通信网络的核心。

通信系统中主要的交换设备有交换机、路由器等。交换机是一种用于电（光）信号转发的网络设备，它可以为接入交换机的任意两个网络节点提供独享的电信号通路，是通信系统中完成信息交换功能的主要交换设备。路由器是连接因特网中各局域网、广域网的设备，是互联网络的枢纽、“交通警察”，它会根据信道的情况自动选择和设定路由，以最佳路径，按前后顺序发送信号。

1.1.3 交换技术分类

随着通信网络的发展，作为通信网核心的各种交换技术经历了不断的演化，从承载单一业务的电路交换、分组交换，发展到承载多种业务的宽带交换，并将按下一代网络（Next Generation Netcoork, NGN）框架在控制、业务等层面进行融合。ATM 交换、宽带 IP 交换、光交换和软交换等新技术层出不穷，新系统不断涌现，如图 1-6 所示。

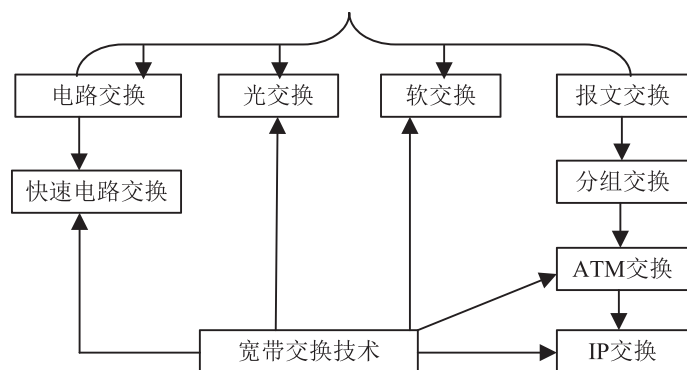


图 1-6 交换技术分类

1.1.4 交换的发展历程

基于通信系统对交换设备需求的分析，在电话发明了两年之后，第一个电话交换局就在美国康涅狄格州开通，这就是现代电信交换的开始。从最早的交换一直到现在的程控交换、数据交换、IP 交换等，交换技术主要经历了 4 个标志性的重要阶段。

1. 人工交换阶段

第一个阶段是人工交换阶段，最早的磁石式人工交换机由号牌、塞孔、扳键和塞绳等设备组成，由话务员控制话路接续，当时使用的终端是磁石电话机，这种电话机上有一个手摇式磁石发电机。

当用户要通话时，摇动这个发电机的手扳，发电机发出的电流经用户线路到达交换机，使交换机的号牌设备动作，产生相应的信号，使话务员得知用户的通话要求。此时，话务员将一副空闲的塞绳的插塞插入该用户的塞孔，并向用户询问具体的通话要求，即需要给谁打电话，话务员按用户要求找到对方塞孔，并用扳键向被叫振铃，即向对方话机发送频率为 25Hz 的高压信号，使对方话机的电铃振响。当对方听到铃声拿起话机后，话务员将双方的线路连接在一起，使双方开始通话。该对用户通话期间，话务员可为其他用户呼叫服务，并监视正在通话的用户是否已经通话完毕并挂机，若已挂机，则拔出插塞拆掉这个连接，使线路复原。

另一种人工交换方法称为供电式交换。它与磁石式不同之处在于，它不是由用户产生电流来控制交换机，而是由交换机的中央电池向各个话机供电（即中央馈电，现在的交换机都还是采用中央馈电方式）。与磁石式相比，用户省去了手摇发电机之苦。

人工交换机设备简单、安装方便、成本低廉，但有许多缺点，如占用人力较多、话务员劳动强度大、接线速度慢，易出错、容量小、效率低等，因此很快被自动交换机取代。

2. 机电式自动交换阶段

第二个阶段是机电式自动交换阶段。最早的机电式自动交换机是步进制电话交换机，其特点：一是全分散控制，每个选择器都有单独使用的控制电路，在选择器的话路部分工作的整个过程中，控制电路一直陪伴着；二是直接控制，即选择器的控制电路是在主叫用户所拨的号码脉冲直接作用下控制动作的。步进制交换机的机械动作幅度大、噪声大、易磨损、接续速度慢，不能应用于长途自动交换。纵横制交换机的出现，克服了步进制电话交换机的缺点，将控制部分和话路部分分开，通话质量好，也便于实现长途自动交换，如图 1-7 所示。

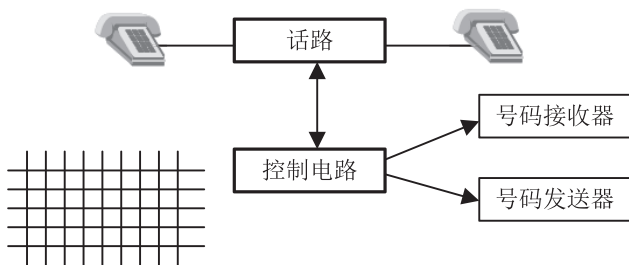


图 1-7 纵横制交换机示意图

3. 电子式自动交换阶段

随着电子计算机和大规模集成电路的迅速发展，计算机技术迅速地应用于交换机控制系统中，出现了程控交换机，即存储程序控制式交换机，许多功能电路通过软件代替，在性能上有了很大提高。可以说，交换机的程控化是交换机交换技术的又一次重大转折，随着传输技术向数字数字传输方向发展，交换技术也在向数字化方向发展，数字交换机交换的数字信号，结合数字传输，实现了数字传输和数字交换的一体化。程控数字电话交换机的诞生，使电话交换进入了一个全新的时代，标志着当代交换技术的发展方向。

4. 信息包交换阶段

由于各类非话音业务的发展，对交换提出了新的要求，不仅要求有以程控交换机为代表的电路交换，还需要更适合非话音业务的信息包交换，如分组交换、ATM 交换和 IP 交换等。

信息包交换方式采用了动态统计时分复用技术，大大提高了网络资源的利用率、传输效率和服务质量。信息包交换的发展，标志着交换技术有了进一步的革命性发展，为多媒体通信和宽带通信网的发展奠定了坚实的基础。信息包交换的原理如图 1-8 所示。

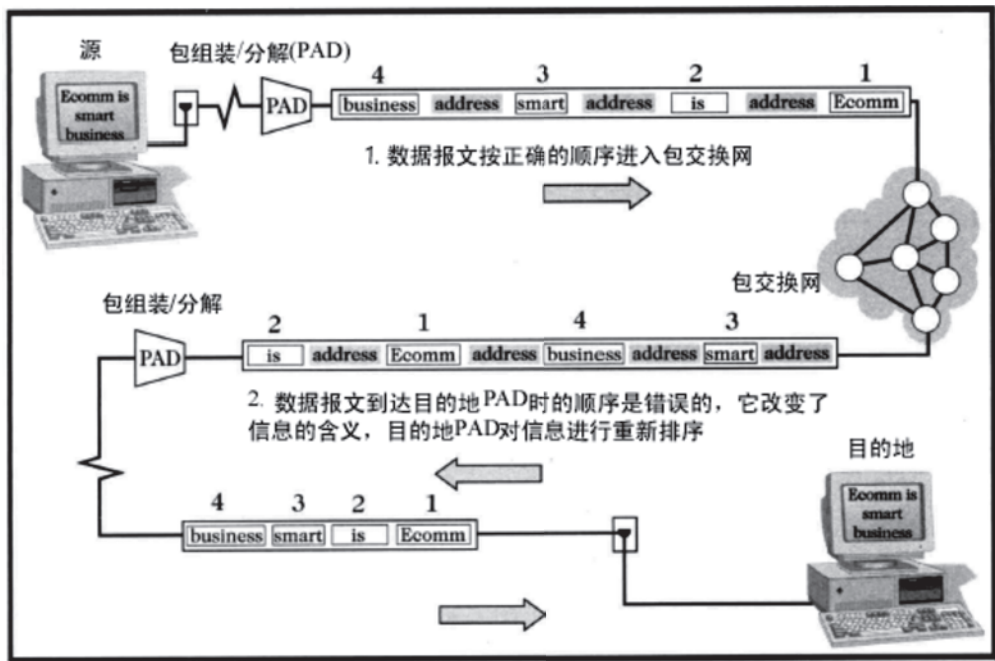


图 1-8 信息包交换工作原理

从交换技术的发展历史看，最早是针对话音业务的电路交换，随着计算机的发展，出现了针对数据业务的分组交换，从而产生新的 ATM 交换和 IP 交换等交换方式。随着微电子技术、计算机技术的飞速发展，交换技术得到了空前的发展。

1.2 模拟信号数字化

生活中很多信息都是连续的，如声音、图像。将其转化为电信号以后，所得到的电信号在时间上是连续的，如模拟电话的话音信号、模拟摄像机输出的图像信号等，这样的信号称为模拟信号。也就是说，对于通信系统而言，信息源基本上都是模拟信号。

在模拟通信系统中，信源发送、信宿接收和信道传输的都是模拟信号，对模拟信号的处理主要是以放大为主。而在数字通信系统中，信源发送和信宿接收的是模拟信号，但是信道中传输的则是数字信号，要想使模拟信号在数字信道传输，就必须使模拟信号转变为数字信号。

在通信技术广泛应用的今天，信息的存储、传输、处理大都是数字形式的，即现代通信系统是以信息数字化为前提的。一般来讲，在通信系统的发送端必须要有一个将模拟信号变成数字信号的过程，同时在接收端也要有一个将数字信号还原成模拟信号的过程。通常，将模拟信号转变成数字信号的过程称为模 / 数转换（A/D 转换），将数字信号转变成模拟信号的过程称为数 / 模转换（D/A 转换）。

首先，将连续变化的模拟信号进行离散化处理，包括时间域上的离散化和幅度域上的离散化。所谓离散化指的是将连续变化的量使用有限个数值来表示的一种方式或过程。时间域的离散化被称为抽样（或者采样、取样），幅度域的离散化被称为量化，离散化之后的离散信号再用二进制或多进制码组编码表示成为数字序列。所以模 / 数转换包括抽样、量化和编码三个过程。

1.2.1 抽样

所谓抽样是指模拟信号在时间域上的离散化过程，也就是说，将一个时间上连续、幅度上也连续的模拟信号变换成时间上离散、幅度连续的信号。

对于一个时间连续幅度连续的模拟信号 $x(t)$ ，以固定的时间间隔不断地测量它的瞬时值，记录每一个时间间隔所对应的幅度值，从而构成一个新的函数 $x_s(nT_s)$ ，用这个新的时间离散的函数来表示原函数 $x(t)$ ，这个过程称为做抽样，如图 1-9 所示。

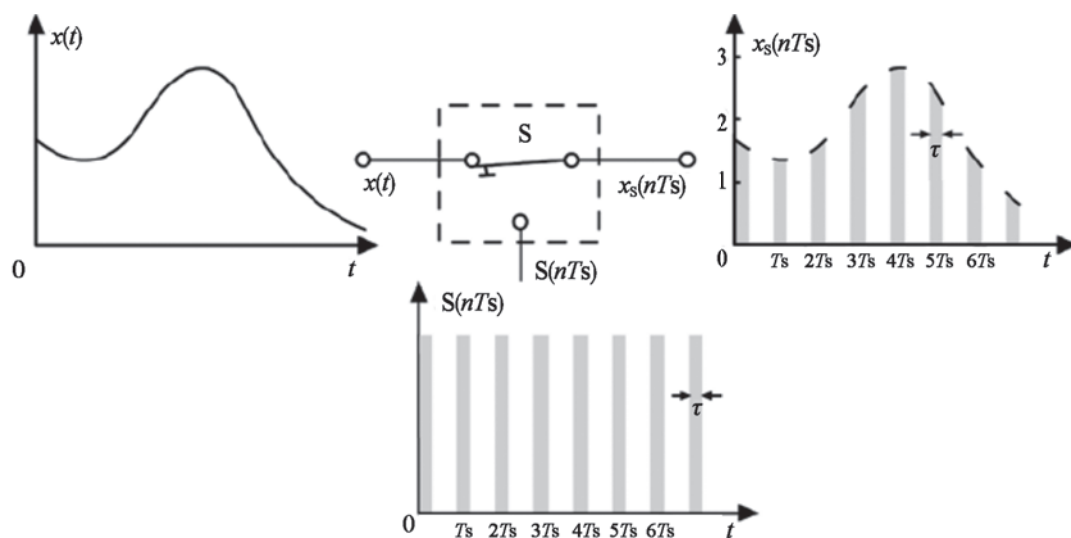


图 1-9 信号抽样原理



图中 $x(t)$ 是被抽样的模拟信号, 通过一个高速的电子转换开关 S , 当开关 S 接通的时候, 输出 $x(t)$; 当开关 S 断开的时候, 输出为零。开关周期性地接通和断开, 就得到抽样信号 $x_s(nT_s)$ 。其中, 开关 S 受到窄脉冲序列 $S(nT_s)$ 的控制。窄脉冲序列 $S(nT_s)$ 也称为抽样函数或者抽样脉冲, 它的周期为 T_s , 窄脉冲的宽度为 τ 。当有窄脉冲输出的时候, 开关接通, 持续时间为 τ , 输出 $x(t)$ 的瞬时值; 当没有窄脉冲输出的时候, 开关断开, 持续时间为 $(T_s - \tau)$ 。当窄脉冲的持续时间 τ 足够小的时候, 可以认为输出 $x_s(nT_s)$ 是由一些样点组成的, 这些样点的时间取值是离散的, 为周期 T_s 的整数倍; 幅度取值是连续的, 可以取信号的最大振幅值和最小振幅值之间的任意数值。这样的信号称为抽样信号。

根据抽样过程中的不同, 抽样可以分为理想抽样、自然抽样和平顶抽样。如果抽样窄脉冲的宽度 τ 足够小, 当 τ 趋于 0 时, 这种抽样脉冲序列称为理想冲激序列 $\delta(t)$, 这种抽样称为理想抽样。在实际电路中抽样窄脉冲的宽度 τ 不可能无限小, 在窄脉冲宽度 τ 持续期间, 抽样值如果随被抽样信号的幅度变化, 称为自然抽样。抽样值如果不随被抽样信号的幅度变化, 称为平顶抽样。图 1-9 所示的抽样是自然抽样。

抽样的依据是香农 (Shannon) 定理: 若对连续变化的模拟信号周期地采样, 只要采样频率等于或大于模拟信号的最高频率或其带宽的两倍, 则离散幅度的抽样便可无失真地恢复原信号。可用下式表达。

$$f_s = \frac{1}{T_s} \geq 2f_{\max}$$

式中, f_s 为采样频率, T_s 为采样周期, $f_{\max}$ 为原始模拟信号的最高频率。若模拟信号的带宽为 4kHz, 则采样频率可取为 8 000 Hz 或者说每 125 μ s 取样一次, 就可以实现用抽样的数字信号代替原模拟信号。

1.2.2 量化

当模拟信号经过抽样之后, 变为时间上离散、幅度上连续的抽样信号。这样的信号还是不能够直接在数字信道中传送。因为这样的信号经过一个有噪声的信道传输时, 信道中的噪声叠加在抽样值上之后, 接收端不可能精确地判断抽样值的大小。为了消除噪声积累, 并且使得抽样值易于表示, 需要对幅度上连续的抽样值进行量化。

所谓量化是指对时间上离散、幅度上连续的抽样信号在幅度域上的离散化过程。也就是说, 将一个时间上离散、幅度上连续的抽样信号变换成时间上离散、幅度上也离散的数字信号。

幅度上的离散化指的是将幅度连续的抽样值转换为幅度不连续的有限个值的过程。例如, 某幅度连续的抽样信号 $x_s(nT_s)$ 幅度的取值为 $[0, 3]$, 如图 1-10 所示, 也就是说, $x_s(nT_s)$ 的幅度可以取 $[0, 3]$ 中的任意值, 如 2.452 3, 由于 $[0, 3]$ 区间的实数有无数多个, 幅度的可能取值也有无穷多个, 这对于幅度的表示是不利的, 因为不可能有无穷多个电平来表示这无穷多个取值。现在规定 $x_s(nT_s)$ 的幅度只能取 $[0, 3]$ 区间上的有限个值, 如只能取 0、1、2、3 这 4 个值, 对于不等于这 4 个值的抽样值, 采用舍去或者四舍五入的方法将它们归纳到这 4 个数值上边去, 这个过程就叫作量化。例如, 对于 2.452 3 这个取值, 使用舍去或者四舍五入的办法可以归纳到 2 的取值上去。量化之后的信号用 $x_q(nT_s)$ 来表示。

综合来说, 量化过程实质上是指用有限个离散电平值表示模拟抽样值的过程。首先, 对输入信号的取值范围进行“分级”, 得到 M 个离散电平值; 然后, 将模拟抽样信号归入最接

近的离散电平值。

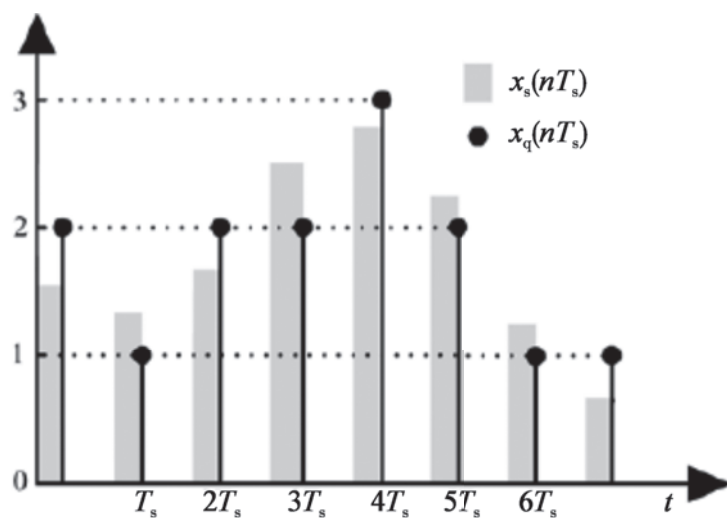


图 1-10 信号量化原理

关于量化有以下几个概念，第一个是量化级，指的是量化值的个数，用 N 来表示；第二个是量化间隔（也叫量化台阶或量化间距），指的是相邻两个量化值之差，用 Δ 来表示。有两种量化取值的方法，一种是舍去的方法，另一种是四舍五入的方法。通常，理论分析采用四舍五入的方法进行量化，在实际的编码电路中则更多采用舍去法。由于用量化值取代了准确的抽样值，显然在量化过程中造成了误差。这种误差是随机的，在复原信号的时候是无法恢复的，在信号传输过程中是无法消除的，这种由于量化造成的误差称为量化误差或者量化噪声。量化噪声虽然无法恢复，但是可以通过减小量化间隔来降低量化噪声。采用四舍五入的量化取值方法，量化误差的最大值是 0.5。只要量化间隔足够小，就可以将量化噪声的影响控制在能够容忍的程度。增加量化级 N 会使得量化间隔减小，从而降低量化噪声。量化级的增加使得编码时每个量化值对应的二进制码组的位数增加，从而使得信号的数据量增大。对上边的例子来说，4 级量化只需要 2 位二进制数来表示每个量化值，8 级量化则需要 3 位二进制数来表示每个量化值，如果量化级变为 128 级，则每个量化值需要 7 位二进制数表示，降低量化噪声会使得信号的数据量增大，系统的复杂性增加。

1.2.3 编码

经过量化后得到的信号在时间上和幅度上都离散化了，这种信号称为离散信号，但不是在通信系统中使用的数字信号。量化之后的所有量化值还要用二进制或多进制码组来表示，所得到的才是通信系统中使用的数字信号，这个过程称为编码。

所谓编码就是用二进制或多进制码组来表示量化电平值的过程，或者说是对于每一个量化电平值赋予一个特定码组。每个量化电平值与一个码组相对应，量化电平值与码组满足一一对应的关系。码组的选择是任意的，可以是二进制码组，也可以是多进制码组。最常用的是二进制码组。信号量化编码如图 1-11 所示。

译码则是由特定码组恢复出量化电平值的过程，是编码的反过程。

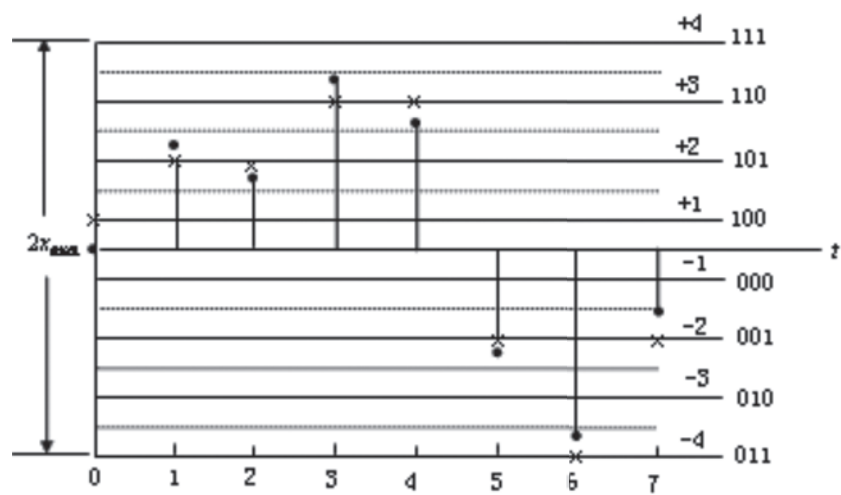


图 1-11 信号量化编码

脉冲编码调制可以分为线性编码和非线性编码两种。

线性编码方法通常是先对抽样值进行均匀量化，再对量化值进行简单的二进制编码得到对应码组而完成编码的方法。常用的线性编码方法有级联逐次比较型线性编码和逐次反馈型线性编码。译码包括加权求和译码网络和梯形译码网络等。

非线性编码方法通常先对抽样值进行压缩和均匀量化，然后再采用线性编码方法完成编码过程，可以先压缩后编码或者先编码后压缩，此外还有直接非线性编码方法。其中，被广泛采用的是直接非线性编码方法，包括 13 折线 A 律 ($A=87.6$) 直接非线性编码和 15 折线 μ 律 ($\mu=255$) 直接非线性编码。

1.2.4 几种模拟信号数字编码方式

1. 脉冲编码调制

一个完整的脉冲编码调制（Pulse Code Modulation，PCM）通信系统的框图和波形如图 1-12 所示。

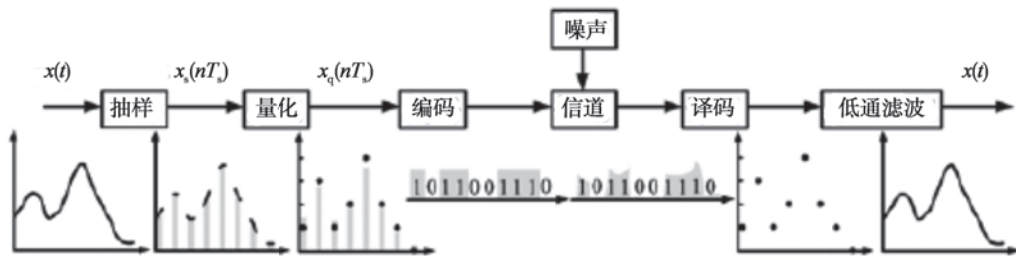


图 1-12 PCM 通信系统框图与波形

其中， $x(t)$ 是输入的低通模拟信号，最高频率为 f_H ，抽样器以 $f_s \geq 2f_H$ 的抽样频率经抽样之后变为时间离散幅度连续的抽样信号 $x_s(nT_s)$ ，抽样信号经过量化器，变成离散信号 $x_q(nT_s)$ ，离散信号经过编码成为二进制数字信号。二进制数字信号经过信道传输，受到噪声影响，波形发生畸变，但只要信号幅度不超过噪声容限，不考虑误码的情况下，译码器可以通过抽样再生还原出离散信号 $x_q(nT_s)$ ，最后离散信号通过低通滤波器得到模拟信号 $x(t)$ 。其中，量化与编码过程通常称为 A/D 变换；而译码和低通滤波过程通常称为 D/A 变换。

目前可以用一片 PCM 非线性编码器芯片完成包括抽样、压缩、量化和编码的全过程。

2. 增量调制

增量调制或增量脉码调制方式简称为 DM，是脉冲编码调制 PCM 后出现的又一种模拟信号数字化的方法。它也可以看作是脉冲编码调制的一种特殊形式，即 1 比特量化的差值脉冲编码调制。这种方法在每次抽样时用一位二进制码元表示每个差值信号，该差值信号表示的不是抽样值的大小，而是抽样值的变化趋势。

增量调制的基本思想是用一个阶梯波去近似地表示频带受限的模拟信号 $x(t)$ ，然后设法用二进制代码来表示阶梯波，从而完成模拟信号的数字化。增量调制的波形如图 1-13 所示。

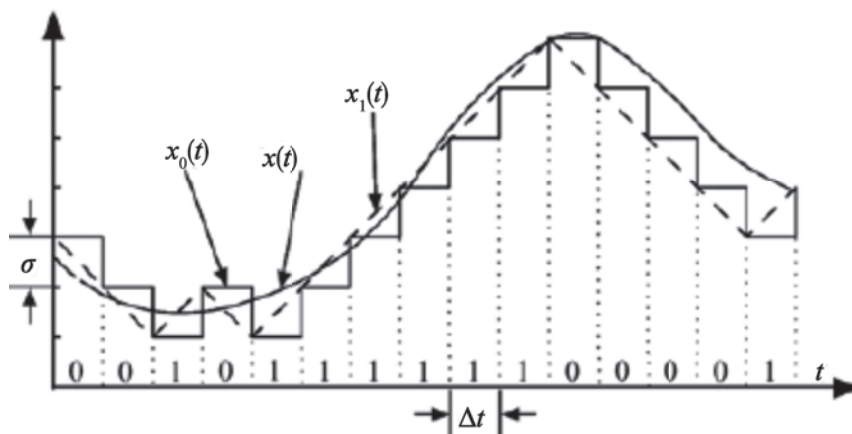


图 1-13 增量调制的波形

其中， $x(t)$ 是连续变化的模拟信号， $x_0(t)$ 是阶梯波，各个阶梯的时间间隔为 Δt ，高度为 σ ，抽样频率 $f_s = 1/\Delta t$ 。如图 1-13 所示，阶梯波 $x_0(t)$ 与模拟信号 $x(t)$ 的形状是非常相似的，如果时间间隔 t 足够小，或者说抽样频率 f_s 足够高而且 σ 也足够小的话，阶梯波 $x_0(t)$ 可以相当接近连续波 $x(t)$ 。可以将阶梯波 $x_0(t)$ 看作是一个用给定的“阶梯” σ 对连续波 $x(t)$ 进行抽样和量化之后的曲线。 σ 称为增量，阶梯波只有上升一个增量 σ （称为正增量）和下降一个增量 σ （称为负增量）两种情况。如果将上升一个增量 σ 用“1”表示，把下降一个增量 σ 用“0”表示，这样由阶梯波 $x_0(t)$ 就可以得到一个二进制码元序列 001011111000001。此码元序列还可以用图中所示的锯齿波 $x_T(t)$ 得到。锯齿波 $x_T(t)$ 也可以用来近似地表示连续波 $x(t)$ ，锯齿波只有斜率为正（ σ/t ）和斜率为负（ $-\sigma/t$ ）两种情况，如果我们用“1”表示正斜率，用“0”表示负斜率，就可以获得一个二进制码元序列来表示此锯齿波。无论是图中的阶梯波 $x_0(t)$ 还是锯齿波 $x_T(t)$ ，对它们进行滤波处理，去除高频成分，所得到的曲线会很好地与原连续波 $x(t)$ 曲线重合，这意味着阶梯波 $x_0(t)$ 或者锯齿波 $x_T(t)$ 可以携带连续波 $x(t)$ 的全部信息。那么，只要能够从二进制码元序列恢复出阶梯波或者锯齿波，就能够还原出原模拟信号 $x(t)$ 的波形。

从上述介绍可以知道，对阶梯波或者锯齿波的编码每次只用一位二进制码元即可，此时的二进制码元“1”和“0”并不是代表某一个时刻的抽样值，而是代表某一个抽样时刻曲线的变化趋势是向上、还是向下的。或者说，它们代表的是模拟信号前后两个抽样值的差别是为正还是为负。这种只用一位二进制编码将模拟信号 $x(t)$ 变为数字信号的调制方式就称为增量调制 Δm 。

3. 差分脉冲编码调制

所谓差分脉冲编码调制指的是利用信号各抽样值之间的相关性对后来的抽样信号进行预



测,将实际的抽样值与预测的抽样值求差,然后对此差值信号进行编码的一种模拟信号数字化方法。

增量调制 Δm 是对模拟信号 $x(t)$ 与其近似信号 $x_T(t)$ 之差 $e(t)$ 使用一位二进制码元进行编码的。由于此差值信号反映了信号的变化特征,包含了信号的全部信息,所以实际上并不需要传输每个抽样值信号,只需要对此差值信号进行编码传输就可以了。如果对此差值信号 $e(t)$ 采用脉冲编码调制方法进行抽样和量化,使用 k 位二进制码元对它进行编码传输,这就是差分脉冲编码调制(Differential Pulse Code Modulation, DPCM)。实际上,差值信号的量化范围远远小于实际信号的量化范围,在同样的信号量化噪声比(相同的量化间隔)条件下,可以大大降低 PCM 编码的码组长度 k ,因而 DPCM 系统有较高的编码效率。

差分脉冲编码调制一般是以预测的方法来实现的。话音信号和图像信号的抽样信号的相邻抽样值之间有很大的相关性,所以可以根据抽样信号的一部分抽样值进行计算来估计出其他抽样值;也就是说,如果知道了某抽样信号在 t_i 时刻以前的抽样值,则可以对该抽样信号在 t_i 时刻以后的抽样值进行估计。估计得到的抽样值称为预测值,这种方法也称为预测方法。因此,差分脉冲编码调制也称为预测编码调制。

在使用预测方法得到预测值之后,对实际值和预测值的差值进行 PCM 编码。由于各个抽样值之间是相关的,实际值和预测值之差的量化范围一定会小于原抽样信号的量化范围。因此,在同样的信号量化噪声比(相同的量化间隔)的情况下,量化级数 N 的减小,压缩了编码的码元速率、提高了编码效率。

实际上,信号之中包含有大量的冗余(有相关性)信息,如图像信号,相邻像素之间的抽样值非常接近,它们的差别非常小,以至于人们可以用已经传输的图像像素的抽样值为当前像素抽样值的近似值,也就是预测值,对它们的差进行编码传输。大量统计数据表明,图像信号的相邻抽样值之差集中在 0 附近的一个很小的范围之内。因此,对于此差值信号进行量化所需要的量化级数 N 比直接传送像素抽样值信号本身所需要的量化级数要小许多。

预测方法可以分为线性预测和非线性预测。上述使用已经传输的图像像素的抽样值作为当前像素抽样值的预测值的方法就是线性预测,非线性预测方法则是通过使用多个已传输的抽样值加权对将传输的抽样值进行预测,比较复杂。

综上所述,差分脉冲编码调制只传输实际值和预测值的差值信号,而不是对每个抽样值信号都进行传送。因此,在数字通信过程中,传送的不是抽样值信号本身的 PCM 编码而是一个差值信号的 PCM 编码。由于差值信号包含了抽样信号的全部信息,而差值信号的幅度远小于抽样值信号幅度,从而使得 PCM 编码的码组码长减小,大大地压缩 PCM 编码的码元速率。在接收端,将接收到的差值信号与预测值相加,就可以恢复出实际值信号。

差分脉冲编码调制将差值信号分为 N 个量化级,然后将 N 个量化级编为 k 位二进制码组进行传输,如果 $N=2$ 、 $k=1$,差分脉冲编码调制就变成了增量调制。因此,差分脉冲编码调制既有增量调制的特点,又有 PCM 的特点。

➔ 1.3 信息传输方式

1.3.1 并行传输和串行传输

在通信设备之间进行通信时,根据一次传输数据的多少可将数据传输方式分为并行传输

和串行传输。如图 1-14 所示。

1. 并行传输

并行传输是指多个数据位（如 1 Byte）同时在通信设备间的多条信道上传送的传输方式，并且每个数据位都有自己专用的传输信道。这种传输方式的特点是数据传输速率相对较快，适用于近距离传输；但远距离传输时，线路支出费用较高。图 1-14（a）描述了通信设备之间具有 8 条传输信道时的并行传输的情况。在计算机中，CPU 和 RAM 之间、计算机和打印机之间都是应用的并行传输。

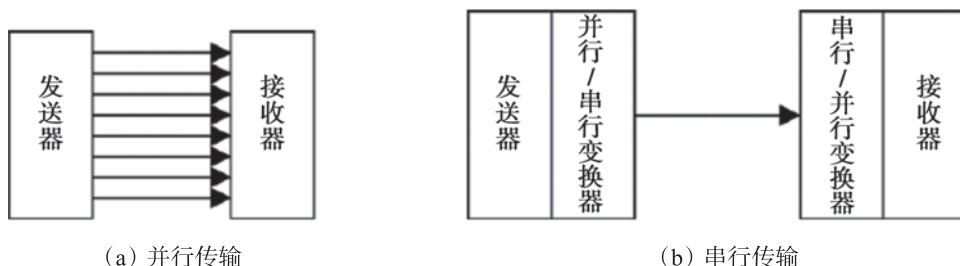


图 1-14 并 / 串行传输方式

2. 串行传输

串行传输是指数据按照顺序一位一位地在通信设备之间的一条信道上传输。由于在计算机内部各个部件之间是以并行方式传输数据的，所以串行传输时，数据传至传输线路之前需要先送入发送端的并行 / 串行变换器中，通过变换器，数据逐位传至线路上；到达接收端时，数据先进入接收端的串行 / 并行变换器中，使数据传输从串行方式转换成并行方式，如图 1-14（b）所示。串行传输与并行传输相比，数据传输速率相对较低，但在远距离传输和位数较多情况下具备更明显的优势。计算机的串行接口 RS-232 是串行传输的应用。

1.3.2 单工、半双工和全双工

通信过程中，如果在两个站（如终端和微机）之间进行数据传输，按照同一时刻数据流的方向可分成三种基本传输模式，即单工、全双工和半双工传输，如图 1-15 所示。

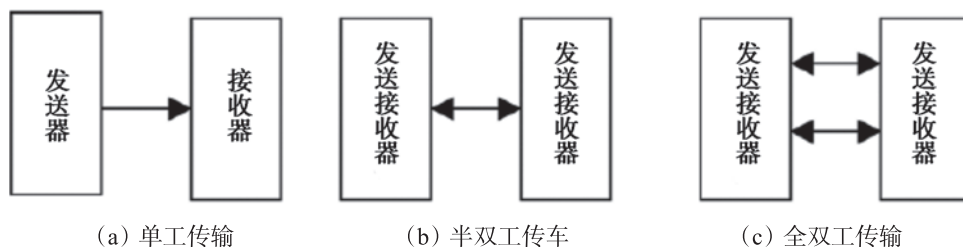


图 1-15 三种基本传输模式

1. 单工传输

当数据的发送和接收方向固定时，可采用单工传输方式，即发送方只管发送，接收方只管接收，如图 1-15（a）所示。数据从发送器传送到接收器，为单方向传输，即单工传输。

2. 半双工传输

当使用同一根传输线既发送又接收时，虽然数据可以在两个方向上传输，但通信双方不能同时收发数据，这样的传送方式就是半双工传输，如图 1-15（b）所示。采用半双工传输时，通信系统每一端的发送器和接收器，通过收 / 发开关接到通信线上，进行方向的切换，因此，

会产生时间延迟。

3. 全双工传输

当数据的发送和接收分流，分别由两根不同的传输线传输时，通信双方都能同时进行发送和接收操作，这样的传输方式就是全双工传输，如图 1-15 (c) 所示。采用全双工传输时，通信系统的每一端都设置了发送器和接收器，因此能控制数据同时在两个方向上传输，即向对方发送数据的同时，也可以接收对方送来的数据。全双工传输无须进行方向的切换，因此，对不能有时间延误的交互式应用（如远程监测和控制系统）十分有利。

1.3.3 异步传输和同步传输

在串行通信时，数据和联络信号使用同一条信号线来传送，所以收发双方必须遵守事先约定好的规则，才能做到有条不紊地交换数据。这些规则精确地规定了所交换数据的格式和时序。这些为交换数据而制定的规则、约定、标准称为通信协议。一个通信协议主要由三个要素组成。

- 语法：用户数据和控制信息的结构和格式。
- 语义：需要发出何种控制信息，如一批数据开始和结束等。
- 时序：对数据实现顺序的详细说明。

在传输数字信号时，接收端必须有与数据位脉冲相同的频率时钟来逐位将数据读入寄存器。这种在接收端使数据位与时钟在频率和相位上保持一致的机制称为同步。实现这种同步的技术称为同步方式。根据在接收端获取同步信号的方法不同，同步方式分为字符同步方式和位同步方式，也称之为异步传输方式和同步传输方式。

1. 异步传输方式

异步传输方式的特点是一个字符一个字符地传输，每个字符由四个部分组成：起始位（占 1 位）、数据位（占 5~8 位）、奇偶校验位（占 1 位，也可以没有校验位）、停止位（占 1 位或 1 位半或 2 位）。每传送一个字符都是以起始位开始，以停止位结束，字符之间没有固定的时间间隔要求。其帧数据的格式如图 1-16 所示。

在没有通信时，通信线路处于逻辑 1 状态。当需要发送字符时，首先，向通信线路上发送一个起始信号，这时起始位用逻辑 0 表示，它的出现，告诉接收方传送开始。然后，收发双方依次发送和接收信息的其余各个部分。传送开始之前，收发双方要将所采用的信息格式（包括字符的数据位长度、停止位长度、有无奇偶校验位，以及采用奇校验还是偶校验等）和数据传输速率（即波特率）做统一的约定，即规定传输协议。如果要改变格式和传输速率，则必须双方同时修改，否则就会出错。

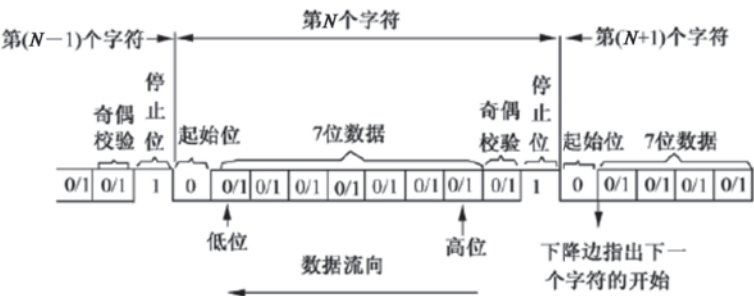


图 1-16 异步传输方式的帧数据格式



从图 1-16 中可以看出,这种格式是靠起始位和停止位来实现字符的界定或同步的,故又称之为起止式协议。传送时,数据的低位在前,高位在后。例如,要传送一个字符“C”,C 的 ASCII 码为 43H (1000011),要求 1 位停止位、采用偶校验、数据有效位 7 位,则一帧信息为 0110000111。

实际上,起始位是作为联络信号而附加进来的,数据传输线上的电平由高电平变为低电平时,通知接收方传送开始,后面就是数据位。而停止位用来标志一个字符传输结束。这样就为通信双方提供了何时开始收发,何时结束的标志。传送开始,接收设备不断地检测传输线,看是否有起始位到来。当收到一系列的“1”(停止位或空闲位)之后,检测到一个下降边,说明起始位出现,起始位确认后,就开始接收所规定的数据位、奇偶校验位以及停止位。经过处理将停止位去掉,将数据位拼结成一个并行字节,并且经校验无奇偶错误才算正确地接收一个字符。一个字符接收完毕后,接收设备会一直测试传输线,监视“0”电平的到来和下一字符的开始,直到全部数据传送完毕。

由上述工作过程可以看到,异步通信按字符传输时,每传送一个字符是用起始位来通知接收方,以此来重新核对收发双方同步的。若接收设备和发送设备两者的时钟频率略有偏差,也不会因偏差的累积而导致错位,同时字符之间的空闲位也为这种偏差提供了一种缓冲。

虽然异步传输方式通信的可靠性高,但由于要在每个字符的前后加上起始位和停止位这样一些附加位,降低了传输效率,大约只有 80% 的效率。因此,异步通信一般用于数据速率较慢的场合(小于 19.2 Kbit/s)。在高速传送时,一般采用同步传输方式。

2. 同步传输方式

同步传输不像异步传输那样一次传送一个字符,而是一次传送一个字符块(如 200 个字符)。当然这个数据块的前后也有同步字符和数据校验字符。这种通信方式要求发送和接收设备要保持完全的同步,因此硬件比较复杂。

1) 面向字符的同步协议

这种协议的典型代表是 IBM 公司的二进制同步通信协议(即 BSC 协议)。它的特点是一次传送若干个字符组成的数据块,而不是每次只传送一个字符,并规定了 10 个特殊字符作为这个数据块的开头与结束标志,以及整个传输过程的控制信息,称之为通信控制字。由于被传送的数据块是由字符组成的,故也被称为面向字符的协议。协议的帧数据格式如图 1-17 所示。

SYN	SYN	SOH	标题	STX	数据块	ETB/ ETX	块校验
-----	-----	-----	----	-----	-----	-------------	-----

图 1-17 面向字符的同步协议的帧格式

从帧格式可以看出,数据块的前、后都加了几个特定字符。SYN 是同步字符(Synchronous Character),每一个帧开始处都加有同步字符,一帧中加一个 SYN 字符称单同步,加两个 SYN 字符称双同步。设置同步字符的目的是起联络作用,传送数据时,接收端不断检测,一旦出现同步字符,就知道是一帧开始了。SYN 后接的 SOH 是序始字符(Start Of Header),它表示标题的开始,标题中包括源地址、目标地址和路由指示等信息。STX 是文始字符(Start Of Text),它标志着传送的正文(数据块)开始。数据块就是被传送的正文内容,由多个字符组成。数据块后面是组终字符 ETB (End of Transmission Block) 或文终字符 ETX,其中,ETB 用在正文很长,需要分成若干个数据块,分别在不同帧中发送的场合,这

时在每个分数据块后面用组终字符 ETB，而在最后一个分数据块后面用文终字符 ETX。一帧的最后是校验码，它对从 SOH 开始直到 ETX（或 ETB）的字段进行校验，校验方式可以是纵横奇偶校验或 CRC 校验。

面向字符的同步协议，不像异步起止协议那样，需要在每个字符前后附加起始位和停止位，因此传输效率得到了极大的提高。同时，由于采用了一些传输控制字，增强了通信控制能力和校验功能。但也存在一些问题，例如，如何区别数据字符和控制字符的问题。因为在数据块中完全有可能出现与控制字符相同的数据字符，这就会发生误解。例如，正文中正好有个与文终字符 ETX 的代码相同的数据字符，接收端就不会将其作为数据字符进行处理，而是会误认为是正文结束，从而产生差错。因此，协议应具有将控制字符作为普通数据处理的能力，这种能力称为“数据透明”。为此，协议中设置了转义字符 DLE（Data Link Escape）。当将一个控制字符看成数据时，在它前面要加一个 DLE 字符，这样接收器收到了一个 DLE 字符就可预知下一个字符是数据字符，而不会将它当作控制字符来处理了。DLE 字符本身也是控制字符，当它出现在数据块中时，也要在它前面再加上另一个 DLE 字符，这种方法称为字符填充。字符填充实现起来相当麻烦，且依赖于字符的编码。正是由于以上的缺点，故又产生了新的面向比特的同步协议。

2) 面向比特的同步协议

面向比特的同步协议中代表性的有 IBM 的同步数据链路控制（Synchronous Data Link Control, SDLC）规程、国际标准化组织（International Standards Organization, ISO）的高级数据链路控制（High Level Data Link Control, HDLC）、美国国家标准协会（American National Control Institute, ANCI）的先进数据通信控制规程（Advanced Data Communications Control Procedure, ADCCP）。这些协议的特点是所传输的一帧数据可以是任意位，而且它是靠约定的位组合模式，而不是靠特定字符来标志帧的开始和结束，故称为“面向比特”的同步协议。

如图 1-18 所示，HDLC 的一帧信息包括以下几个字段，所有字段都是从最低有效位开始传送。

8 位	8 位	8 位	≥0 位	16 位	8 位
01111110	A	C	I	FC	01111110
开始标志	地址字段	控制字段	信息字段	校验字段	结束标志

图 1-18 面向比特的同步协议 HDLC 的帧格式

（1）HDLC 标志字段。HDLC 协议规定，所有信息传输必须以一个标志字符开始，且以同一个字符结束。这个标志字符是 01111110，也称之为标志场 F。从开始标志到结束标志之间构成一个完整的信息单位，称为一帧。所有信息是以帧的形式传输的，而标志字符提供了每一帧的边界。接收端可以通过搜索“01111110”来探知帧的开始和结束，以此建立帧同步。

（2）地址字段和控制字段。在标志场之后，有一个地址场 A（Address）和一个控制场 C（Control）。地址场用来规定与之通信的次站的地址，控制场可规定若干个命令。HDLC 规定 A 场和 C 场的宽度为 8 位或 16 位。接收方必须检查每个地址字节的第一位，如果为“0”，则后边跟着另一个地址字节；若为“1”，则该字节就是最后一个地址字节。同样，如果控制场第一个字节的第一位为“0”，则还有第二个控制场字节，否则就只有一个字节。

（3）信息字段。紧跟在控制字段之后的是信息字段 I（Information），I 字段中包含有要传

送的数据。并不是每一帧都必须有信息字段，即信息字段可以为“0”。当它为“0”时，则这一帧主要是控制命令。

(4) 校验字段。紧跟在信息字段之后的是两字节的帧校验 (Frame Check, FC) 字段，帧校验字段又称为帧校验序列 (Frame Check Sequence, FCS)。HDLC 采用 16 位循环冗余校验码 CRC。除了标志字段和自动插入的“0”位外，所有的信息都参加 CRC 计算。

综上所述，HDLC 协议规定以“01111110”为标志字节，但在信息字段中也完全有可能有与标志字节相同的字符，为了将其与标志区分开来，所以采用了“0”位插入和删除技术。发送端在发送所有信息 (除标志字节外) 时，只要遇到连续 5 个“1”，就自动插入一个“0”；当接收端在接收数据时 (除标志字节外)，如果连续接收到 5 个“1”，就自动将其后的一个“0”删除，以恢复信息的原有形式。这种“0”位的插入和删除过程是由硬件自动完成的。

若在发送过程中出现错误，则 HDLC 协议是用异常结束 (Abort) 字符，或称失效序列使本帧作废。在 HDLC 协议中，7 个连续的“1”即被视为失效字符。当然在失效序列中不使用“0”位插入和删除技术。

HDLC 协议规定，在一帧之内不允许出现数据间隔。在两帧信息之间，发送器可以连续输出标志字符序列，也可以输出连续的高电平，它被称为空闲 (Idle) 信号。

1.4 多路复用技术

为了提高频谱利用率，充分利用信道资源，需要采取适当措施实现在同一信道中同时传输多路信号，这种共享技术称为信道复用技术，或称为多路复用技术。

多路复用技术就是许多信号共同使用一个传输媒体的技术。在多路复用系统中，能将多个信号组合起来，使它们通过同一个物理电缆或无线信道传输。多路复用的作用是将单个传输信道划分为多个逻辑子信道。

多路复用功能包括复合、传输、分离三个过程，如图 1-19 所示。

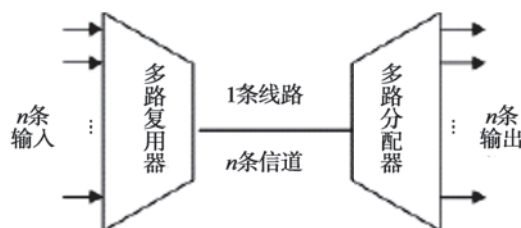


图 1-19 多路复用过程

目前常采用的复用方式有多种，主要包括频分复用 (Frequency Division Multiplexing, FDM)、时分复用 (Time Division Multiplexing, TDM)、码分复用 (Code Division Multiplexing, CDM)、波分复用 (Wavelength Division Multiplexing, WDM)，另外还有计算机通信网中的总线结构多机系统的信道复用技术

1.4.1 频分复用

按照频率的不同来复用多路信号的方法就是频分复用。在图 1-20 中，信道的传输带宽要被分成 8 条相互不交叠的频段，每路调制信号占用其中一个频段，这样才能使它们在传输时互不影响，从而在接收端可以采用适当的办法将 8 路信号分开，恢复出所需要的信号。

在频分多路复用公共介质上传输的复合信号是模拟的，而输入的信号可以是数字的，也可以是模拟的。

频分多路复用广泛应用于长途载波电话、立体声调频广播、电视广播和空间遥测等方面。

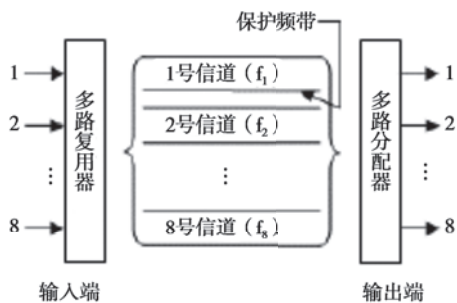


图 1-20 频分复用 (FDM) 过程

1.4.2 时分复用

利用各路信号在时间上相互不重叠来达到在同一信道中传输多路信号的方法就是时分复用。在频分复用系统中，各路信号在频域上是分开的，而在时域上是混叠在一起的；而在时分复用系统中恰恰相反，各路信号在时域上是分开的，在频域上是混叠的。

时分复用根据发送端与接收端时钟提取时间情况，又分为同步时分复用和统计时分复用（异步时分复用）两种。

1. 同步时分多路复用

假定两路基带信号进行时分复用，根据抽样定理对这两路信号进行频率抽样，只要抽样脉冲之间的宽度足够窄，在两个抽样脉冲之间就会留有一定的时间间隔，则此两路信号的抽样值在时间上将不会发生重叠。接收端只要与发送端保持时间同步，则此两路信号就能分别被接收并恢复。由此可推广到 n 路信号进行时分复用，如图 1-21 所示。

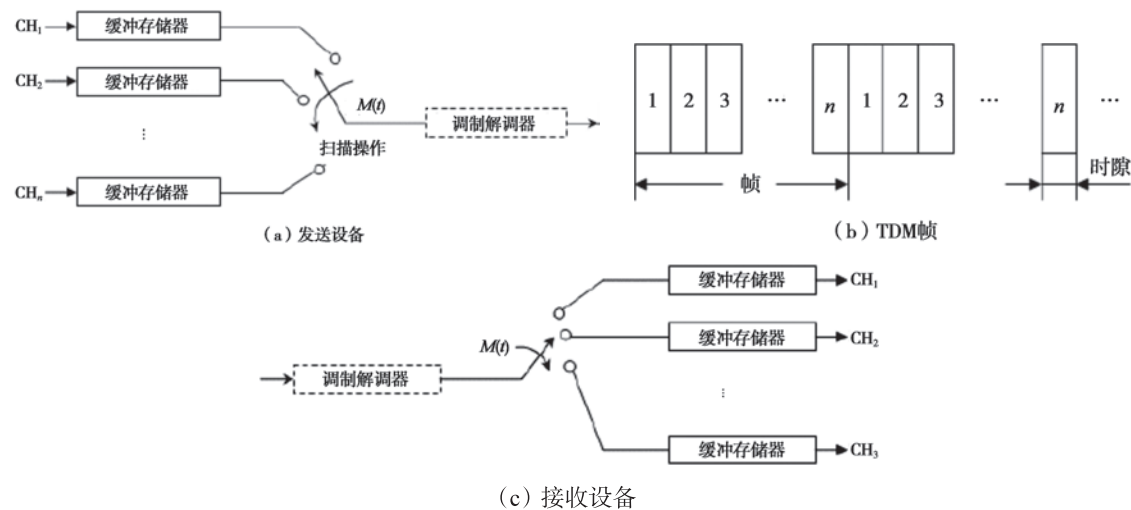


图 1-21 同步时分多路复用过程

数据被复合为帧。每帧含有一组时隙（Time Slot，也称为时间片）。在每一帧中，专用于某一数据源的是一个或多个时隙。从一个帧到下一个帧，所有为同一个数据源制定的时隙序列形成一个专用信道。

同步 TDM 之所以称为同步，不是因为采用了同步传输，而是因为时隙是预先分配给信息源的，而且是固定的。无论该信息源是否有数据送出，每个信息源对应的时隙都要分配，浪费了信道的容量。

国际上推荐的 PCM 基群有两种标准，即 PCM 30/32 路和 PCM 24 路，我国规定采用前

种制式，如图 1-22 所示。PCM 30/32 制式基群帧共由 32 路组成，其中，30 路传输语音信号，2 路用作勤务。每路语音信号抽样频率 $f_s=8\ 000\ \text{Hz}$ ，所以对应的每帧时间间隔为 $125\mu\text{s}$ 。每一帧共有 32 个时间间隔或称为 32 个时隙。各个时隙分别记作 TS_0 、 TS_1 、 TS_2 、 $\text{TS}_3\cdots\text{TS}_{30}$ 、 TS_{31} ，其中， TS_0 为帧同步信号， TS_{16} 为专门传送话路信令，其他 30 个时隙用于传送 30 路电话信号和 8 位编码码组。由于每个时隙包括 8 位码（ $8\times 0.488\mu\text{s}=3.91\mu\text{s}$ ），所以一帧共包含 256（ $8\times 32=256$ ）个比特。

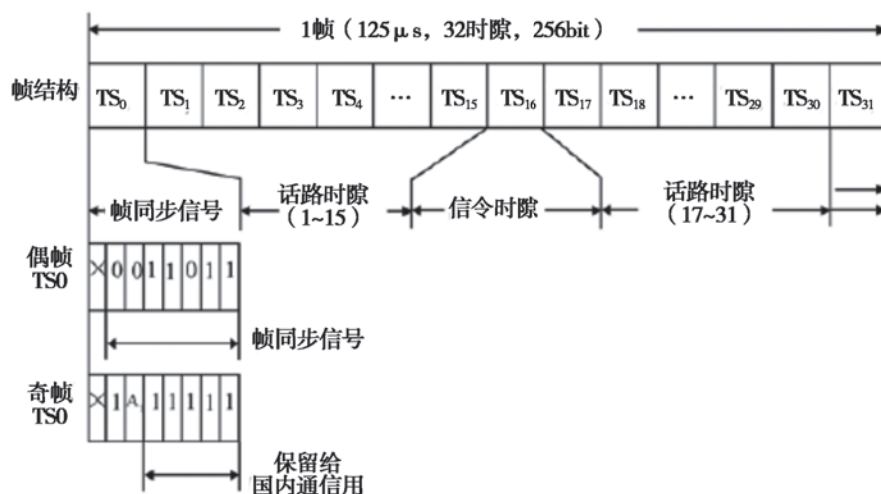


图 1-22 PCM 基群帧结构

2. 统计时分多路复用

在同步时分多路复用器上，一帧中会有很多的时隙是浪费的。为了解决效率问题，提出了统计（Statistical）时分多路复用的方式，又称为异步时分复用或智能时分复用。统计时分多路复用是同步与统计 TDM 的比较，如图 1-23 所示，通过动态按需分配时隙的方式来进行多路数据传输。

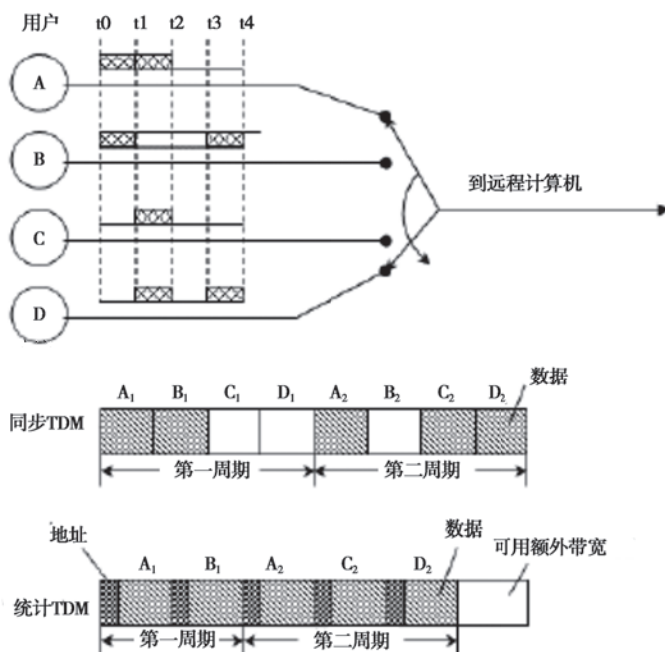


图 1-23 同步与统计 TDM 的比较



1.4.3 码分复用

码分复用是另一种共享信道的方法。每一个用户可以在相同的时间使用相同的频带进行通信。由于各用户使用经过特殊挑选的不同码型，因此不会造成干扰。码分复用最初是用于军事通信，因为这种系统发送的信号具有很强的抗干扰能力，其频谱类似于白噪声，不易被敌方发现。随着技术的进步，现在 CDMA 技术已广泛应用于民用的移动通信中。采用 CDMA 技术可提高通信的话音质量和数据传输的可靠性、减少干扰对通信的影响、增大通信系统的容量（是使用 GSM 的 4~5 倍）、降低手机的平均发射功率等。

在 CDMA 中，每一个比特时间再划分为 m 个短的间隔，称为码片（Chip）。通常 m 的值是 64 或 128。假设 m 为 8，使用 CDMA 技术的每一个站被指派一个唯一的 mb 码片序列（Chip Sequence）。一个站如果要发送比特 1，则发送它自己的 bit 码片序列。如果要发送比特 0，则发送该码片序列的二进制反码。例如，指派给 S 站的 bit 码片序列是 00011011。当 S 发送比特 1 时，它就发送序列 00011011，而当 S 发送比特 0 时，就发送 11100100。接收端只有知道发送端的码片序列才能正确解码。

要求每个站分配的码片序列不仅必须各不相同，并且还必须互相正交。

1.4.4 波分复用

波分复用就是光的频分复用。在同一根光纤中同时让两个或两个以上的波长信号通过不同光信道各自传输信息，称为光波分复用技术。光波分复用包括频分复用和波分复用。光频分复用（FDM）技术和光波分复用（WDM）技术无明显区别。

光波分复用一般应用波长分割复用器和解复用器（也称合波 / 分波器）分别置于光纤两端，实现不同光波的耦合与分离。

光纤技术的应用使得数据的传输速率空前提高。目前，一根单模光纤的传输速率可达到 2.5 Gbit/s，再提高传输速率就比较困难了。如果借用载波电话的频分复用的概念，就能做到使用一根光纤来同时传输多个频率很接近的光载波信号。最初，人们只能在一根光纤上复用两路光载波信号，这种复用方式称为波分复用。随着技术的发展，在一根光纤上复用的路数越来越多，现在已能做到在一根光纤上复用 80 路或更多路的光载波信号，于是就称为密集波分复用（Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM）。

图 1-24 表示 8 路传输速率为 2.5 Gbit/s 的光载波（其波长均为 1 310 nm）。经光的调制后，分别将波长变换到 1 550~1 557 nm，每个光载波相隔 1 nm（实际上光载波的间隔一般是 0.8nm 或 1.6nm）。这 8 个波长很接近的光载波经过复用器后，就在一根光纤中传输，在一根光纤上数据传输的总速率就达到了 $8 \times 2.5 \text{ Gbit/s} = 20 \text{ Gbit/s}$ 。

光信号传输了一段距离后就会衰减，因此对衰减了的光信号必须进行放大才能继续传输。现在已经有了很好的掺饵光纤放大器，它是一种光放大器，不需要像以前那样复杂——先将光信号转换成电信号，经过电的放大器放大后再转换成为光信号，其可以直接放大光信号。

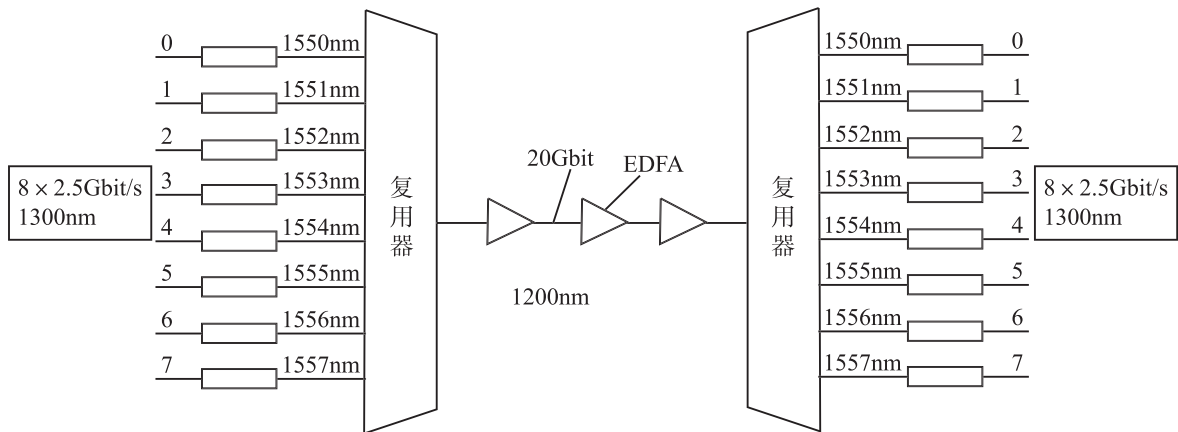


图 1-24 波分复用

1.4.5 总线结构多机系统的信道共享技术

在计算机局域网中，总线结构的多机系统是目前最流行的结构形式之一，早期的以太网（Ethernet）就采用了这种网络拓扑结构。多计算机共享一条通路，可以实现点对点、点对组、广播式等多种通信方式，而且任意两点都有直接的数据通路，不需要转接。由于多台计算机共享一条通路，这必然会导致发送时竞争总线，引起总线的访问冲突的情况发生。为了减少或避免总线访问冲突，必须采取某种控制策略来分配总线，大致有如下 4 种策略。

- （1）选择型：按一定策略，例如按固定顺序或站的优先级，选择一个计算机发送信息，未被选中的站不得发送。
 - （2）预约型：每个站分得一个时间片，每个站按所规定的时间片发送信息。
 - （3）竞争型：连接在总线上的站通过竞争占用总线，获得发送信息的权利。
 - （4）令牌控制型：获得令牌的站有权占用总线，发送数据。
- 选择型、预约型和令牌控制均称为受控接入方式，竞争型称为随机接入方式。

1. 选择型总线接入控制

1）中心询问总线接入控制

如图 1-25 所示，接到总线上的用户站点和总线控制器（Bus Controller, BC）是主从关系，BC 为主机，用户站点为从机。它们之间按照“询问”（Polling）和“选择”（Selecting）方式工作。“询问”操作是控制器用来接收从站发来的信息的操作；“选择”操作是主机向指定的从机发送信息的操作。“询问”和“选择”都是由主机（BC）发出的。

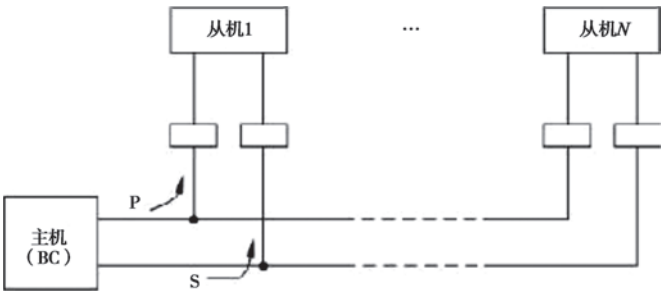


图 1-25 中心询问总线接入控制方式

询问操作 P：询问从机是否有数据要发送。主机依次地向连接在总线上的从机进行询问，若被询问的从机有数据要发送，便立即将数据发送给主机，否则便发出无数据要发送的响应，此时主机便询问下一个从机，每次只能有一个从机向主机发送数据。

选择操作 S：主机向从机发送数据时，要先向从机发选择信号，询问从机是否做好接收数据的准备。若准备好接收了，主机则发送；否则主机不能发送。

2) 轮转询问

如图 1-26 所示，主机首先询问最远的从机 N 发询问，如果 N 机有报文要发送，立即通过输入总线发送，发送后，便向它的上一个从机 N-1 发送一个 go-head 命令。依次逐站往前推，直到最后的从机 A 向主机发送信息为止。主机收到 A 机信息后，知道已轮流发送完一次，此时再向最远处的次机发出新的询问。如果轮询期间，主机要向次机发数据时，可由主机直接发送给从机，不会发生冲突。这种方式的缺点是隐含了一个约定，即最远的次机具有最高的优先权，主机无法改变发送信息的顺序。

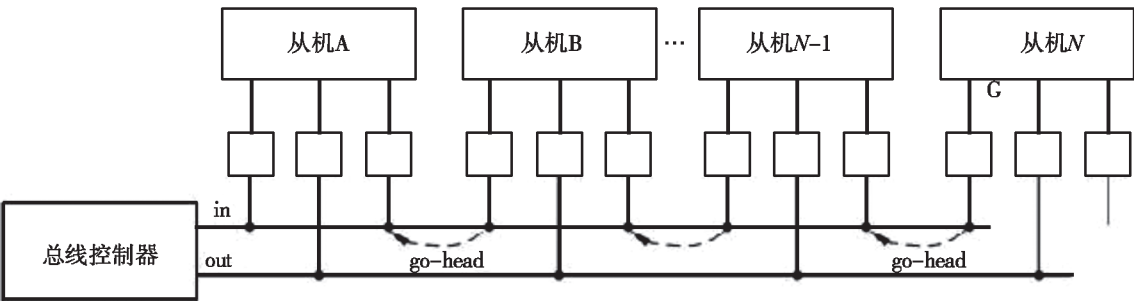


图 1-26 轮转询问总线接入控制方式

3) 中断驱动总线

总线控制器不主动向任何从机发送询问命令，而是各从机有信息发送时，便向控制器发出中断请求信号。若总线闲，总线控制器发回一次肯定响应；若总线忙或同时有若干从机向总线控制器发送中断请求信号，则按事先规定的选择策略，选技其中一台，其余的必须排队。该方式的优点是效率高。存在的问题是，如果大多数从机发送信息的频率比较稳定，那么该方式容易产生冲突。为了处理冲突和排队等事宜，软件变得非常复杂。

2. 预约型总线接入控制

预约型总线接入控制方式将一条被共享的数据通路按频率或时间进行分割，然后分配给各个站点使用。

(1) 频分多重访问技术主要用于宽带局域网络，通过频分技术多台计算机共享一条物理信道。采用有线电视（CATV）作为传输系统，频率可达 300 MHz 以上。其优点是可实现数字、声音、图像等综合信息的传输。

(2) 同步时分多重访问技术将单位时间分成固定长或可变长的时隙，该时隙由中心定时机构产生，也可由各站点自行产生，但必须由中心定时机构同步。在该方式中，总线上的每一个站点只能在预定的时隙内传输相应的一组数据。这些时隙的频率是固定的，可保证各站点按预先规定的次序发送数据，不产生干扰与冲突。主要的特点是严格同步，由此产生的缺点是浪费了时隙。如果在分配给某站点的时隙内无数据发送，其他站点也不能使用该时隙，时隙就被白白浪费了。这种方式又称为静态时分多重访问。

(3) 异步时分多重访问技术为了克服时分多重访问技术的缺点，采用动态分配信道的方



式。这是一种集中控制方式，由一台主机管理时隙的分配，要求发送数据的站点向它发出请求，其管理程序查询时隙分配表，寻找是否有可用的时隙。若无，则拒绝分配且通知申请者；若有，则在表中扣除本次分配出去的时隙，向申请发送数据的站点发出可发送数据的通知。此时，申请发送数据的站点接到此命令后即可发送数据。

(4) 集中预约式访问技术又称为集中预约式总线访问技术。它的基本思想是将传输过程分为两个阶段。第一阶段是集中预约，按总线上的 N 个站点，把单位时间分成 N 个时隙，工作站的站址与时隙号一一对应。每个要发送数据的站点在第一阶段先预约。若第 i 个站点要发送数据，则第 i 个时隙到来时传送数据，这样在 N 个时隙过去后，就知道哪些站点要发送数据了。第二阶段是数据传输，凡在第一阶段已经预约了的工作站点，可依次发送数据，不会产生竞争现象。最后一个工作站发送完数据后，又开始下一轮数据传输过程。若一个站点准备发送数据，但属于它的时隙已过，则只有等待预约下一轮。该方式在重负载下有效，轻负载时只有少数站点要发送数据，预约阶段浪费的时间所占比例太大。

(5) 轮转预约式访问技术为了改进集中式预约访问，提出了轮转预约方式，它的主要特点是某站预约申请成功后，立即发送数据。

3. 竞争型总线接入控制

前面所介绍的几种总线接入控制是按照一定的控制策略将总线分配给某一个站点使用。这种控制策略可以保证在任意时隙内只有一个站点使用总线传输数据，从而避免了总线访问的冲突。而竞争型总线接入控制，又称为随机接入控制方式，总线上的各站点处于完全平等的地位，它们要通过竞争获得占有总线发送数据的权利。对这种控制策略在技术上要解决 3 个问题：访问（接入）时机、冲突检测、重发策略

1) 访问时机

访问时机有以下几种。

- (1) 不监听方式下的随机发送。
- (2) 不监听方式下的按时隙发送。
- (3) 坚持监听方式下的发送。
- (4) 坚持监听方式下的随机发送。
- (5) 响应帧优先于数据帧的总线访问。

2) 冲突检测

发前监听的方式可有效地减少发生冲突的概率，但一旦发生冲突后，并不能立即发现，工作站仍将继续发送，直到将信息发送完，只有到了规定的时间仍未收到对方的确认，才知道本次发送可能发生了冲突。为了能及时地发现冲突，而采取发时监听方式。工作站在发出信息后，会再监听一段时间。一般采取边发送边接收，将接收到的信息和原来发送的信息进行比较，若相同，则说明先前是无冲突发送，否则认为有冲突。此时，将发送一个短信号来加强本次冲突，以保证总线上所有的工作站都能听到本次冲突，然后每个发送站都停止发送。

3) 重发策略

发生冲突后，应停止本次的发送，等待重新发送。重新发送有多种策略，目前有以下几种：

- (1) 随机策略。发生冲突后，各工作站各自推迟一个随机时间，再行发送。
- (2) 二进制指数退避算法。在轻负载时具有较小的重发时延，在重负载时需要较长的时



延后才能进行重发。

(3) 截断式二进制指数退避算法。在以太网中就是这样规定的, 二进制指数退避算法中的 N 增加到 $N=10$ 时, 就不再增加了, 所以称为截断。取 $N=10$, 再发送 5 次, 如果仍然遇到冲突, 则发送失败。

4) 竞争型总线接入控制实例

ALOHA 系统, 是美国夏威夷大学的校园计算机网络系统, 建于 20 世纪 70 年代初。它是一个无线局域网, 计算机之间采用同一频率的信道相互通信。

以太网 (Ethernet) 采用了 ALOHA 系统的思想, 但它是一个有线局域网。它沿用了无线通信中的一些名词, 所以称以太网采用了 CSMA/CD 规程。

4. 令牌总线的接入控制

采用了 CSMA/CD 规程的随机接入方式可以减少竞争发送的冲突, 但是不可能完全避免冲突。一个发送站能否发送成功, 何时发送成功都是不确定的, 因此不能用 CSMA/CD 规程去实现实时系统。为了减少冲突, 使之更为实用, 这样的系统只能应用于轻负载条件下。

1976 年, 美国 Data Point 公司研制了总线令牌接入控制网络, 称为 ARCnet (Attached Resource Comouter network)。主要特点: 拓扑结构为总线型, 具有总线网的优点, 任意两个站点间都有直接的数据通路。系统中只设一个令牌, 持有令牌的站点才有权发送, 因此避免了接入总线的冲突。待有令牌的站点发送成功后, 要将令牌移交给下游站点, 若收到令牌后无数据发送, 则立即将令牌向下游站点传送, 且最小站号与最大站号对令牌而言是首尾相接的, 如图 1-27 所示。因为令牌传递的路线形成了一个闭合环路, 所以又称为逻辑环网。这也就是后来的 IEEE 802.4 标准。

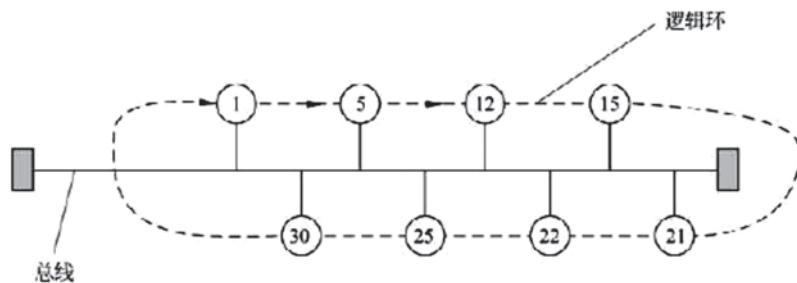


图 1-27 令牌总线的接入控制方式

(1) 逻辑环的形成。每个节点都设置一个标识寄存器 (NIR), 初始时记录本站的地址, 当逻辑环型成后, 记录的是下游节点地址。

(2) 数据帧的发送。拥有令牌的站点才有权接入总线发送数据, 为了发送成功, 在发送数据帧之前先要发一帧询问接收站是否做好了接收准备, 接收站用 ACK 或 NAK 帧响应。逻辑环网的基本帧格式有如图 1-28 所示的 5 种。

(3) 逻辑环的重组。在新站要上网、老站要下网、令牌丢失及系统故障等情况下, 逻辑环都要重组。重组必须先破坏已经建立好的逻辑环, 最好的办法是破坏令牌在逻辑环中的正常传递, 使网处于没有令牌的状态迫使进行系统重组。当一个节点加电后 840 ms 没收到信号时, 就开始发送重组信号串——8 个“1”和 1 个“0”, 重复 756 次。这组信号比任何数据帧都要长, 破坏了令牌传递, 总线失去了控制。每个站都把自己站的 NIR 内的地址初始化为本站

的地址；然后，等待一个越时过程；当越时已到，就开始发送令牌帧，重新开始逻辑环形成的过程。

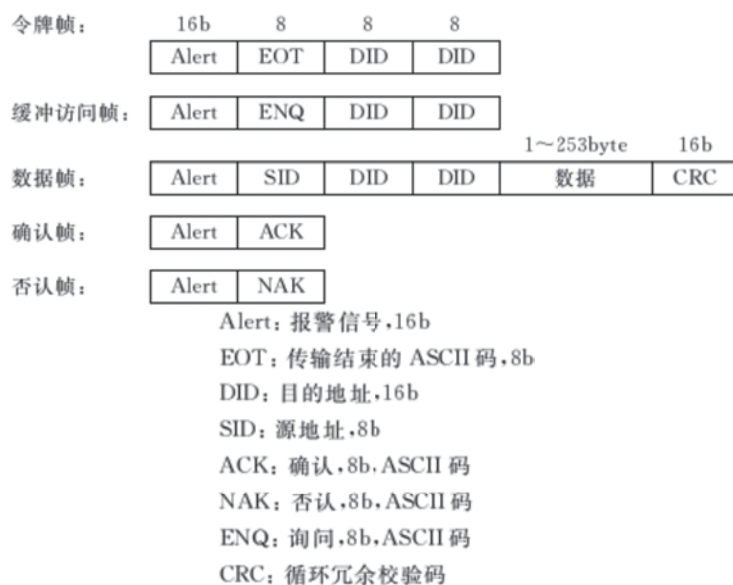


图 1-28 逻辑环网 ARCnet 的帧格式

小结

终端用户通过信道直接连接起来所构成的通信方式是点对点的通信。解决多用户通信的有效办法是通过具有交换功能的设备将各个用户终端连接起来，使得任何接入该设备的用户终端通过交换功能实现相互间的数据通信。交换技术的演进推动了信息技术的发展。

在现代通信系统中，首先要将模拟信号转换为数字信号，模拟信号数字化包括抽样、量化和编码三个过程。抽样是指模拟信号在时间域上的离散化过程；量化是对抽样信号在幅度域上的离散化过程；编码是对量化电平值编码的过程。

数据信息传输分为串行传输和并行传输；工作方式还可以分为单工、半双工、全双工三种方式；串行通信根据对时钟的要求又分为同步传输和异步传输。同步传输有面向字符的同步和面向比特的同步两种协议。

为了提高信道的使用效率，将多路信号复合在同一信道上传输的方式称为多路复用。多路复用主要有频分复用、时分复用、码分复用和波分复用。无论采用何种复用，最终目的都是充分利用频率和光谱资源，以提高传输速率。另外在计算机网络中还可以采用竞争方式实现总线共享。

复习思考

1. 点对点通信系统有哪几部分组成？
2. 什么是交换设备？
3. 简述交换的历史发展。
4. 什么是抽样定理？其有什么意义？
5. 模拟信号变为数字信号需要经过哪几步？
6. 模拟信号数字化过程中有几种编码方式？各有什么特点？



7. 数据有几种通信方式？每种方式的优缺点有哪些？

8. 什么是同步传送？其有几种控制方式？

9. 什么是异步传送？简述其工作原理。

10. 什么是频分复用？

11. 什么是时分复用？其有几种控制方式？

12. 简述什么是码分复用。

13. 简述什么是波分复用。

14. 总线信道共享有哪几种控制策略？

15. 简述 CSMA/CD 的工作原理。

16. 简述令牌总线工作方式。