

第3章

交换单元与交换网络

交换机的核心是交换网络,交换网络的核心部件是基本交换单元。本章主要讲解构成交换网络的基本交换单元,在了解基本交换单元的基础上,学习如何通过基本交换单元构成大的交换网络。学习本章内容可以了解常用的交换网络及其构建方法。

3.1 引言

交换网络的结构与它要处理的具体信号形式有关,经过一百多年的发展,通信系统已经基本走完数字化的过程。在目前的通信系统中,处理的信号形式大都是数字信号,因此,首先简要介绍语音数字化及时分复用 PCM 的形成。

3.1.1 语音数字化

实现语音信号的数字化可以采用 PCM、ADPCM、 Δ M 等编码调制方式,在交换机中为了使交换和传输综合,通常采用 PCM 方式。PCM 信号的实现过程如图 3.1 所示。

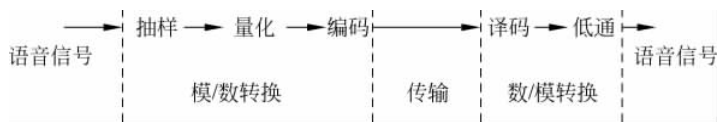


图 3.1 语音数字化过程

抽样:根据奈奎斯特抽样定理,要使模拟信号经抽样后不失真其抽样频率必须满足:

$$f_s \geq 2B_w$$

B_w 为输入信号带宽,语音信号的能量主要集中在 300~3400Hz 频率范围内。所以抽样频率至少为 6800Hz,国际标准确定为 $f_s=8000$ Hz,即每秒抽样 8000 次,或者说每隔 125 μ s 抽取一次。抽样后形成的信号称为脉幅调制信号(Pulse Amplitude Modulation, PAM)。该 PAM 信号完全代表了原模拟信号。

量化:量化是对 PAM 信号的幅度进行分级,它将 PAM 信号的每个抽样依其幅度编码成一个 8 位二进数的码字。量化误差引起量化失真,是数字通信的主要噪声来源。

编码:编码规则有 A 律和 μ 律两种,前者在欧洲和中国等地得到普遍采用,后者主要在北美和日本流行。编码后形成的信号称为 PCM 基带信号。

显然,它的速率应为

$$8 \times 8000 = 64\text{kb/s}$$

译码：译码是编码的反过程，也就是 D/A 变换。它把数字化的语音信号还原成量化信号。

滤波：将译码所得的量化信号再送入一个低通滤波器，滤除高频成分，使其变成平滑的模拟电信号。

3.1.2 时分复用 PCM 的形成

多路复用简单地讲就是用一条线路传输多路通信。复用技术有两种，从频率的角度出发有多路频分复用，以前常叫频分多路复用，利用载波通信设备可在一对同轴电缆上传送几千路电话。从时间的角度讲有多路时分复用，它通过让各路电话占用不同的时间来实现多路通信。

图 3.2 给出了 TDM PCM 的形成过程。首先是对语音信号抽样，形成 PAM 信号；然后进行编码，形成基带的 PCM 信号。为了最大限度地利用信道，降低传输成本，常在传输前对基带 PCM 信号进行多路调制，形成如图 3.2 (d) 所示的时分复用 (Time Devision Multiplexing, TDM) PCM 信号。比较图 3.2 (b)~图 3.2 (d) 可以看出，在每 $125\mu\text{s}$ 内，PAM 信道需传送一个脉冲，基带 PCM 传送 8b，而 TDM PCM 则必须传输 $N \times 8\text{b}$ 。换言之，TDM PCM 必须在每 $125/N \mu\text{s}$ 内传送 8b。因此，TDM PCM 信号的码元(或位)速率为

$$N \times 64\text{kb/s}$$

每个 8b 抽样所占据的时间称为一个时隙 (Time Slot, TS)， N 个时隙构成了一个帧。因此，一路基带 PCM 在 TDM PCM 中每帧周期地占有一个时隙。通常所说的 32 路 PCM 系统就是指一个取样周期内具有 32 个时间间隔，这 32 个时间间隔叫 32 个时隙，可以传送 32 路信息。

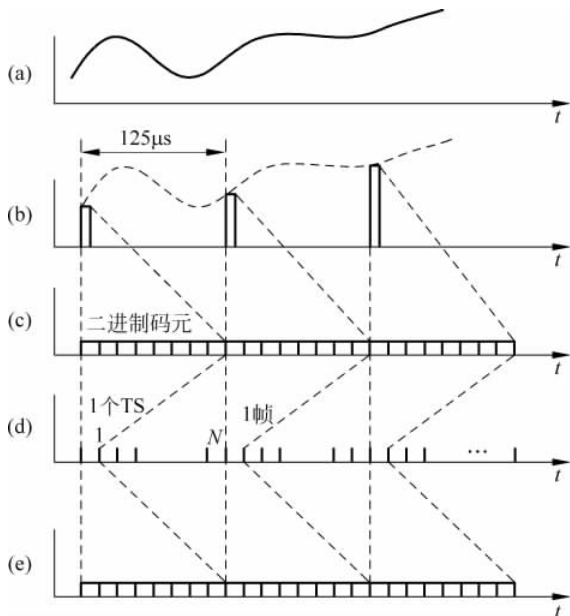


图 3.2 表示时分复用 PCM 的形成

- (a) 模拟语音信号；(b) 抽样后形成的 PAM 信号；(c) 编码后形成的基带 PCM 信号；
(d) 与其他基带 PCM 信号多路调制后形成的 TDM PCM 信号；(e) 由第 1 路模拟语音信号形成的基带信号

实用中的 PCM 有两种体制,一种是由贝尔(BELL)公司提出,在北美和日本普遍采用的 24 路 PCM($N=24$);另一种是欧洲邮电管理协会(Conference of European Postal and Telecommunication Administrations, CEPT)制定的,在欧洲和中国等世界其他地区采用的 32 路 PCM($N=32$)。这两种体制均已被 CCITT 采纳为正式标准,它们并无本质上的差别,且易于转换。

图 3.3 的时分复用信号称为 PCM 的一次群信号。从图中可以看出,一次群信号的每一帧有 32 个时隙,因而其位速率为

$$32 \times 64\text{kb/s} = 2048\text{kb/s} = 2.048\text{Mb/s}$$

32 个时隙依次编号为 0~31,0 时隙用于传输系统的同步信息,第 16 时隙用于传输信令,其余时隙用于传输话路。因此,一次群 PCM 也称为 32/30 路 PCM。



图 3.3 32/30 路 PCM 系统时隙分配

对一次群进一步调制,可以依次得到二次群、三次群和四次群。相应地,基带 PCM 信号有时也称为零次群。图 3.4 给出了各次群的输入路数及相应的传输速率。

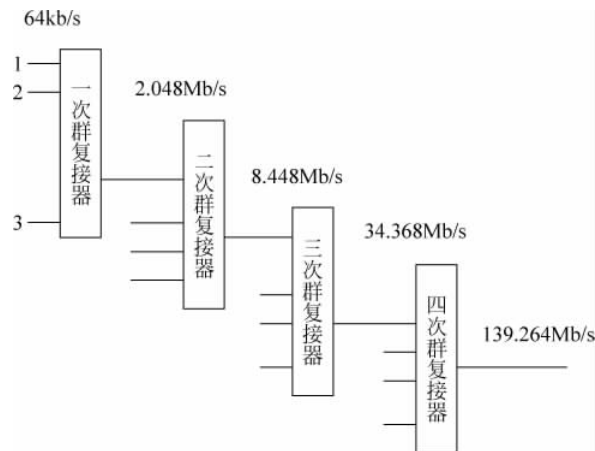


图 3.4 PCM 高次群复接系统

数字交换器的接续常以一次群信号为单位。如果交换机接收到的是其他群次的信号,则必须通过接口电路将它们多路复接(或分接)成一次群,然后进行交换。为便于记忆,下面列出了 32/30 路 PCM 信号中一些常用的时间和速率关系。

码元速率	2.048Mb/s	码元宽度	$0.488\mu\text{s}$
时隙速率	256kb/s	时隙宽度	$3.9\mu\text{s}$
帧速率	8kb/s	帧周期	$125\mu\text{s}$

PCM30/32 路一次群设备大多用在市内电话的局间中继线和短距离区间线路上,它除了传输 30 路数字电话之外,还可传输数据、电报、传真和经过频带压缩的可视电话。高次群

用来传输宽带信号,如可视电话、高速数据和图像信号等。

3.2 交换单元模型及其数学描述

3.2.1 交换单元模型

1. 交换单元的基本概念

交换单元是构成交换网络最基本的部件,用若干个交换单元按照一定的拓扑结构和控制方式就可以构成交换网络。因此,交换单元的功能是交换的基本功能,即在任意的入线和出线之间建立连接,或者说将入线上的信息分发到出线上去。

不管交换单元内部结构如何,总可以把它看成一个黑箱,对外的特性只有一组入线和一组出线,入线为信息输入端,出线为信息输出端,如图 3.5 所示。这样可以暂时不考虑各种具体交换单元的个性,而从普遍意义上讨论交换单元的基本概念和数学模型。

图 3.5 中的交换单元具有 M 条入线和 N 条出线,这是一个 $M \times N$ 的交换单元。其中入线可用 $0 \sim M-1$ 编号来表示,出线可用 $0 \sim N-1$ 的编号来表示。若入线数与出线数相等且均为 N ,则为 $N \times N$ 的对称交换单元。交换单元通常还具有完成控制功能的控制端和描述内部状态的状态端。

当有信号到达交换单元的某条入线需进行交换时,交换单元可根据外部送入的命令或根据信号所携带的出线地址在交换单元内部建立通道,将该入线与相应的出线连接起来,入线上的输入信号沿内部通道在出线上输出,如图 3.6 所示。在信息交换完毕时,还需将已建的通道拆除。由此可知,交换单元的基本功能通过交换单元连接入线和出线的“内部通道”完成。这样的“内部通道”通常被称为“连接”,建立内部通道就是建立连接,拆除内部通道就是拆除连接。

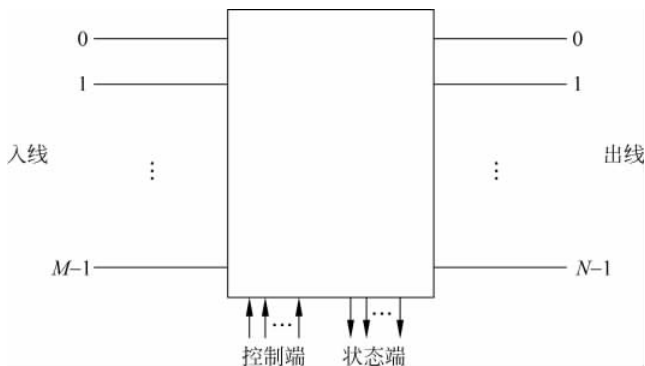


图 3.5 $M \times N$ 的交换单元

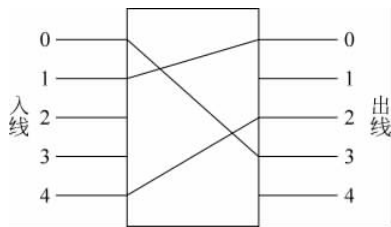


图 3.6 交换连接示意图

2. 交换单元的方向性

交换单元按信息流向可以分为有向交换单元和无向交换单元。

“有向”是指信息经交换单元的流动是从入端到出端,具有唯一确定的方向,如图 3.7(a)

所示。

在 $M \times N$ 的交换单元中,若入端和出端是双向的,即入端可以输入输出,出端也可以输入输出,任一入端可以和任一出端相连,但入端组和出端组内部不能相连,则称该 $M \times N$ 交换单元为 $M \times N$ 无向交换单元,如图 3.7(b)所示。这里“无向”相对于“有向”而言,是指在信息端上,信息既可输入,也可输出,但仍用入端和出端来区别这两组信息端,不过入端和出端的选择是任意的,按习惯而定。

在 $M \times N$ 的无向交换单元中,若 $M=N$,把相同编号的入端和出端合并,则可得到一个新的交换单元。它有 N 个信息端,可以任意来连接,如图 3.7(c)所示,称其为 N 无向交换单元。

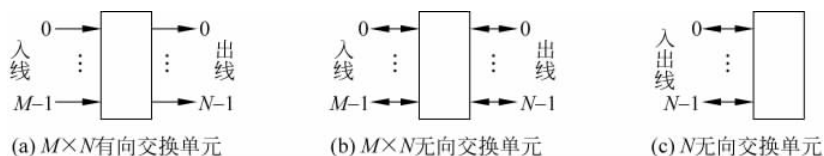


图 3.7 有向交换单元与无向交换单元

这几种交换单元又常统称为 $M \times N$ 交换单元。

3. 集中式交换单元与扩展式交换单元

交换单元按使用需要的不同可分为集中式和扩展式,如图 3.8 所示。

- (1) 集中式: 入线数大于出线数($M > N$), 又称集中器, 如图 3.8(a) 所示。
- (2) 扩展式: 入线数小于出线数($M < N$), 又称扩展器, 如图 3.8(b) 所示。



图 3.8 集中式交换单元与扩展式交换单元

集中器和扩展器一般用于用户模块,完成大量用户线数与少量交换链路线数之间的连接,起话务集中和扩展的作用。

4. 交换单元的性能指标

从外部描述一个交换单元的性能指标,主要考虑它的容量、接口、功能和质量四个方面。

(1) 容量。考察一个交换单元的容量,最基本的是交换单元的入线和出线的数目,称为交换单元的大小;其次是交换单元每个人端上可以送入的信息量,如模拟信号的带宽、数字信号的速率等。二者的综合是交换单元所有入端可以同时送入的总信息量,称为交换单元的容量。

(2) 接口。如同需要规定线路上传送信号的标准一样,交换单元也需要规定自己的信号接口标准。例如,不同交换单元可以进行交换的信号形式是不同的,有的交换单元只能交

换模拟信号,有的只用于交换数字信号,有的则是模数兼容的。再如,有的交换单元是有向的,有的交换单元是无向的,这在前面已有叙述。

(3) 功能。交换单元的基本功能是在入端和出端之间建立连接并传送信息,但不同的交换单元有不同的功能。有些交换单元的任何一个入端可以和任何一个出端建立连接,有的一个入端只能和一些出端之间建立连接,有的具有同发功能或广播功能,有的具有小存储功能等。

(4) 质量。质量包含以下两个方面。

① 完成交换功能的情况:完成交换动作的速度以及是否在任何情况下都能完成指定的连接。

② 信号经过交换单元的损伤:信号经过交换单元的时延和其他损伤,如信噪比的降低等。

3.2.2 交换单元的数学描述

既然已将交换单元的基本功能具体表述为建立连接和拆除连接,则说明连接是交换单元的基本特性,它反映交换单元入线到出线的连接能力。对连接特性进行有效而正确地描述就可以反映交换单元的特性。那么,如何描述交换单元的连接特性呢?下面分别从连接集合和连接函数出发来讨论。

首先可以把一个交换单元的一组入线和一组出线各看成一个集合,称为入线集合和出线集合,并记为:

(1) 入线集合 $I = \{0, 1, 2, \dots, M-1\}$;

(2) 出线集合 $O = \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$ 。

定义:若 $i \in I$,即 i 是 I 的一个元; $O \in O_j, O_j \subseteq O$,即 O_j 是 O 的一个子集, O 是 O_j 的一个元,则集合 $C = \{i, O_j\}$ 为一个连接。

其中, i 为连接的起点, $O \in O_j$ 为连接的终点。即交换单元的一个连接就是入线集合 I 中的一个元 i 与出线集合 O 中的一个子集 O_j 组成的集合。

若 $O \in O_j, O_j$ 中只含有一个元,则称该连接为点到点连接。

若 $O \in O_j, O_j$ 中含有多个元,则称该连接为点到多点连接。

若一个交换单元可以提供点到多点连接,但 $O_j \neq O$,则称其具有同发功能,即从交换单元的一条入线输入的信息可以交换到多条出线上输出;若此时 $O_j = O$,则称该交换单元具有广播功能,即从交换单元的一条入线输入的信息可以在全部出线上输出。例如,普通的电话通信只需要点到点连接,而像电视会议、有线电视等则需要同发和广播功能。

对于一个具有一组入线和一组出线的交换单元,可以同时有多个上述定义的连接,这就构成了交换单元的连接集合 $C = \{C_0, C_1, C_2, \dots\}$ 。其中,起点集为 $I_c = \{i; i \in C_i, C_i \subset C\}$,终点集为 $O_c = \{O; O \in O_j, O_j \subset C_i, C_i \subset C\}$ 。

特别值得注意的是,这里所说的连接和连接集合应该对应于某一时刻。对于一个正在工作的交换单元,它在某一时刻处于某种连接集合 C ,在不同时刻,它的连接应该可变,连接集合也可变。若连接和连接集合固定不变,则意味着交换单元的入线和出线总是处在固定连接中,那么能够连接任意入线和出线的交换功能也就无从谈起了。当然,这种改变需要通过某种控制方式才可进行。一个交换单元可能提供的连接集合的数目越多,它的连接能力

就越强。

在某一时刻,一个交换单元正处于连接集合 C ,若一条入线 $i \in I_c$,则称该入线 i 处于占用状态,否则处于空闲状态;同理,若一条出线 $O \in O_c$,则称该出线 O 处于占用状态,否则处于空闲状态。

有时,从应用的角度看,一个交换单元连接集合中的一部分连接是相同的。如果要求交换单元的某条入线任选一条出线输出,并不在乎是哪条出线,则包含该入线和其他任意出线的连接都可以看作是等效的。

下面来讨论用连接函数描述交换单元的连接特性。

每一个交换单元都可用一组连接函数来表示,一个连接函数对应一种连接。连接函数表示相互连接的入线编号和出线编号之间的一一对应关系,即存在连接函数 f ,在它的作用下,入线 x 与出线 $f(x)$ 相连接,其中 $0 \leq x \leq M-1, 0 \leq f(x) \leq N-1$ 。连接函数实际上也反映了由入线编号构成的数组和由出线编号构成的数组之间对应的置换关系或排列关系。所以,连接函数也被称为置换函数或排列函数。另外,从集合角度来讲,一个连接函数反映了入线集合和出线集合的一种映射关系。

常见的连接函数的表示形式有下列三种。

(1) 函数表示形式。用 x 表示入线编号变量,用 $f(x)$ 表示连接函数。通常, x 用若干位二进制数形式来表示,写成 $x_{n-1}x_{n-2}\cdots x_1x_0$ (如 $x=6$ 时,可以表示为 $x_2x_1x_0=110$),连接函数表示为 $f(x_{n-1}x_{n-2}\cdots x_1x_0)$ 。例如,均匀洗牌函数表示为

$$\sigma(x_{n-1}x_{n-2}\cdots x_1x_0) = x_{n-2}\cdots x_1x_0x_{n-1}$$

式中,等号左端括号内是入线编号变量的二进制数表达式,等号右端是该函数的具体表达式。如 $N=8$ 时,有表达式 $\sigma(x_2x_1x_0) = x_1x_0x_2$,则有 $\sigma(000) = 000, \sigma(001) = 010, \cdots, \sigma(111) = 111$,即入线 0 与出线 0 相连接,入线 1 与出线 2 相连接,入线 2 与出线 4 相连接等。

函数形式的连接函数在进行信息交换时十分方便运算。

(2) 排列表示形式。排列表示形式也称输入输出对应表示形式。因为交换单元的连接实际上是各入线与各出线编号之间的一种对应关系,所以可以将这种对应关系一一罗列出来,表示为

$$\begin{pmatrix} i_0, i_1, \cdots, i_{n-1} \\ o_0, o_1, \cdots, o_{n-1} \end{pmatrix}$$

其中, i_i 为入线编号, o_i 为出线编号, $n \leq N$ 。

应注意,上述表示形式并不一定要求第一行按大小自左至右排成自然的顺序。

若 $i_0, i_1, \cdots, i_{n-1}$ 与 $o_0, o_1, \cdots, o_{n-1}$ 均无重复元素,则该连接必为点到点连接;若 $i_0, i_1, \cdots, i_{n-1}$ 有重复元素, $o_0, o_1, \cdots, o_{n-1}$ 无重复元素,则该连接必为一点到多点连接;若 $i_0, i_1, \cdots, i_{n-1}$ 无重复元素, $o_0, o_1, \cdots, o_{n-1}$ 有重复元素,则意味着有多条入线同时接到同一条出线上,造成出线冲突,这在交换中是应避免的情况。

在点到点连接的情况下,上面的表示形式可改写为

$$\begin{pmatrix} 0, 1, \cdots, N-1 \\ o_0, o_1, \cdots, o_{n-1} \end{pmatrix}$$

这时,入线编号按自然数顺序排列,表示入线 0 连接到出线 o_0 ,入线 1 连接到出线 $o_1, \cdots,$

入线 $N-1$ 连接到出线 o_{n-1} 。若存在空闲出线,则 o_0, o_1, \dots, o_{n-1} 存在空元素,可用空格或符号 ϕ 表示。

例如, $N=8$ 的均匀洗牌函数可表示为

$$\begin{pmatrix} 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \\ 0, 2, 4, 6, 1, 3, 5, 7 \end{pmatrix}$$

这种将入线编号顺序排列,再对应列出出线编号的表示形式,称为出线排列形式。同理也可用入线排列形式表示为

$$\begin{pmatrix} i_0, i_1, \dots, i_{n-1} \\ 0, 1, \dots, N-1 \end{pmatrix}$$

这表示入线 i_0 连接到出线 0,入线 i_1 连接到出线 1, \dots ,入线 i_{n-1} 连接到出线 $N-1$ 。

出线排列和入线排列可进一步简化为

$$o_0, o_1, \dots, o_{n-1} \text{ 和 } i_0, i_1, \dots, i_{n-1}$$

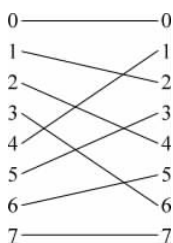


图 3.9 $N=8$ 的均匀洗牌连接

根据排列表示形式可以推出,对于一个 $N \times N$ 交换单元,假设没有空闲的入线和出线, N 条入线和 N 条出线任意进行点到点连接,则该交换单元的一个连接集合就是 N 个自然数的 1 种排列,它所能提供的连接集合的个数就应该是 N 个自然数的全排列,即为 $N!$ 。因此,一个 $N \times N$ 交换单元最多可有 $N!$ 个点到点连接的连接集合。

(3) 图形表示形式。以十进制数表示的入线编号与出线编号均按顺序排列,左边为入线编号,右边为出线编号,再用直线连接相应的入线与出线,即为连接函数的图形表示形式。例如,前面所述 $N=8$ 的均匀洗牌连接就可表示为图 3.9 所示的形式。

3.3 基本交换单元

在讨论了交换单元的模型及其数学描述后,再来分析交换单元的内部。首先想到的问题是,交换单元内部如何实现,有哪些实现方式,交换单元又是如何具体实现交换的基本功能的,如何将任意的入线与任意的出线连接起来。

这里讨论几种重要而典型的交换单元,即不带存储功能的开关阵列、总线,带存储功能的存储型交换单元等。

3.3.1 开关阵列

1. 基本原理

在交换单元内部,要建立任意入线和任意出线之间的连接,最简单直接的办法就是使用开关。在每条入线和每条出线之间都接上一个开关,所有的开关就构成了交换单元内部的开关阵列。开关阵列是最基本、最直截了当、最早使用的交换单元。

若交换单元的每条入线能够与每条出线相连接,则被称为全连接交换单元;若交换单元的每条入线只能与部分出线相连接,则被称为部分连接交换单元或非全连接交换单元。本节讨论的均为全连接交换单元,之后不再说明。

若交换单元是由空间上分离的多个小的交换部件或开关部件按一定的规律连接构成的,则称为空分交换单元。开关阵列是一种空分交换单元。

开关阵列中的开关通常有两种状态:接通或断开。当开关接通时,该开关对应的人线和出线就被连接起来;当开关断开时,人线和出线就不被连接。

开关阵列在拓扑结构上可排成方形或矩形二维阵列,它们分别被称为 $N \times N$ 方形开关阵列和 $M \times N$ 矩形开关阵列。图 3.10 表示了用 $M \times N$ 有向矩形开关阵列(图 3.10(b))实现的 $M \times N$ 有向交换单元(图 3.10(a))及 $M \times N$ 无向矩形开关阵列(图 3.10(c))。其中,连接线代表入线和出线,交叉点代表开关,共有 $M \times N$ 个开关,位于第 i 行第 j 列的开关记为 K_{ij} 。

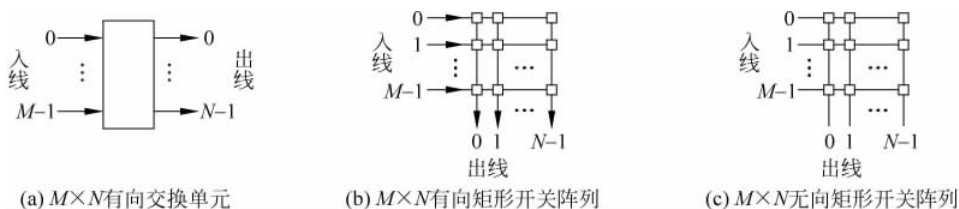


图 3.10 交换单元的开关阵列

2. 特性

开关阵列的主要特性如下。

(1) 因为每条入线和每条出线的组合都对应着一个单独的开关,所以在任何时刻,任何入线都可连至任何出线。由于从任何给定的入线到出线的通道上只存在一个开关,所以开关控制简单,且具有均匀的单位延迟时间。

(2) 一个交叉点代表一个开关,因此通常用交叉点数目表示开关数目。对于指定入线和出线数的交换单元,由于开关数反映了实现的复杂度和成本的高低,所以应尽量减少交叉点数目。如何减少交叉点数目是交换领域的重要研究课题。开关阵列的交叉点数取决于交换单元的入线和出线数,是两者的乘积,当入线和出线数增加时,交叉点数目会迅速增加,因此开关阵列适合于构成较小的交换单元。

(3) 当某条入线与其连接的所有出线间的一行开关部分或全部处于接通状态时,开关阵列很容易地就实现了同发功能和广播功能。若某条出线对应的一列开关部分或全部接通,则若干条入线同时接至一条出线,很容易产生出线冲突。前者是可以利用的优点,后者是应该避免出现的情况。所以,一行开关只能有一个处于接通状态。

(4) 由于开关是开关阵列中的唯一部件,所以交换单元的性能依赖于所使用的开关。如果开关可以双向传送信息,则可构成无向交换单元;如果开关只能单向传送信息,则可构成有向交换单元。如果开关用于传送数字信息,则交换单元也用于交换数字信息;如果开关用于传送模拟信息,则交换单元也用于交换模拟信息。光开关还可构成光交换单元。

3. 开关阵列的控制端和状态端

对于开关阵列的控制端和状态端,最简单的情况是每个开关都有一个控制端和状态端,分别用于控制和表示开关的通断状态。此时一个 $M \times N$ 的交换单元共有 $M \times N$ 个控制端

和 $M \times N$ 个状态端,它们均为二值电平。

$M \times N$ 个控制信号可以排成一个方阵,称为控制方阵。位于第 i 行第 j 列的元素 C_{ij} 的值为 1 或 0,分别用于控制第 i 个入端和第 j 个出端之间接通或断开。同理,状态端也可同样排成一个方阵。

$M \times N$ 个二值控制信号共有 2^{MN} 种不同的组合,每种组合都是一种可能送入交换单元控制信号的取值,但并非 2^{MN} 个控制信号的取值都是允许的,如在不允许同发和广播时,控制方阵中同一行的元素中只能有一个为 1,因此控制信号的组合数往往远小于 2^{MN} 。

4. 实际开关阵列举例

(1) 继电器。继电器常用于构成小型交换单元,利用继电器的吸合与断开来控制交叉点。其交换单元应该可以双向传送信息,并且可以传送模拟信号和数字信号。

继电器构成交换单元的缺点是:

- ① 继电器的动作会对其他部件产生干扰和噪声;
- ② 继电器的动作较慢,一般为毫秒数量级;
- ③ 继电器的体积较大,一般为厘米数量级。

(2) 模拟电子开关。模拟电子开关利用半导体材料制成,可取代继电器构成小型交换单元。例如, Motorola 公司生产的 MC142100 和 MC145100,都是 4×4 的电子开关阵列。

与继电器相比,其构成的交换单元有以下重要特点:

- ① 体积小,如构成 8×8 交换单元的全部开关及其连线可以集成在一个芯片上;
- ② 开关动作比继电器快得多,同时产生的干扰和噪声极小;
- ③ 信号在半导体材料中传送,只能单方向传送,并且衰减和时延较大。

(3) 数字电子开关。它可以简单地用逻辑门构成,用于数字信号的交换,其开关动作极快并且没有信号损失。

(4) 2×2 交叉连接单元。 2×2 交叉连接单元有两个入端和两个出端,处于平行连接或交叉连接两个状态。交叉连接状态对应于断开状态,平行连接状态对应于接通状态。用它构成的交换单元如图 3.11 所示。

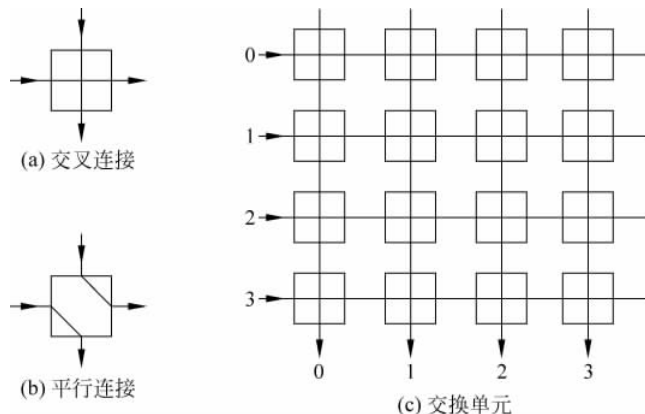


图 3.11 用 2×2 交叉连接单元构成的交换单元

(5) 多路选择器。最早的步进制电话交换机使用的基本交换部件就是一种多路选择器。

参考图 3.12 可知, $M \times N$ 开关阵列的物理实现并不一定要求一个交叉点使用一个开关, 也可使用多路选择器。将一行或一列出线连接在一起的开关等效为一个 M 条入线和 1 条出线(即 M 中选一)的多路选择器, 也可将一行或一列入线连接在一起的开关等效为一个 1 条入线和 N 条出线(即 N 中选一)的多路选择器, 如图 3.12 所示。区别仅在于: 对于一行或一列连接在一起的开关, 可以实现一点到多点的连接; 对于多路选择器, 一般只允许点到点连接。

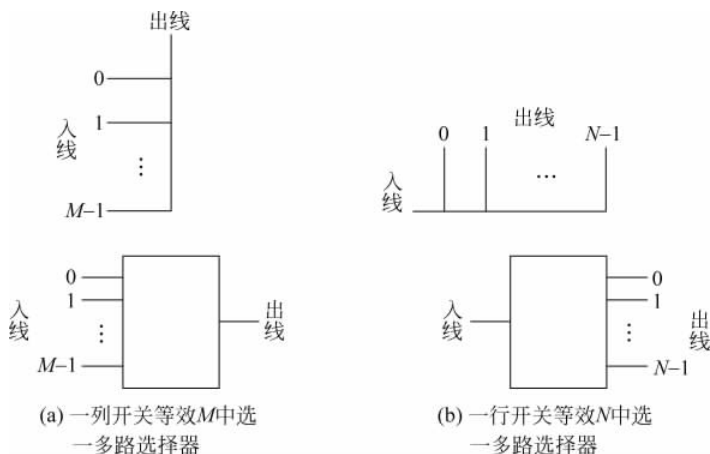


图 3.12 开关阵列与多路选择器的等效图

图 3.13(a)所示为用 N 个 M 中选一的多路选择器构成的 $M \times N$ 的交换单元, 图 3.13(b) 为用 M 个 N 中选一的多路选择器构成的 $M \times N$ 的交换单元。

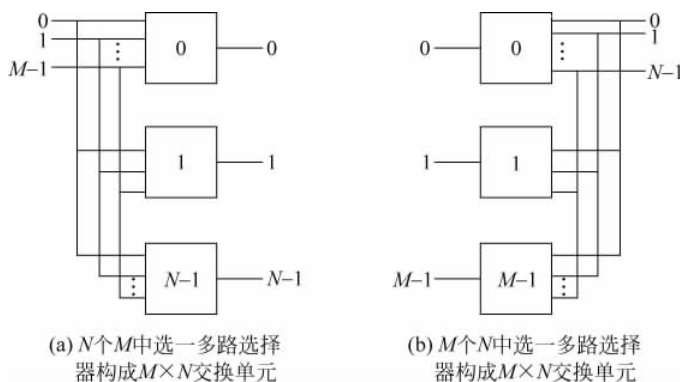


图 3.13 多路选择器构成的 $M \times N$ 交换单元

3.3.2 空间交换单元

空间接线器用来完成同步时分复用信号的不同复用线之间的交换功能, 而不改变其时隙位置, 简称 S 接线器。

1. 结构

空间接线器由电子交叉矩阵和控制存储器(CM)构成,图 3.14 表示了两种控制方式的空间接线器。

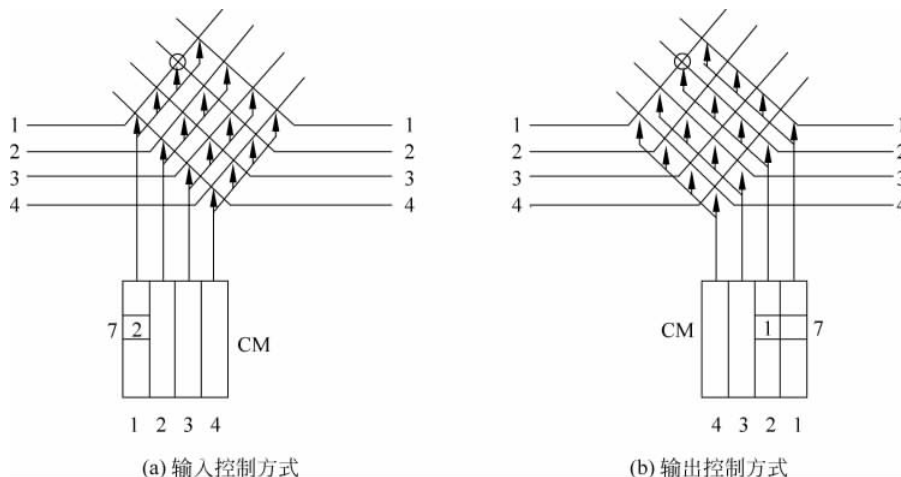


图 3.14 两种控制方式的空间接线器

从结构上看,它包括一个 4×4 的电子交叉矩阵和对应的控制存储器。 4×4 的交叉矩阵有 4 条输入复用线和 4 条输出复用线,每条复用线上传送由若干个时隙组成的同步时分复用信号,任一条输入复用线可以选通任一条输出复用线。

这里说成复用线,而不是一套 32 路的 PCM 系统,是因为实际上还要将各个 PCM 系统进一步复用,使一条复用线上具有更多的时隙,信号以更高的码率进入电子交叉矩阵,从而提高其效能。因为每条复用线上具有若干个时隙,也即每条复用线上传送了若干个用户的信息,所以,输入复用线与输出复用线应在某一个指定时隙接通。例如,第 1 条输入复用线的第 1 个时隙可以选通第 2 条输出复用线的第 1 个时隙,它的第 2 个时隙可能选通第 3 条输出复用线的第 2 个时隙,它的第 3 个时隙可能选通第 1 条输出复用线的第 3 个时隙,等等。所以说,空间接线器不进行时隙交换,而仅仅实现同一时隙的空间交换。当然,对应于一定出入线的各个交叉点是按复用时隙而高速工作的,在这个意义上,空间接线器是以时分方式工作的。

各个交叉点在哪些时隙应闭合,在哪些时隙应断开,这决定于处理机通过控制存储器所完成的选择功能。如图 3.14(a)所示,对应于每条入线有一个控制存储器(CM),用于控制该入线上每个时隙接通哪一条出线。控制存储器的地址对应时隙号,其内容为该时隙所应接通的出线编号,所以其容量等于每一条复用线上的时隙数,每个存储单元的字长,即比特数则决定于出线地址编号的二进制码位数。例如,若交叉矩阵是 32×32 ,每条复用线有 512 个时隙,则应有 32 个控制存储器,每个存储器有 512 个存储单元,每个单元的字长为 5b,可选择 32 条出线。

图 3.14(b)与图 3.14(a)基本相同,不同的是每个控制存储器对应一条出线,用于控制该出线在每个时隙接通哪一条入线。所以,控制存储器的地址仍对应时隙号,其内容为该时

隙所应接通的入线编号,字长为入线地址编号的二进制码位数。

电子交叉矩阵在不同时隙闭合和断开,要求其开关速度极快,所以它不是普通的开关,通常,它是用电子选择器组成的。电子选择器也是一种多路选择器,只不过,其控制信号来源于控制存储器。

图 3.14(b)中的 4×4 电子交叉矩阵的构成可以表示为如图 3.15 所示的形式。与图 3.13 比较,可以发现这是用多路选择器作开关的。

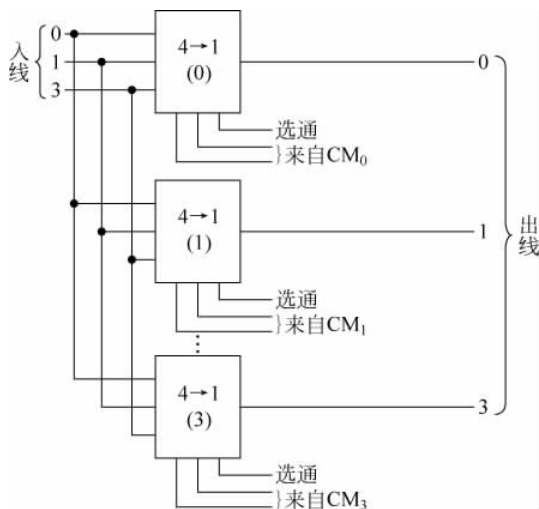


图 3.15 4×4 电子交叉矩阵的构成

由图 3.15 可知, 4×4 电子交叉矩阵可以采用 4 片 4 选 1 的选择芯片,各负责一条输出复用线。每片的 4 条输入复用线按输入线号复接起来,形成 4 条输入复用线。4 个控制存储器对应 4 条出线,每个控制存储器内存储 2 位入线地址,并输出至相应选择器作为控制信号。选择器的选通端决定选择器是否工作,这可以避免选择器将控制存储器无输出误认为输出 0,而将此时的入线与出线 0 接通。

2. 工作原理

参考图 3.14,空间接线器有两种工作方式,是按照控制存储器配置的不同而划分的。

(1) 按输入线配置的称为输入控制方式,如图 3.14(a)所示。

(2) 按输出线配置的称为输出控制方式,如图 3.14(b)所示。

在图 3.14(a)中,第 1 个存储器的第 7 单元由处理机控制写入了 2。第 7 单元对应于第 7 个时隙,当每帧的第 7 个时隙到达时,读出第 7 单元中的 2,表示在第 7 个时隙应将第 1 条入线与第 2 条出线接通,也就是第 1 条入线与第 2 条出线的交叉点在第 7 时隙中应该接通。

在图 3.14(b)中,如果仍然要使第 1 输入线与第 2 输出线在第 7 时隙接通,应由处理机在第 2 个控制存储器的第 7 单元写入输入线号码 1,然后,在第 7 个时隙到达时,读出第 7 单元中的 1,控制第 2 条出线与第 1 条入线的交叉点在第 7 时隙接通。

在同步时分复用信号的每一帧期间,所有控制存储器的各单元的内容依次读出,控制矩阵中各个交叉点的通断。

输出控制方式有一个优点:某一输入线上的某一个时隙的内容可以同时几条输出线

上输出,即具有同步和广播功能。例如,在4个控制存储器的第 K 个单元中都写入了输入线号码 i ,使得输入线 i 的第 K 个时隙中的内容同时在输出线1~4上输出。而在输入控制方式时,若在多个控制存储器的相同单元中写入相同的内容,只会造成重接或出线冲突,这对于正常的通话是不允许的。

3.3.3 时间交换单元

前面的S接线器只能完成不同总线上相同时隙之间的交换,不能满足任意时隙之间的交换要求。时分复用交换单元通常指适用于对各种时分复用信号进行交换的交换单元,本节讨论两种典型的用于时分复用信号的交换单元,即共享存储器型交换单元和总线型交换单元。

1. 共享存储器型交换单元

(1) 一般结构。共享存储器型交换单元的一般结构如图3.16所示。作为核心部件的存储器被划分成 N 个区域, N 路输入数字信号分别送入存储器的 N 个不同区域,再分别送出。存储器的写入和读出采用不同的控制,以完成交换。

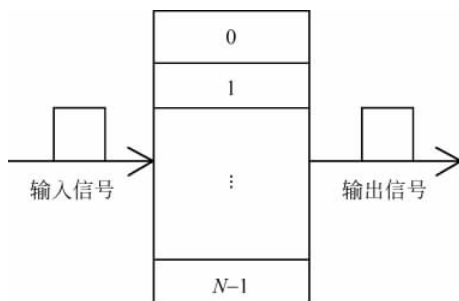


图 3.16 共享存储器型交换单元的一般结构

(2) 工作方式。共享存储器型交换单元的工作方式有两种。

① 入线缓冲。若存储器中的 N 个区域是和各路输入信号顺序对应的,即第1路输入信号送到第1个存储区域(编号为0),第2路输入信号送到第2个存储区域(编号为1),等等,则称交换单元是入线缓冲的。

② 出线缓冲。若存储器中的 N 个区域是和各路输出信号一一对应的,即第1个存储区域(编号为0)的数据作为第1路输出信号,第2个存储区域(编号为1)的数据作为第2路输出信号,等等,则称交换单元是出线缓冲的。

共享存储器型交换单元对三种时分复用信号都可进行交换,但其具体实现方式有所不同。下面作为实例详细介绍广泛用于同步时分复用信号交换的时间接线器。

2. 时间接线器

对同步时分复用信号来说,用户信息固定在某个时隙里传送,一个时隙就对应一条话路。因此,对用户信息的交换就是对时隙里内容的交换,即时隙交换。同步时分复用信号交换实现的关键是时隙交换。时间接线器用来完成在一条复用线上时隙交换的基本功能,可

简称为 T 接线器。

(1) 结构。时间接线器采用缓冲存储器暂存话音的数字信息,并用控制读出或控制写入的方法来实现时隙交换,因此,时间接线器主要由话音存储器(SM)和控制存储器(CM)构成,如图 3.17 所示。其中,话音存储器和控制存储器都采用随机存取存储器(RAM)构成。

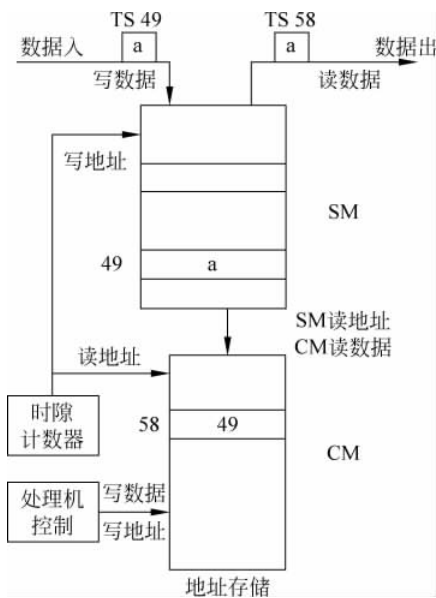


图 3.17 时间接线器

话音存储器用来暂存数字编码的话音信息。每个话路时隙有 8 位编码,故话音存储器的每个单元应至少具有 8b。话音存储器的容量,也就是所含的单元数应等于输入复用线上的时隙数,假定输入复用线上有 512 个时隙,则话音存储器要有 512 个单元。

控制存储器的容量通常等于话音存储器的容量,每个单元所存储的内容是由处理机控制写入的。在图 3.17 中,控制存储器的输出控制话音存储器的读出地址。如果要将话音存储器输入 TS49 的内容 a 在 TS58 中输出,可在控制存储器的第 58 单元中写入 49。

现在来观察时隙交换的过程。各个输入时隙的信息在时钟控制下,依次写入话音存储器的各个单元,时隙 1 的内容写入第 1 个存储单元,时隙 2 的内容写入第 2 个存储单元,以此类推。控制存储器在时钟控制下依次读出各单元内容,当读至第 58 单元时(对应于话音存储器输出 TS58),其内容 49 用于控制话音存储器在输出 TS58 读出第 49 单元的内容,从而完成了所需的时隙交换。

输入时隙选定一个输出时隙后,由处理机控制写入控制存储器的内容在整个通话期间是保持不变的。于是,每一帧都重复以上的读写过程,输入 TS49 的话音信息,在每一帧中都在 TS58 中输出,直到通话终止。

显然,控制存储器每单元的比特数决定于话音存储器的单元数,也就是决定于复用线上的时隙数。

应该注意到,每个输入时隙都对应着话音存储器的一个存储单元,这意味着由空间位置的划分实现了时隙交换。从这个意义上说,时间接线器带有空分的性质,是按空分方式工

作的。

(2) 工作原理。就控制存储器对话音存储器的控制而言,可有两种控制方式:

- ① 顺序写入,控制输出,简称“输出控制”;
- ② 控制写入,顺序输出,简称“输入控制”。

图 3.18(a)所示为输出控制方式,即话音存储器的写入是由时钟脉冲控制按顺序进行的,而其读出要受控制存储器的控制,由控制存储器提供读出地址。控制存储器则只有一种工作方式,它所提供的读出地址是由处理机控制写入,按顺序读出的。例如,当有时隙内容 a 需要从时隙 i 交换到时隙 j 时,在话音存储器的第 i 个单元顺序写入内容 a ,由处理机在控制存储器的第 j 个单元写入地址 i 作为话音存储器的输出地址。当第 j 个时隙到达时,从控制存储器中取出输出地址 i ,从话音存储器第 i 个单元中取出内容 a 输出,完成交换。

图 3.18(b)所示为输入控制方式,即话音存储器是控制写入,顺序读出的,其工作原理与输出控制方式相似,不同之处是控制存储器用于控制话音存储器的写入。当第 i 个输入时隙到达时,由于控制存储器第 i 个单元写入的内容是 j ,作为话音存储器的写入地址,就使得第 i 个输入时隙中的话音信息写入话音存储器的第 j 个单元。当第 j 个时隙到达时,话音存储器按顺序读出内容 a ,完成交换。

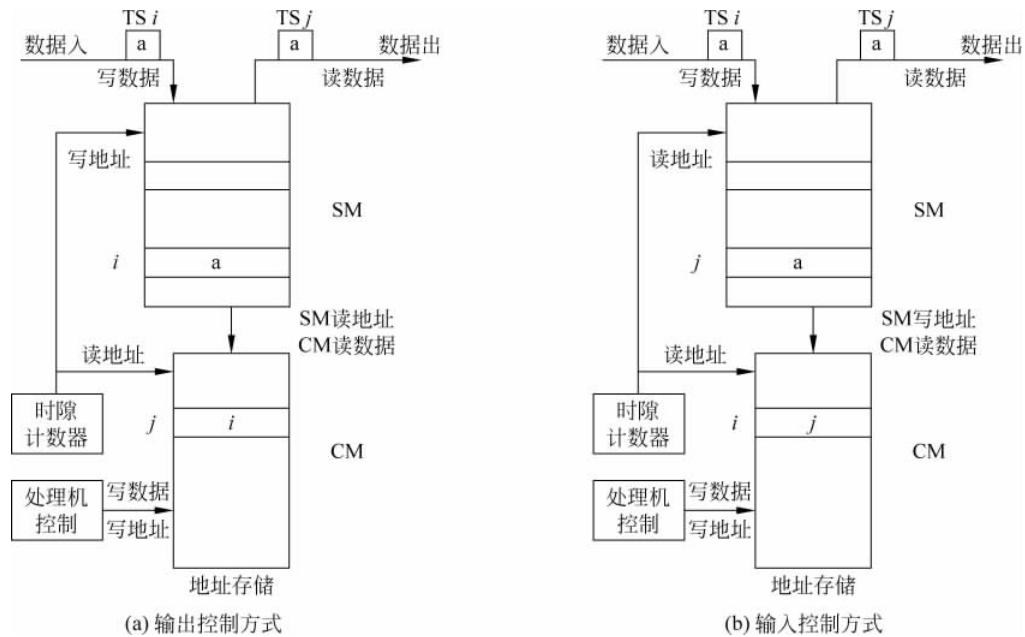


图 3.18 时间接线器工作方式

实际上,在一个时钟脉冲周期内,由 RAM 构成的话音存储器和控制存储器都要完成写入和读出两个动作,这是由 RAM 本身提供的读、写控制线控制,在时钟脉冲的正、负半周分别完成的。

(3) 容量和时延。时间接线器的容量等于语音存储器的容量及控制存储器的容量,也即等于输入复用线上的时隙数,一个输入 N 路复用信号的时间接线器就相当于一个 $N \times N$ 交换单元。因此,增加 N 就可以增加交换单元的容量。当然,在输入复用信号帧长确定时, N 越大,存储器读、写数据的速度就要越快,所以 N 的增加是有限制的。

若单路信号的速率为 v , 采用的存储器为双向数据总线, 数据总线的宽度(即每次存取数据的位数)为 B 位, 需要时间为 t , 则有下列关系式成立

$$2Nv = B/t$$

由上式可知, 增加时间接线器容量的方法包括以下三种:

- ① 使用快速的存储器, 这相当于减少上式中的 t ;
- ② 增加存储器数据总线的宽度, 即增加上式中的 B ;
- ③ 使用单向数据总线的存储器(如双口 RAM), 这相当于去掉上式中的因子 2。

因为时间接线器进行的是时隙交换, 所以每个时隙的信号都会在存储器中产生大小不等的时延。同步时分复用信号经过一个时间接线器的时延包括以下两点。

① 信号进行串并变换时的时延。这项时延与存储器的数据总线宽度成正比。因此, 在通过增加存储器数据总线的宽度来增加时间接线器容量的同时, 也增加了信号经过时间接线器的时延。

② 在存储器中的时延。因为时隙互换的关系, 每个时隙的信号在经过存储器后都会有大小不等的时延。时延最小的情况发生在 1 个时隙的信号在写入存储器后立即被读出时, 时延最大的情况发生在 1 个时隙的信号在写入存储器后要等待一帧后才可读出时。应注意, 实际交换中各时隙中的单路信号经历的时延各不相同。

3. 总线型交换单元

(1) 一般结构。“总线”是一个最早用在计算机领域中的名词, 它指的是把计算机中的各个部件连接在一起的一种技术设备。在最简单也最一般的情况下, 它就是一组连线, 但与一般连线不同的是, 总线是把多于两个的器件连接在一起。“总”字在这里有“汇总”或“集中”的意思。例如, 在普通的计算机中, 在中央处理器从存储器中读数、中央处理器向存储器写数、中央处理器向外设写数或读数等时, 各个部件之间的数据传输都通过总线进行。总线相当于一个数据的集散地, 也就是说, 送数据、取数据都通过总线来进行。因此, 易知总线也完全可以用于电信交换。

计算机局域网就使用了总线来完成电信交换的功能。计算机都通过一根同轴电缆连接在一起。各个计算机向这个总线发送数据, 也从这个总线上接收数据, 如图 3.19 所示。

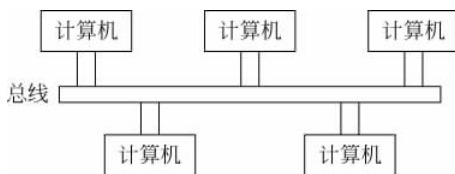


图 3.19 计算机局域网总线结构

在电信交换中使用的总线型交换单元的一般结构如图 3.20 所示。它包括入线控制部件、出线控制部件和总线三部分。交换单元的每条入线都经过各自的入线控制部件与总线相连, 每条出线也经过各自的出线控制部件与总线相连。总线按时隙轮流分配给各个入线控制部件和出线控制部件使用, 分配到入线控制部件将输入信号送到总线上, 通过总线将该信号送到出线控制部件。

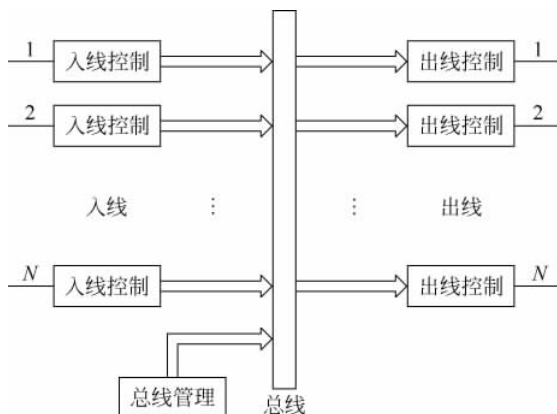


图 3.20 总线型交换单元的一般结构

(2) 各部件功能如下所述。

① 入线控制部件的功能是接收入线信号,进行相应的格式变换后,将其放在缓冲存储器中,并在分配给该部件的时隙上把收到的信号送到总线上。因为输入信号是连续的比特流,而总线上接收和发送的信号则是突发的,所以设一个入线控制部件每隔时间 τ 获得一个时隙,输入信号的速率为 $V(\text{b/s})$,则缓冲存储器的容量至少应是 $V\tau$ 位。

② 出线控制部件的功能是检测总线上的信号,并把属于自己的信号读入一个缓冲存储器中,进行格式变换,然后由出线送出,形成出线信号。同理,设一个出线控制部件在每个时间段 τ 内获得的信号量是一个常数,而出线的数字信号的速率为 $V(\text{b/s})$,则缓冲存储器容量至少应是 $V\tau$ 位。

③ 总线一般包括多条数据线和控制线。数据线用于在入线控制部件和出线控制部件之间传送信号,控制线用于控制各入线控制部件获得时隙和发送信号,以及出线控制部件读取属于自己的信号。其中数据线的多少对于交换单元的容量有决定性的意义,因此把总线包括的数据线数量称为总线的宽度。

④ 总线时隙分配要按一定的规则进行。最简单也最常用的规则是不管各入线控制部件是否有信号,都按顺序把时隙分给各入线。比较复杂但效率较高的规则是只在入线有信号时才分配时隙给它。

由上述的功能描述可知,总线上的信号是一个同步时分多路复用信号,并且所有输入信号将被复合成为一个信号。若有 N 条入线,每条入线的信号速率是 $V(\text{b/s})$,则总线上的信号速率就是 $NV(\text{b/s})$ 。因此,在总线型交换单元中,总线是信息的集散地。若入线较多且输入信号的速率较高,则总线上的信息速率会变得非常高。所以,总线型交换单元的入线数和信号速率受总线能够传送的信号速率及入线、出线控制电路的工作速率的限制。

设总线上的一个时隙长度不超过 T ,且在一个时隙中只能传送 B 位,则有:

$$kNV = B/T$$

式中, k 为时隙分配规则因子。若采用简单的固定分配时隙的规则,则 $k=1$;若采用按需分配的规则,则 $k<1$ 。 $1/k$ 反映了总线的利用程度。因此,可以通过增加 B 、减少 T 或减少 k 来增加交换单元的容量。最直接的增加 B 的方法是增加总线的宽度。总线中数据线的数目增加,在一个操作中可以送到总线上的信号量就会增加。但是,与此同时,信号经过交换

单元的时延会增加,输入部件中存储器的容量要加大,与总线的接口电路要增加,从而使设备的复杂度增加。减少 T 的直接方法是使用快速器件,但存储器的存取速度是有限的。若总线在一个时隙中的操作分几个步骤完成,则对几个步骤采用并行处理也可能减少 T 。

总线型交换单元可适用于三种时分复用信号,但具体的实现方式有所不同。目前,在我国电话网中广泛使用的 S1240 数字程控交换机,就采用了总线型交换单元——数字交换单元(Digital Switch Element, DSE),它是一种对同步时分复用信号进行交换的总线型交换单元。

3.3.4 时间交换单元的扩展

如前所述,增加时间接线器的容量受到芯片读/写速度的限制,那么有什么方法可进一步增加交换单元的容量呢?同前面的开关阵列思想一样,将一个时间接线器看成一个开关点,将多个时间接线器组成一个阵列,从而可以构成一个更大的交换单元,如图 3.21 所示。

图 3.21 由 9 个时间接线器扩展成一个 3 倍容量的交换单元,但这种方式的缺点是需要的时接线器数量随扩展倍数 N 按 N^2 增长,因此它只适合于扩展倍数小的情况,扩展倍数大时需要采用其他方式来构成大的交换网络,如采用多级连接的方式。下面将介绍多级交换网络的构成。

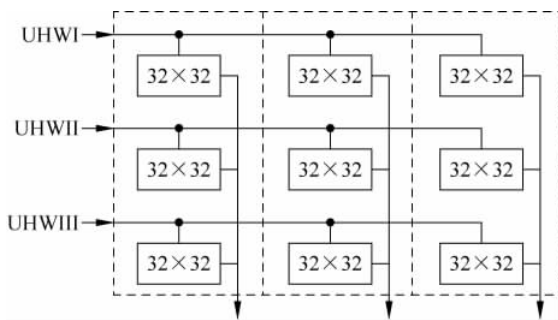


图 3.21 时间接线器的扩展

3.4 多级交换网络

3.4.1 多级交换网络的概念

1. 多级交换网络的定义

将交换单元按一定的拓扑结构连接起来就可形成单级交换网络或多级交换网络。单级交换网络是由一个交换单元或若干个位于同一级的交换单元构成,如图 3.22 所示。需交换的信号在单级交换网络中一次通过,即一次入线到出线的连接只经过一个交换单元。例如,前面时间接线器的扩展就属于单级交换网络。

另外,从图 3.22(b)可知,在这种单级交换网络中,属于不同交换单元的入线与出线之间无法建立连接,这不能算真正的交换网络。因此,一般所说的单级交换网络如图 3.22(a)

所示。

多级交换网络是由若干个交换单元按照一定的拓扑结构和控制方式构成的网络。多级交换网络有三大基本要素：交换单元、交换单元之间连接的拓扑方式和控制方式，如图 3.23 所示。

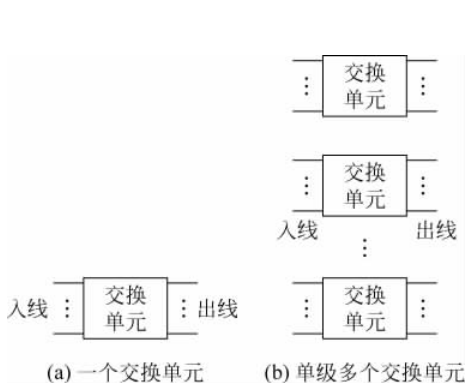


图 3.22 单级交换网络示例

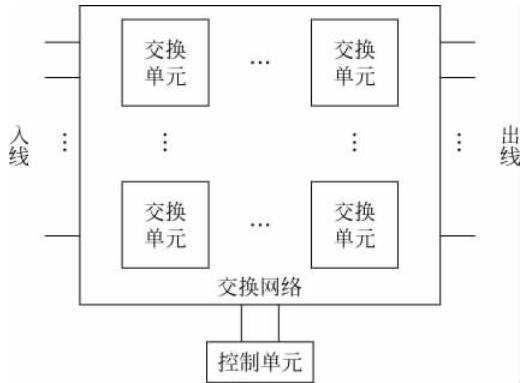


图 3.23 多级交换网络的一般结构

多级交换网络由多级交换单元构成。如果一个交换网络中的交换单元可以分为 K 级，按顺序命名为第 1, 2, \dots , K 级，并且满足以下条件，则称这样的交换网络为多级交换网络，或 K 级交换网络：

- (1) 所有的入线都只与第 1 级交换单元连接；
- (2) 所有的第 1 级交换单元都只与入线和第 2 级交换单元连接；
- (3) 所有的第 2 级交换单元都只与第 1 级交换单元和第 3 级交换单元连接；
- (4) 以次类推，所有的第 K 级交换单元都只与第 $K-1$ 级交换单元和出线连接。

多级交换网络的拓扑结构可以用三个参量来说明，这三个参量是：每个交换单元的容量，交换单元的级数和交换单元间的连接通路(链路)。在 3.2 节的学习中已知，一个交换单元入线与出线的关系可以用连接函数来表示，在多级交换网络中不同级交换单元间的拓扑连接也可以用连接函数来表示，这也被称为拓扑描述规则。因此，从数学的观点来看，多级交换网络由一组连接函数所组成，包括各级交换单元本身的连接函数和各级之间链路的连接函数，以此实现交换网络的入线与出线之间的某种映射关系。

2. 内部阻塞

(1) 内部阻塞的基本概念。多级交换网络会出现内部阻塞问题。如图 3.24 所示，在一个 $nm \times nm$ 的两级交换网络中，它的第 1 级是由 m 个 $n \times n$ 的交换单元构成的，第 2 级是由 n 个 $m \times m$ 的交换单元构成的，第 1 级同一交换单元不同编号的出线分别接到第 2 级不同交换单元相同编号的入线上。交换网络的 nm 条入线中的任何

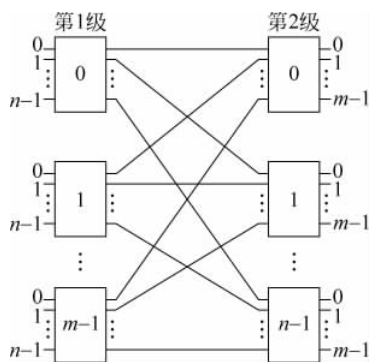


图 3.24 $nm \times nm$ 两级交换网络

一条均可与 nm 条出线中的任一条接通，因而它相当于一个 $nm \times nm$ 的单级交换网络。

与单级交换网络相比,两级交换网络有两个重要的特点。首先,两级交换网络每一对出线、入线的连接需要通过 2 个交换单元和 1 条级间链路来实现,增加了控制交换单元和搜寻空闲链路的难度。其次,在单级交换网络中,只要有一对出线、入线空闲,两者即可接通。但在两级交换网络中,由于第 1 级的每一个交换单元与第 2 级的每一个交换单元之间仅存在一条链路,因此在任何时刻一对交换器之间只能有 1 对出线、入线接通。例如,当第 1 级 0 号交换单元的 0 号入线与第 2 级 1 号交换单元的 $m-1$ 号出线接通时,第 1 级 0 号交换单元的任何其他入线都无法再与第 2 级 1 号交换单元的其余出线接通。

这种出线、入线空闲,因交换网络级间链路被占用而无法接通的现象称为多级交换网络的内部阻塞。若用计算机的术语,阻塞也可称为冲突,即不同入线上的信号试图同时占用同一条链路。

单级交换网络不存在内部阻塞,而且它的控制比多级交换网络简单,时延短(因为时延与级数成正比)。那么,为什么实际使用的大多是多级交换网络呢?一般而言,交换网络中交叉点越多,成本越高,建立连接的路径也越多,阻塞的机会也越少,连接能力也就越强。交换网络拓扑设计的总目标就是在满足一定连接能力的要求下,尽量最小化交叉点数。容量相同的多级交换网络与单级交换网络比较,交叉点数会大大减少。例如,图 3.24 中的 $nm \times nm$ 两级交换网络共有交叉点 $n \times n \times m + m \times m \times n$ 个,而 $nm \times nm$ 单级交换网络的交叉点数目为 $nm \times nm$ 个。现设 $n=m=8$,则一个 64×64 的单级交换网络,交叉点数目为 $64 \times 64 = 4096$ 个;而若是两级交换网络,有交叉点 $8 \times 8 \times 8 + 8 \times 8 \times 8 = 1024$ 个。而且,交叉点数目会随着入线、出线数的增加而迅速增加。

(2) 无阻塞交换网络。研究无阻塞交换网络的目的是尽量减少,以至于最后消除多级交换网络的内部阻塞。下面给出三种无阻塞交换网络的概念。

① 严格无阻塞网络。不管网络处于何种状态,任何时刻都可以在交换网络中建立一个连接,只要这个连接的起点、终点是空闲的,而不会影响网络中已建立起来的连接。

② 可重排无阻塞网络。不管网络处于何种状态,任何时刻都可以在一个交换网络中直接或对已有的连接重选路由来建立一个连接,只要这个连接的起点和终点是空闲的。

③ 广义无阻塞网络。指一个给定的网络存在着固有的阻塞的可能,但有可能存在着一种精巧的选路方法,使得所有的阻塞均可避免,而不必重新安排网络中已建立起来的连接。

因为目前真正实用的广义无阻塞网络非常少见,所以本书只讨论严格无阻塞网络和可重排无阻塞网络。

3.4.2 TST 网络

1. 网络结构

TST(时分-空分-时分)网络是在电路交换系统中经常使用的一种典型的交换网络,由共享存储器型交换单元的 T 接线器和开关结构的 S 接线器连接而成,如图 3.25 所示。

TST 是三级交换网络,两侧为 T 接线器,中间一级为 S 接线器,S 接线器的出、入线数决定于两侧 T 接线器的数量。设每侧有 32 个 T 接线器,T 接线器的容量为 512,则网络结构如图 3.26 所示。输入侧话音存储器用

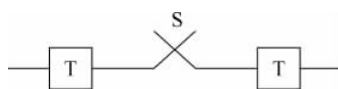


图 3.25 TST 网络

$SMA_0 \sim SMA_{31}$ 表示,控制存储器用 $CMA_0 \sim CMA_{31}$ 表示;输出话音存储器用 $SMB_0 \sim SMB_{31}$ 表示,控制存储器用 $CMB_0 \sim CMB_{31}$ 表示。

S 接线器为 32×32 矩阵,对应连接到两侧的 T 接线器,并采用输出控制方式,控制存储器有 32 个,用 $CMC_0 \sim CMC_{31}$ 表示。输入侧接线器采用顺序写入,控制读出方式,输出侧 T 接线器则采用控制写入,顺序读出方式。

2. 工作原理

下面以实现第 0 个 T 接线器的时隙 2 与第 31 个接线器的输出时隙 511 的交换为例来说明 TST 网络的工作原理,如图 3.26 所示。

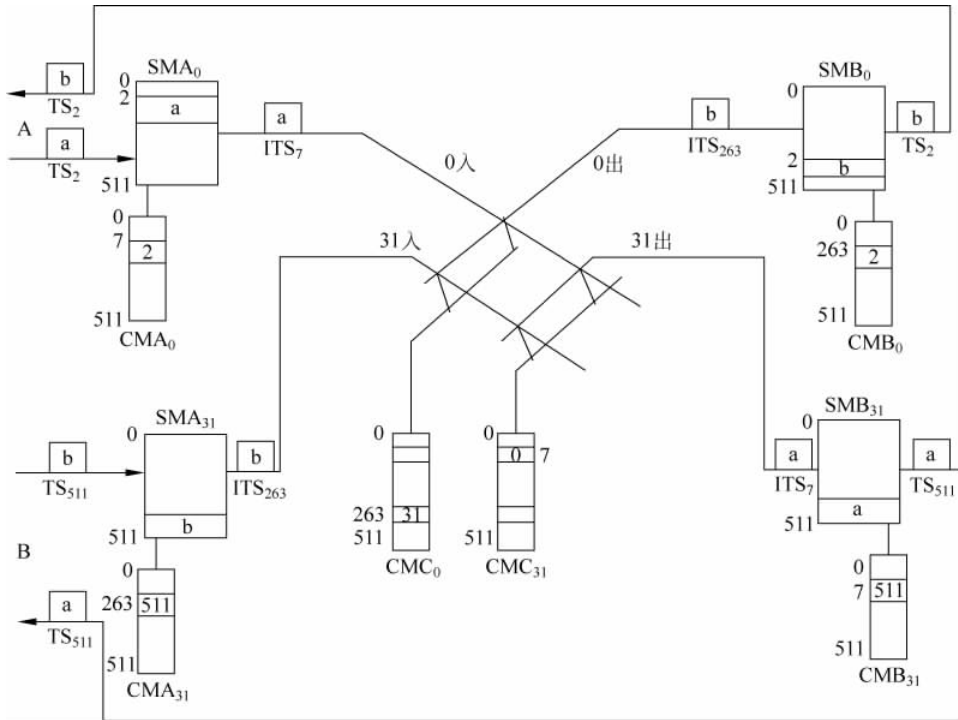


图 3.26 TST 交换网络

(1) 通路建立。首先,交换机要选择一个内部时隙做交换用,假设选为时隙 7。接着,交换机在 CMA_0 的单元 7 中写入 2,在 CMB_{31} 的单元 7 中写入 511,在 CMC_{31} 的单元 7 中写入 0,这些单元 7 均对应于时隙 7,即内部时隙。

于是,在接线器 0 的时隙 2 输入的用户信息,在 CMC_0 的控制下于时隙 7 读出。在 S 接线器中,由于在 CMC_{31} 的单元 7 写入 0,所以在内部时隙 7 所对应时刻,第 32 条(编号 31)输出线与第 1 条(编号 0)输入线的交叉点接通,于是用户信息就通过 S 级,并在 CMB_{31} 的控制下,写入 SMB_{31} 的单元 511。当输出时隙 511 到达时,存入的用户信息就被读出,送到第 32 个(编号 31)T 接线器的输出线,完成了交换连接。

(2) 双向通路的建立。通常用户信息要双向传输,而 TST 网络为单向交换网络,这意味着对于每一次交换连接,在 TST 网络中应建立来去两条通路。

结合图 3.26 来看,称 T 接线器 0 的输入时隙 2 为 A 方,T 接线器 31 的输出时隙 511 为 B 方,则除了建立 A 到 B 的通路外,还应建立 B 到 A 的通路,以便将 SMA_{31} 中输入时隙 511 中的内容传送到 SMB_0 的输出时隙 2 中去。为此,必须再选用一个内部时隙,使 S 级的人线 31 与出线 0 在该时隙接通。

为便于选择和简化控制,可使两个方向的内部时隙具有一定的对应关系,通常可相差半帧。设一个方向选用时隙 7,当一条复用线上的内部时隙数为 512(帧长为 512)时,另一方面选用第 $7+512/2=263$ 时隙。在计算时,应以 512 为模。这种相差半帧的方法可称为反相法。此外,也可以采用奇、偶时隙的方法,当一个方向选用偶数时隙 $2P(P=0,1,2,\dots)$ 时,另一个方向总是选用奇数时隙 $2P+1$ 。

对照图 3.26,如果采用反相法,为建立 B 到 A 的通路,应在以下控制存储器中写入适当内容。

CMA_{31} : 单元 263 中写入 511。

CMC_0 : 单元 263 中写入 31。

CMB_0 : 单元 263 中写入 2。

3.4.3 CLOS 网络

1. CLOS 网络的基本概念

为了降低多级交换网络的成本,长期以来人们一直在寻求一种交叉点数随入线、出线数增长较慢的交换网络,其基本思想都是采用多个较小规模的交换单元按照某种接线方式连接起来形成多级交换网络。CLOS 首次构造了一类如图 3.27 所示的 $N \times N$ 的无阻塞交换网络。它采用足够多的级数,对于较大的 N ,能够设计出一种无阻塞网络,其交叉点数增长的速度小于 $N^{1+\epsilon}$ ($0 < \epsilon < 1$)。也就是说,使用 CLOS 网络,既可以减少交叉点数,又可以做到无阻塞。

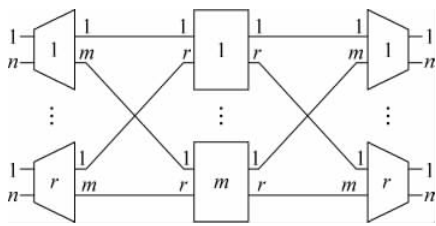


图 3.27 三级 CLOS 网络

由图 3.27 可知 CLOS 网络的结构:两边各有 r 个对称的 $n \times m$ 矩形交换单元和 $m \times n$ 矩形交换单元,中间是 m 个 $r \times r$ 的方形交换单元。每一个交换单元都与下一级的各个交换单元有连接且仅有一条连接,因此,任意一条入线与出线之间均存在一条通过中间级交换单元的路径。 m, n, r 是整数,决定交换单元的容量,称为网络参数,并记为 $C(m, n, r)$ 。

2. 三级 CLOS 网络无阻塞条件

(1) CLOS 网络的严格无阻塞条件。一个 CLOS 网络严格无阻塞的条件是当且仅当 $m \geq 2^{n-1}$ 。

参见图 3.27 可知,在最不利的情况下,中间级会有 $(n-1) \times 2$ 个交换单元被占用,因此,中间级至少要有 $(n-1) \times 2 + 1 = 2n-1$ 个交换单元,即 $m \geq 2n-1$ 时,可确保无阻塞,所以,对于 $C(m, n, r)$ CLOS 网络,如果 $m \geq 2n-1$,则此网络严格无阻塞。

(2) CLOS 网络的可重排无阻塞条件。对于三级 CLOS 网络 $C(m, n, r)$,可重排无阻塞

的充分必要条件是 $m \geq n$ 。

图 3.28 表示了一个 $m=n=r$ 的三级可重排无阻塞 CLOS 网络。

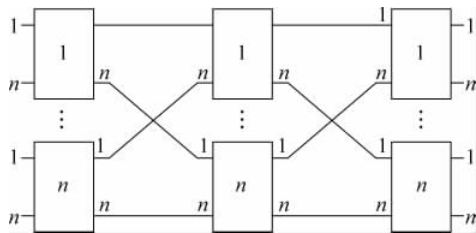


图 3.28 三级可重排无阻塞 CLOS 网络

严格无阻塞网络的概念比较好理解,而可重排无阻塞网络就有些抽象。为了便于理解,下面用一个简化的例子来说明可重排无阻塞网络的基本原理。

假设有一个 4×4 的三级可重排无阻塞 CLOS 网络,如图 3.29 所示。其中, $m=n=r=2$,显然,它不满足严格无阻塞的条件。仅考虑点到点连接,则这种交换在数学上等效于对 4 个数的排列置换。但是,这种网络并不能实现入线和出线之间所有可能的置换。例如,参照图 3.29,欲作如下的交换,其连接函数的排列表示为:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 1 & 3 \end{pmatrix}$$

如图 3.29(a)所示, $1 \rightarrow 4$ 的连接已经过路径 C1, $3 \rightarrow 1$ 的连接已经过路径 C2,那么 $2 \rightarrow 2$ 和 $4 \rightarrow 3$ 的连接就无法建立,即发生了阻塞。但可重新调整已有 $1 \rightarrow 4$ 和 $3 \rightarrow 1$ 的连接以建立 $2 \rightarrow 2$ 和 $4 \rightarrow 3$ 的连接。为此,如图 3.29(b)所示,不改变原来的 $1 \rightarrow 4$ 的路径 C1,而将 $3 \rightarrow 1$ 的路径改为 CC2,那么 $2 \rightarrow 2$ 和 $4 \rightarrow 3$ 的连接就可以建立(如图 3.29(b)中虚线所示)。这样总共改变了原有连接 1 次。可见,对于如图 3.29 所示的 $m=n=r=2$ 的三级 CLOS 网络,改变原有连接 1 次,就可以实现所指定的无阻塞连接,但需要有一套重新安排路径的算法。

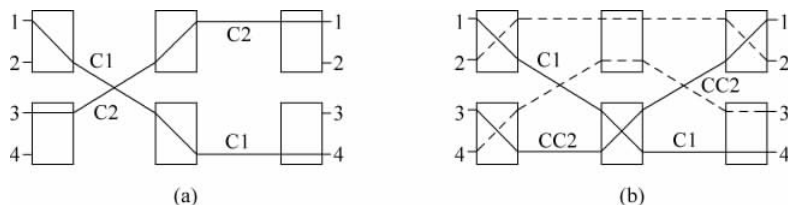


图 3.29 $m=n=r=2$ 三级可重排 CLOS 网络

3. 非对称 CLOS 网络

若 CLOS 网络的入线数为 M ,出线数为 N , $M \neq N$,则称其为非对称 CLOS 网络。三级非对称 CLOS 网络记为 $V(m, n_1, r_1, n_2, r_2)$,它表示第 1 级有 r_1 个输入交换单元,其中每个单元都具有 n_1 条入线和 m 条出线,且 $M=r_1 n_1$;第 3 级有 r_2 个输出交换单元,其中每个单元都具有 n_2 条出线 and m 条入线,且 $N=r_2 n_2$;中间级有 m 个 $r_1 \times r_2$ 的交换单元。如果 $n_1 = n_2, r_1 = r_2$,该网络就简化成图 3.27 所示的对称三级 CLOS 网络 $C(m, n, r)$ 。

对于 $V(m, n_1, r_1, n_2, r_2)$ 三级非对称 CLOS 网络, 严格无阻塞的条件是 $m \geq n_1 + n_2 - 1$, 此网络实现可重排无阻塞的条件是 $m \geq \max(n_1, n_2)$ 。

3.4.4 BANYAN 网络

常常把最小的交换单元, 即 2×2 的交换单元称为交叉连接单元, 如图 3.11 所示, 这里将它改画为图 3.30 所示的形式。它有 2 条入线和 2 条出线, 可以处于平行连接或交叉连接两个状态, 分别完成不同编号的入线和出线之间的连接, 达到 2 条入线中的任意入线和 2 条出线中的任意出线可进行交换的目的。

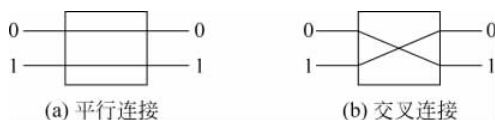


图 3.30 2×2 交换单元

以 2×2 的交换单元为基础构件构成的多级互连网络得到了高度重视, BANYAN 就是由若干个 2×2 的交换单元组成的多级交换网络。它最早用于并行计算机领域, 与电话交换毫不相干, 但后来在 ATM 交换机中得到广泛应用。它适用于统计复用信号的交换, 即根据信号中携带的出线地址信息在交换网络中建立通道, 是进行信元交换的有效方法之一。

1. BANYAN 网络的递归构造

将 4 个 2×2 的交换单元连接起来可以得到一个 4×4 的二级网络, 如图 3.31 所示。

值得注意的是, 这种交换网络有一个特点, 就是它的每一条入线到每一条出线都有一条路径, 并且只有一条路径。例如, 在图 3.31 中用虚线画出了由入线 0 到出线 0 和由入线 3 到出线 1 的路径。

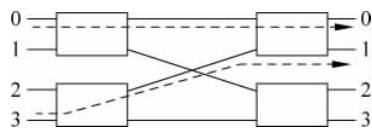


图 3.31 4×4 的二级网络

同样, 如果使用 12 个 2×2 的交换单元就可以构成一个 8×8 的三级交换网络, 其第 1 级和第 2 级之间的连接为子洗牌连接, 第 2 级和第 3 级之间的连接为均匀洗牌连接, 如图 3.32 所示, 它同样具备上述特点。

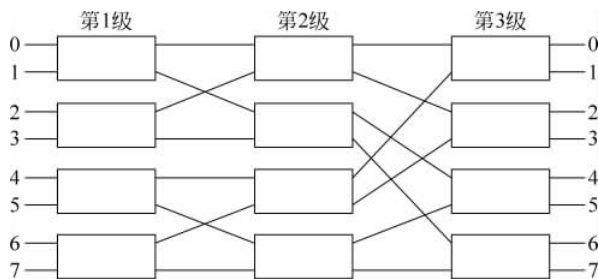


图 3.32 8×8 的交换网络

观察图 3.32, 可以把前面的 8 个 2×2 的交换单元看成两个 4×4 的二级交换网络, 后面再加上一级 4 个 2×2 的交换单元以构成 8×8 的三级交换网络。

这种将多个 2×2 的交换单元分成若干级,并按照一定的级间连接方式构成的多级交换网络就称为 BANYAN 网络。

用 2×2 的交换单元构成 BANYAN 网络的具体形式可以有多种,图 3.33 中的 4 种交换网络均为 8×8 的 BANYAN 网络。

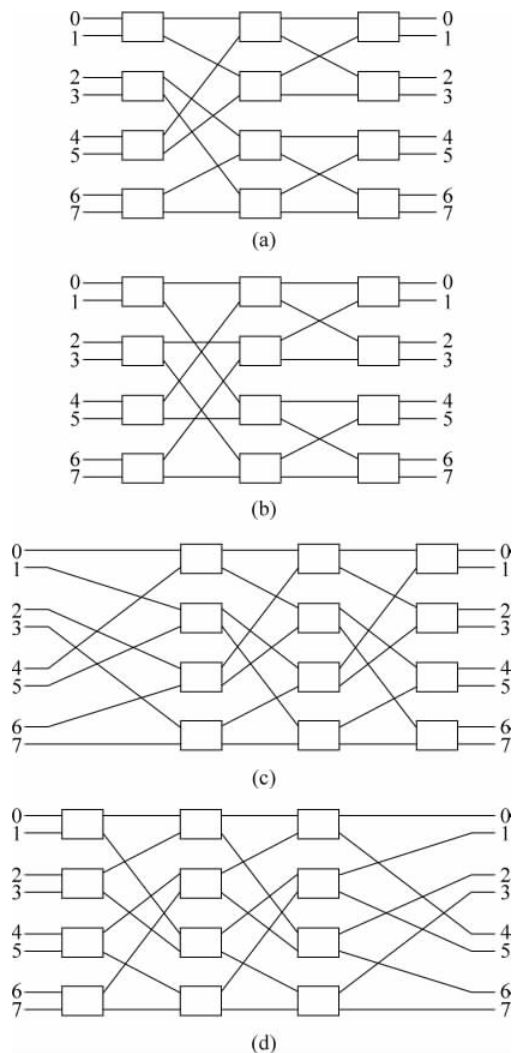


图 3.33 8×8 的 BANYAN 网络的连接形式

参照前面讲述的 4×4 的 BANYAN 网络和 8×8 的 BANYAN 网络的实例,发现 BANYAN 网络的结构很有规则,利用递归的方法,可以用较小的 BANYAN 网络构成较大的 BANYAN 网络,其构成方法如下所述。

假设已有 $N \times N$ 的 BANYAN 网络,要构成 $2N \times 2N$ 的 BANYAN 网络,则可使用 2 组 $N \times N$,再加上 1 组 N 个 2×2 的交换单元构成。第一组 $N \times N$ 的 N 条出线分别与 N 个 2×2 的某一入线相连,第二组 $N \times N$ 的 N 条出线分别与 N 个 2×2 的另一入线相连。例如,用 8×8 的 BANYAN 网络构成 16×16 的 BANYAN 网络时,可用 2 组 8×8 的 BANYAN 网络,加上 8 个 2×2 的交换单元构成,共需要 32 个 2×2 的交换单元。

对于 $N \times N$ 的 BANYAN 网络,其级数约为 $M = \log_2 N$,每一级需要 $N/2$ 个 2×2 的交换单元,共需要 $(N/2)\log_2 N$ 个 2×2 的交换单元。

2. 工作原理和性质

BANYAN 网络非常有规则的构造方法使其具有许多重要的性质:唯一路径性质、自选路由性质、编号数字置换性质和内部阻塞性质。下面分别进行讨论。

(1) 唯一路径。在图 3.31 的 4×4 的 BANYAN 网络中,已知它的每条入线与每条出线之间都有一条路径并且只有这一条路径。这就是 BANYAN 网络的唯一路径特点。对于这一点,可以用类似于数学归纳法的办法来给予证明。

首先, 4×4 的 BANYAN 网络只有唯一路径。假设它对 $N \times N$ 的 BANYAN 网络也成立。那么,对于 $2N \times 2N$ 的 BANYAN 网络来说,因为 $2N \times 2N$ 的 BANYAN 网络用前述的方法来构成,显然从 $N \times N$ 的 BANYAN 网络到最后一级 2×2 的交换单元中共有 $2N$ 条路径,并且要到其中某一条出线必须经过其中唯一的一条路径。可见这样构成的 $2N \times 2N$ 的 BANYAN 网络,仍然是在每条入线和每条出线间都存在一条路径并且只有唯一的一条路径。这就证明了上述特点对任何 N 都成立。

(2) 自选路由。由 BANYAN 网络的构成方法可知,一个 BANYAN 网络的入线和出线数相等,并且若假设其为 N ,则必有 $N = 2^M$, M 为级数。再设 N 条入线和 N 条出线分别按顺序编号为十进制数 $0, 1, 2, \dots, N-1$,则必定可用 M 位二进制数字来区别 N 条入线和 N 条出线。

由 BANYAN 网络的唯一路径特点可知,从 BANYAN 网络的任意一条入线到全部 N 条出线共有 N 个连接,这 N 个连接可以用出线的 N 个不同的编号表示,即其中的每一条连接都可以用 M 位二进制数字表示。

一个 $N \times N$ 的 BANYAN 网络共有 M 级,每一级有 $N/2$ 个 2×2 的交换单元。如果把每个交换单元的两条入线和两条出线都依照图 3.34 的上下位置分别编号为 0 和 1。考虑一个由入线 i 到出线 j 的连接,那么这个连接由 M 个属于不同级的交换单元顺序连接组成。从第 1 级开始按顺序排列该连接经过的各个交换单元的出线编号(0 或 1),则恰好组成一个 M 位二进制数字。这 M 位二进制数字正是出线 j 的编号。换一个角度说,BANYAN 网络的每一级正好对应 M 位二进制数字中的一位。从任意一条入线开始,逐个读出各级交换单元相应出线的数字 0 或 1,那么这些数字组合起来就是出线的号码。可以说明,这个数字 N 种不同的取值正好表示了从同一条入线出发的 N 个不同的连接或路径。图 3.34 是一个 8×8 的 BANYAN 网络,标出了全部 8 条通往出线 3 上的路径,每条路径上三个交换单元的出线号码分别是 0、1、1,组合起来的二进制数字 011 正是 BANYAN 网络的出线号码 3。

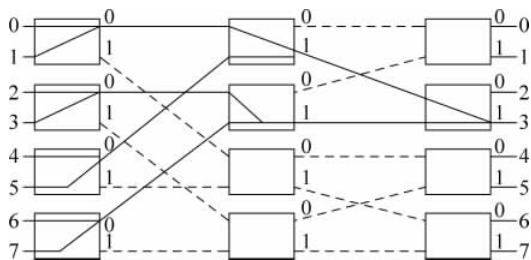


图 3.34 自选路由示例

显然,如果把出线的编号(或称为地址)以二进制数字的形式送到交换网络,那么每一级上的 2×2 的交换单元就只需根据这个地址中的某一位就可以判别应将其送往哪一条出线上。例如,第 1 级上的 2×2 的交换单元只读地址的第 1 位,第 2 级上的 2×2 的交换单元中只读地址的第 2 位……当所有地址都被读完,这个信元就已经被送到相应的出线上了。显然,如果能够利用这一点,则交换网络的控制部分就可以变得十分简单,这显然也是一个很大的优点。这就是自选路由,即给定出线地址,不用外加控制命令,就可选择到出线。对于统计复用信号,每个信元均携带有控制信息,包括路由信息,即出线地址,使用 BANYAN 网络可以很方便地进行交换。

(3) 编号数字置换。像任何交换单元及交换网络一样,BANYAN 网络的入线和出线可以都编上号码,并用一组数字的排列或置换来表示它的一种连接方式。例如,对于 4×4 的 BANYAN 网络,给定连接函数的排列表示为

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 0 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

这表示,4 条入线和 4 条出线分别编号为 0、1、2、3,入线 0 连接到出线 3,入线 1 连接到出线 0,入线 2 连接到出线 2,入线 3 连接到出线 1,如图 3.35 所示。

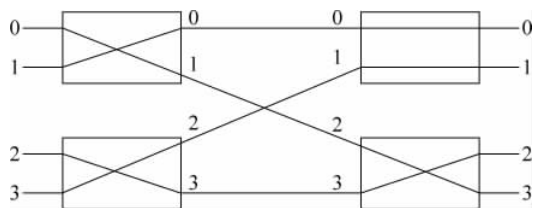


图 3.35 编号数字置换示例

虽然任何一个交换单元及交换网络都可以用置换来表示其连接方式,但对于 BANYAN 网络而言,使用置换有特别的意义。这是因为,BANYAN 网络每级由 2×2 的交换单元组成,每一个 2×2 的交换单元都完成两个数字的一次置换,每一级都完成 N 个数字的一次置换。换句话说,在 BANYAN 网络中,表示整个交换网络连接方式的置换由各级及级间逐次置换构成。例如,图 3.35 中连接方式的实现是以下各级及级间置换的叠加。

第 1 级交换单元完成的连接置换为

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 3 & 2 \end{pmatrix}$$

第 1 级交换单元和第 2 级交换单元之间完成的连接置换为

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 2 & 1 & 3 \end{pmatrix}$$

第 2 级交换单元完成的连接置换为

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 1 & 3 & 2 \end{pmatrix}$$

总结上述 3 个特点,下面以 8×8 的 BANYAN 网络为例,简要说明信号通过 BANYAN 网络交换时的工作过程,如图 3.36 所示。

当 010,0111011(其中 010 为路由标记,表示出线编号;0111011 为需交换的信号)进入

交换网络的入线 4 时,第 1 级交换单元根据接收的第 1 位决定比特流的出线,然后将第 1 位丢弃,重复上述操作直至到达相应出线。在第 1 级中比特流输出到 0 线,第 2 级中比特流输出到 1 线,第 3 级输出到 0 线,正好到达指定出线且路由标记已丢弃,仅剩用户信号流。

显然,BANYAN 网络具有简单、模块化、可扩展性好及信元交换时延小等优点,但它也存在着明显的问题,即内部阻塞。下面讨论 BANYAN 网络的内部阻塞问题。

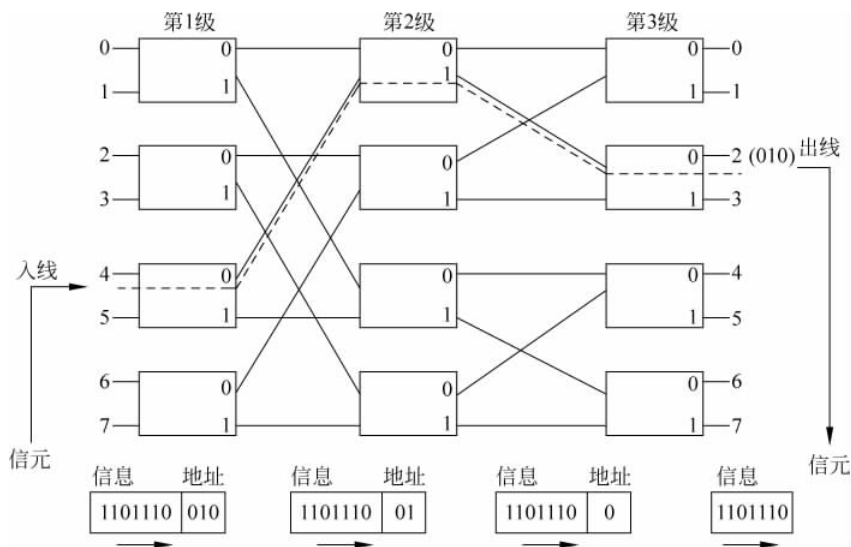


图 3.36 网络工作原理示例

(4) BANYAN 网络的内部阻塞。BANYAN 网络不是 CLOS 网络,它不符合 CLOS 网络的无阻塞条件,因此对 BANYAN 网络的内部阻塞问题要重新进行讨论。

当 BANYAN 网络中某一个 2×2 的交换单元的两条入线同时要向同一条出线发送信元时,就会发生阻塞。根据发生阻塞的 2×2 的交换单元在交换网络中的位置,内部阻塞会出现下面两种情况。

① 发生阻塞的 2×2 的交换单元在交换网络的最后一级,即交换网络的两条入线或多条入线试图同时占用同一条出线,这称为出线阻塞。例如在图 3.34 中,入线 0~7 都要同时接到出线 3。由于出线阻塞不是由于交换网络本身的缺陷造成的,采用输入或输出缓冲排队方法可以很好地解决,所以内部阻塞通常不包括出线阻塞。

② 发生阻塞的 2×2 的交换单元在交换网络的各级(除最后一级之外),例如在图 3.37 中,假设有 8×8 的 BANYAN 网络,在入线 0、1、4、6 上同时接收到信元,其路由标记分别为 3、7、2、4,即此时需要建立以下连接。

连接 1: 0→3;

连接 2: 1→7;

连接 3: 4→2;

连接 4: 6→4。

当连接 1 和连接 3 同时到达第 2 级交换单元时,必然会同时选择该交换单元中的出线 1,于是发生内部阻塞(如图 3.37 中箭头所示)。如果不采取适当措施,就会造成信元丢失,

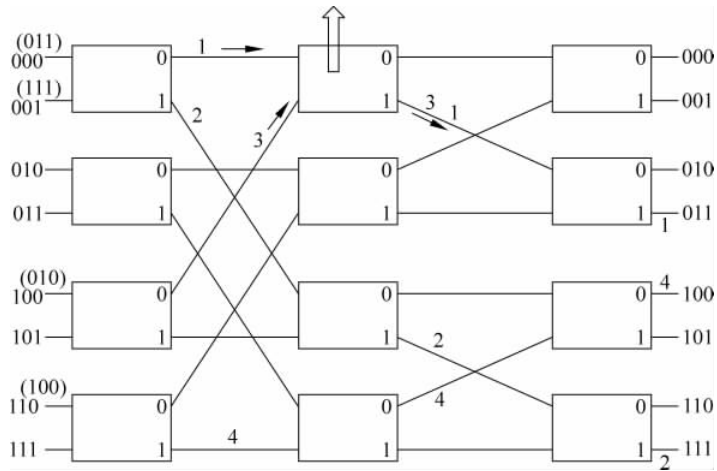


图 3.37 内部阻塞示例

使入线 4 的信息未送到出线 2。

应该注意的是, BANYAN 网络的内部阻塞发生在 2×2 的交换单元内部, 而不是级与级之间的链路上。

BANYAN 网络不仅有内部阻塞, 而且这种内部阻塞随着阵列级数的增加而增加。当级数太多时, 内部阻塞就会变得不可容忍。因为交换网络大了, 级数就会增加, 所以, 由于内部阻塞, BANYAN 网络不可能设计得很大。

内部阻塞是 BANYAN 网络必须解决的一个问题, 可考虑如下解决办法。

① 内部阻塞是在 2×2 的交换单元的两条入线要向同一个出线上发送信元时产生的, 在最坏的情况下, 这个概率是 $1/2$ 。但是, 如果入线上并不总有信号, 这个概率就会下降。因此, 可以通过适当限制入线上的信息量或加大缓冲存储器来减少内部阻塞。

② 可以通过增加多级交换网络的多余级数来消除内部阻塞。例如, 把 8×8 的 BANYAN 网络的级数由 3 增加到 5, 内部阻塞就可以消除。事实上, 有人已经证明, 要完全消除 $N \times N$ 的 BANYAN 网络 (其级数为 $M = \log_2 N$) 的内部阻塞, 级数至少需要 $2\log_2 N - 1$ 级。

③ 可以增加 BANYAN 网络的平面数, 构成多通道交换网络。

④ 使用排序 BANYAN 网络, 这是解决 BANYAN 网络内部阻塞问题的一个重要方法。

排序 BANYAN 网络的内容将在下面进行详细讨论。

3. 排序 BANYAN 网络

经过研究发现, 只要 BANYAN 网络同时输入的全部数据块 (信元) 的出线地址 (路由标记) 单调排列 (即单调递增或单调递减), 则内部阻塞不存在。因此, 为了满足 BANYAN 网络无阻塞条件, 解决 BANYAN 网络的内部阻塞, 可在 BANYAN 网络前加入排序网络, 构成排序 BANYAN 网络。

(1) 排序网络。一个 N 输入的排序网络也称为 N 排序器, 是一种满足下述条件的具有 N 个输出的开关阵列, 即给定输入:

$$I = \{i_0, i_1, \dots, i_{n-1}\}$$

对于输入 I 的任意组合, 所形成的输出为

$$O = \{o_0, o_1, \dots, o_{N-1}\}, \quad \text{且} \quad o_0 \leq o_1 \leq \dots \leq o_{N-1}$$

可见, O 是 I 的一种置换, 即排序网络是将输入端原先无序的数按照大小关系整理成有序的序列输出。

前面所讲的交换网络实际上是将入线地址按照目的地址的要求映射到所希望的出线上。所以, 从置换的角度来讲, 排序和交换两者在功能上极为相似。后面将会看到, 这种功能上的相似性也导致了两者在拓扑结构上的相似性。

一种常用的构成排序网络的开关是由 BATCHER 首先定义的 2 排序器, 即 2×2 比较器, 也称为 BATCHER 比较器。由它构成的排序网络称为 BATCHER 排序网络。BATCHER 比较器如图 3.38 所示, 它实际上是一个两入线/两出线的比较交换单元, 将入线上的两个数字进行比较后, 高地址信元送到高端(H), 低地址信元送到低端(L), 当仅有一个信元时, 将它送到低端。

排序和交换的不同之处在于, 排序网络可对进入该网络的数据(而不是地址)进行排序, 以达到将原来任意顺序的数据整理成一个完全有序序列的目的。交换对地址进行映射, 以便将任一入线连接到任一出线。

求解排序问题常常用到的是软件排序算法, 如气泡排序、快速排序、堆排序、桶排序、基排序和归并排序等。求解排序问题的另一种方法是使用网络的办法, 即采用图 3.38 所示的比较器来构成一种能自动排列无序数的排序网络, 故也称为比较器网络。显然排序网络是直接执行排序算法的硬件实现方法。

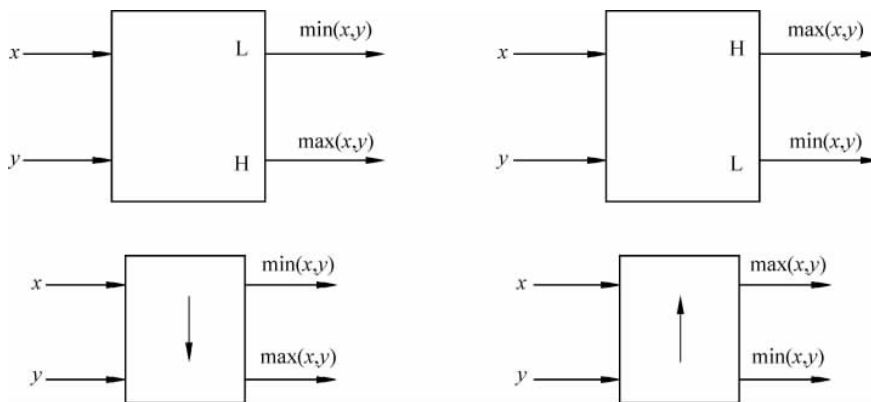


图 3.38 BATCHER 比较器及其两种表示方法

(2) BATCHER-BANYAN 网络。BATCHER-BANYAN 网络(简称 B-B 网)由 BATCHER 排序网和 BANYAN 网络组成。它用独具匠心的拓扑结构成功地避免了 BANYAN 网络的内部阻塞, 这是目前 ATM 交换机使用较多的一种网络。

一个 BATCHER-BANYAN 网络的例子如图 3.39 所示, BATCHER 排序网络和 BANYAN 网络之间采用洗牌连接, 共同构成 8×8 的交换网络。

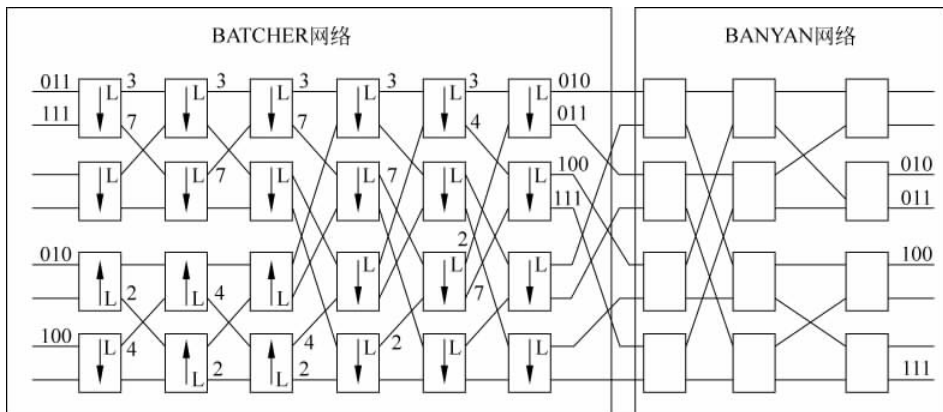


图 3.39 BATCHER-BANYAN 网络

假设入线 0、1、4、6 上同时接收到信元,其路由标记分别为 3、7、2、4,即此时需要在交换网络中建立以下 4 条连接。

连接 1: 0→3。

连接 2: 1→7。

连接 3: 4→2。

连接 4: 6→4。

若不使用排序网络,而直接使用 8×8 BANYAN 网络,则如图 3.37 所示,发生内部阻塞,造成信元丢失,连接 3 未成功。

现在,BANYAN 网络前加上 BATCHER 排序网,将交换网络的出线地址,即路由标记 3、7、2、4 首先送入排序网络进行排序。注意,经过排序网络的数据就是交换网络的出线地址,而不是入线编号。这样,排序网络将路由数据按顺序排列在 BATCHER 排序网络的出线上,图 3.39 中的路由标记 3、7、2、4 经 BATCHER 网排序后,2(010)出现在第 0 条出线上,出线 1、2、3 上分别是 3(011)、4(100)、7(111)。BATCHER 排序网络的出线再按顺序进入 BANYAN 网络,从而满足 BANYAN 网络无阻塞条件,消除了网络的内部阻塞。图 3.39 的 4 个输入信元均成功送到出线上。

排序 BANYAN 网络成功地消除了内部阻塞,但应注意它不能消除出线阻塞。为了消除出线阻塞,除了可以采用输入或输出缓冲排队方法外,在排序 BANYAN 网络中,还可以在排序网和 BANYAN 网络之间加一个阀门,即反馈线。当出现路由标记相同的信元时,选择级别高的放行,另一个送到排序网的输入端重新排队,并且提高这个信元的优先级,如图 3.40 所示。

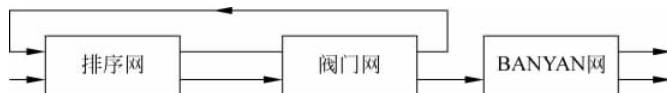


图 3.40 排序—阀门—BANYAN 网络基本结构

习题 3

3.1 在 PCM 的时分复用中,随着复用路数的增加,每帧包含的子支路数增加,那么每帧的时间长度是否会随之增加?为什么?

3.2 利用单向交换网络能否实现用户的双向通信?

3.3 T 接线器和 S 接线器的主要区别是什么?

3.4 为什么说 TST 网络是有阻塞的交换网络?

3.5 试比较 CLOS 网络的内部阻塞与 BANYAN 网络的内部阻塞有何不同。

3.6 能否举出一个可重排的 CLOS 网络例子?

3.7 如图 3.41 所示,有一空间接线器有 8 条入线和 8 条出线,编号为 0~7,每条出入线上有 1024 个时隙,现在要求在时隙 10 接通 A 点,时隙 20 接通 B 点,试就输入控制和输出控制两种情况,在控制存储器的问号处填上相应的数字。

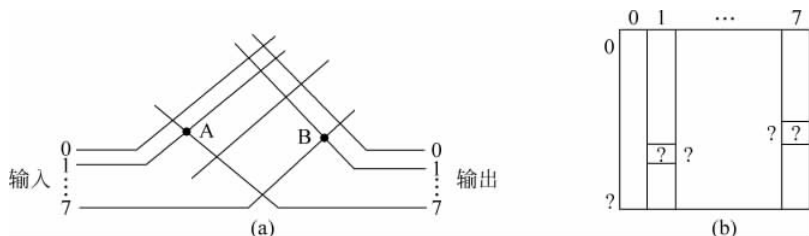


图 3.41 习题 3.7 图

3.8 有一时间接线器,如图 3.42 所示,设话音存储器有 512 个单元,现要进行时隙交换 $TS_{10} \rightarrow TS_{28}$, 试在问号处填入适当的数字(分输入控制和输出控制两种情况)。

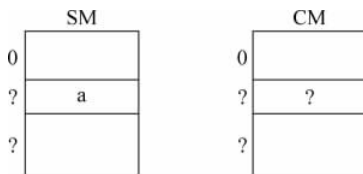


图 3.42 习题 3.8 图

3.9 某 TST 型交换网络如图 3.43 所示,有 32 条输入输出线(HW),每条线的复用度为 512。已知用户 A 占 HW_0 的 TS_2 , 话音信息为 a, 用户 B 占 HW_{31} 的 TS_{511} , 话音信息为 b。现要进行 $HW_0 TS_2$ 与 $HW_{31} TS_{511}$ 的双向交换,已知 $A \rightarrow B$ 方向占用了内部时隙 7。设输入侧 T 接线器采用输入控制方式,输出侧 T 接线器采用输出控制方式,S 接线器采用输出控制方式, $B \rightarrow A$ 方向的内部时隙按反相法确定。在上述控制方式的情况下,相应存储器中哪一个单元应填入什么数?(即填写下图中“?”处内容。)

3.10 构造 128×128 的三级严格无阻塞 CLOS 网络。要求:入口级选择具有 16 条入线的交换单元,出口级选择具有 16 条出线的交换单元。画出该网络最经济的连接示意图,要求标出各级交换单元的个数以及入出线条数。

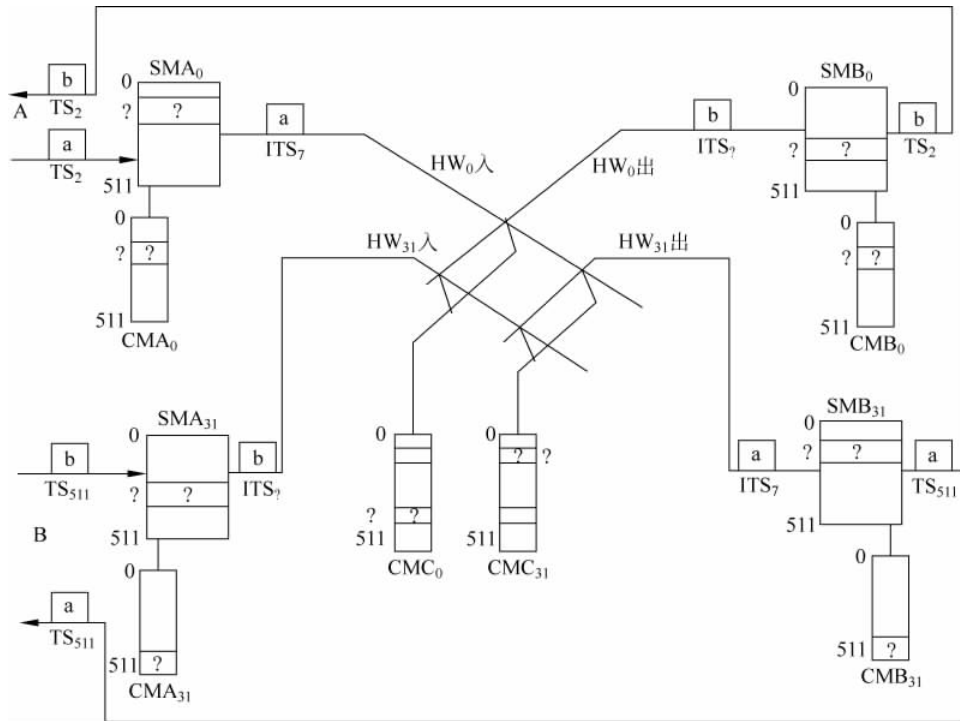


图 3.43 习题 3.9 图

3.11 构造一个 8×8 的三级 BANYAN 网络,第 1 级和第 2 级之间为蝶式连接,第 2 级和第 3 级之间为子蝶式连接。画图并标出信元从输入链路的 7 号端口到输出链路 2 号端口的路径。