

3.4 通道处理机

工作原理

把对外围设备的管理工作从**CPU**分离出来。

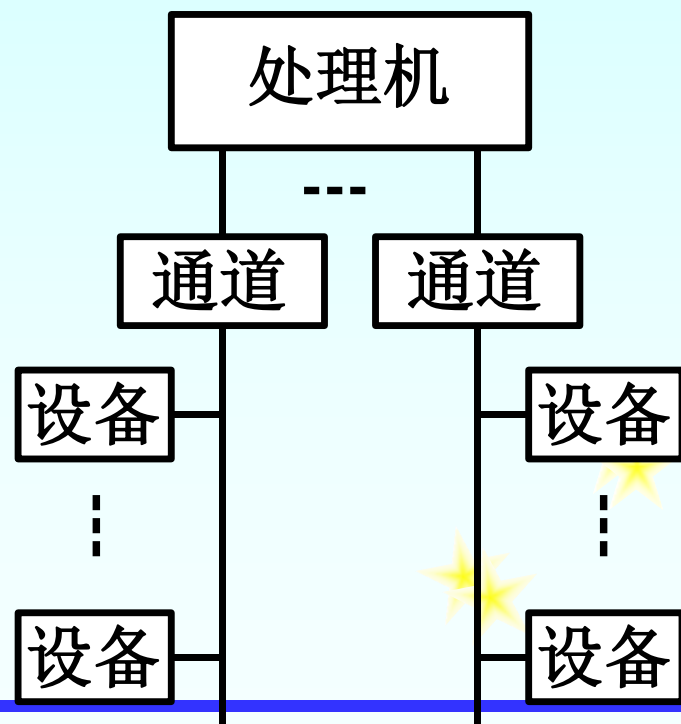
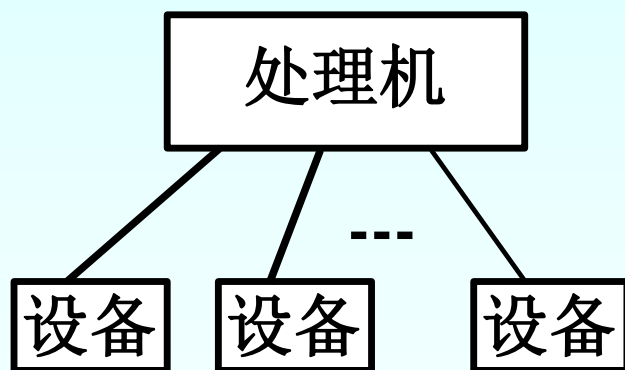
从**IBM 360**系列机开始，普遍采用通道处理机技术。



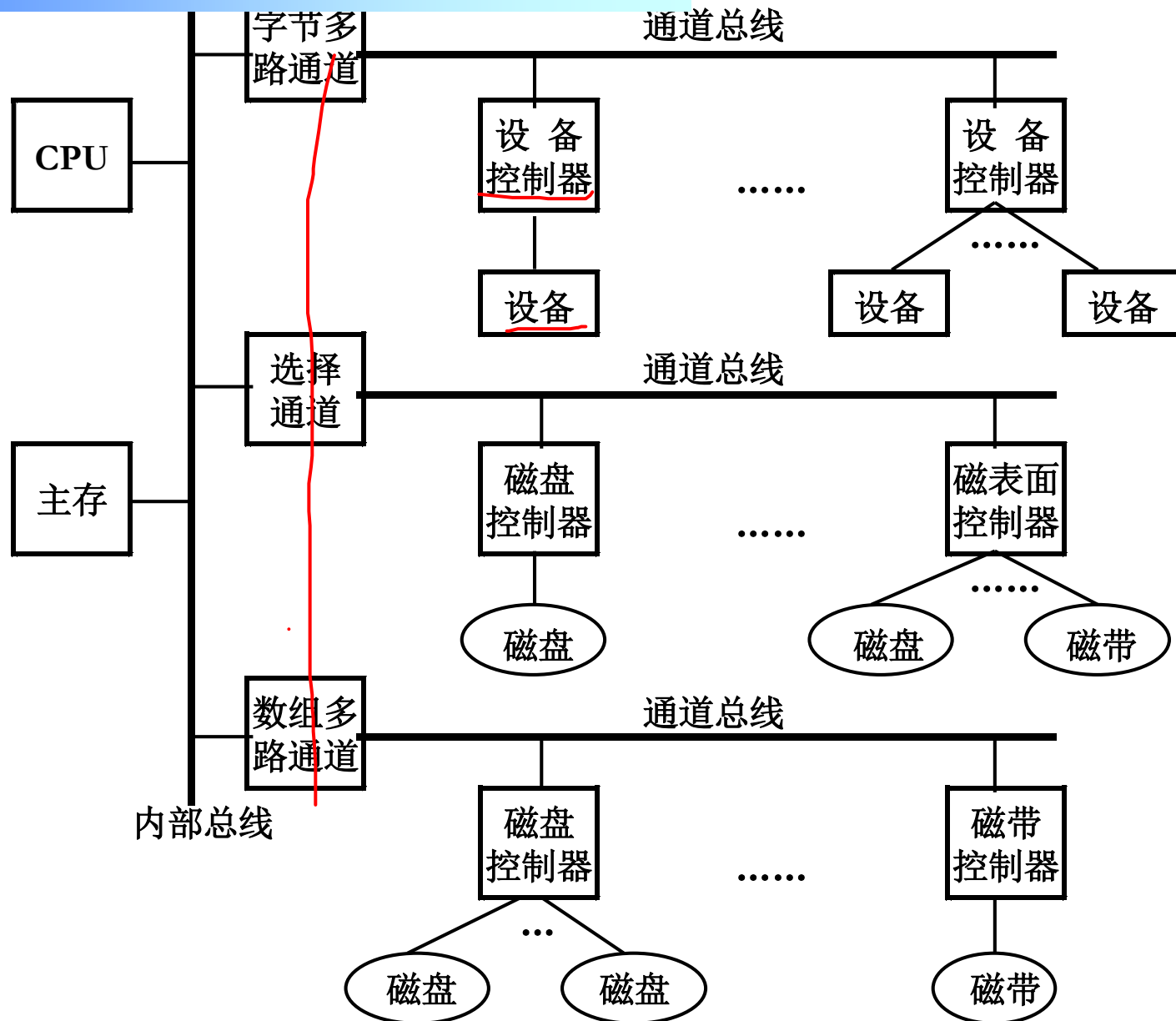
3.4 通道处理机

处理机与外部设备的连接方式

- (1) 直接连接
- (2) 通道处理机
- (3) 输入输出处理机



3.4 通道处理机



三种类型的通道与 CPU、设备控制器和外围设备的连接关系



3.4 通道处理机

3.4.1 通道的作用和功能

1、三种基本输入输出方式存在的问题：

(1) **CPU**的输入输出负担很重，不能专心于用户程序的计算工作。

低速外部设备，每传送每个字符都由**CPU**执行一段程序来完成。

高速外围设备的初始化、前处理和后处理等工作需要**CPU**来完成。

(2) 大型机中的外围设备台数很多，但一般并不同时工作。让**DMA**控制器能被多台设备共享，提高硬件的利用率。



3.4 通道处理机

2、通道的主要功能：

- 接受**CPU**发来的指令，选择一台指定的外围设备与通道相连接。
- 执行**CPU**为通道组织的通道程序。
- 管理外围设备的有关地址。
- 管理主存缓冲区的地址。
- 控制外围设备与主存缓冲区间数据交换的个数。
- 指定传送工作结束时要进行的操作。
- 检查外围设备的工作状态，是正常或故障。
- 在数据传输过程中完成必要的格式的变换。

3.4 通道处理机

3.通道的硬件组成

- 通道的硬件包括相关的寄存器和控制逻辑。主要的寄存器有：数据缓冲寄存器、主存地址计数器、传输字节数计数器、通道命令字寄存器、通道状态字寄存器、通道地址字寄存器等，其中通道命令字寄存器（**CCWR**）用来存放通道命令字（**CCW**）。**CCW**是控制**I/O**操作的关键参数，一条条的通道命令字（通道指令）构成通道程序，放在主存中。通道地址字寄存器（**CAWR**）指出了通道程序在主存中的起始地址。通道状态字寄存器（**CSWR**）记录了通道程序执行后本通道和相应设备的各种状态信息，通道状态字（**CSW**）。可供**CPU**了解通道、设备状态和操作结束的原因。



3.4 通道处理机

3.4.2 通道工作过程

- 用户通过调用通道完成一次数据传输的过程如图所示，**CPU**执行用户程序和管理程序，通道执行通道程序的时间关系如图所示。



3.4 通道处理机

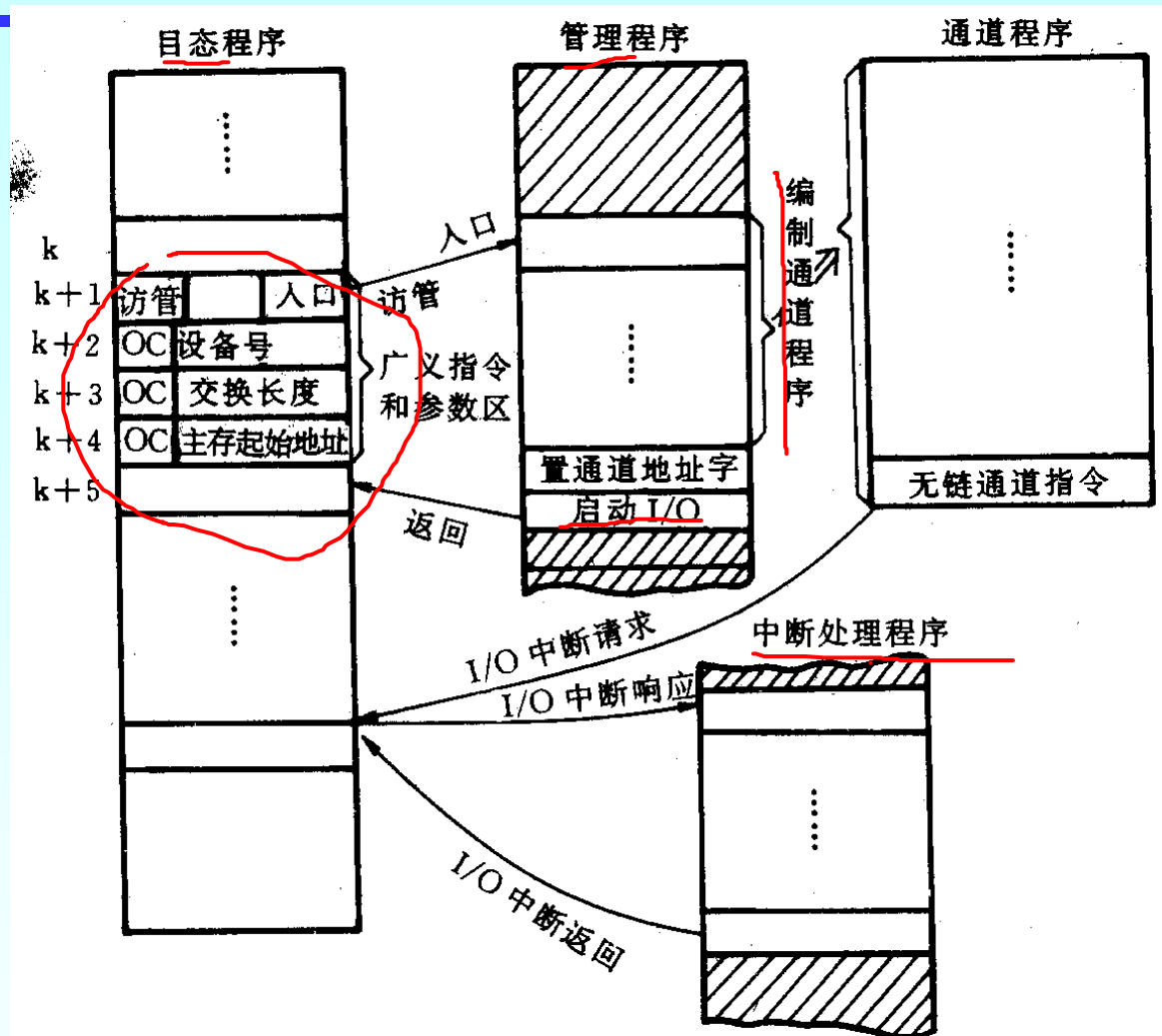


图 3.10 通道处理机输入输出的主要过程

3.4 通道处理机

通道完成一次数据输入输出的过程需三步:

- (1) 在用户程序中使用访管指令进入管理程序，由CPU通过管理程序组织一个通道程序，并启动通道。
- (2) 通道处理机执行通道程序，完成指定的数据输入输出工作。
- (3) 通道程序结束后第二次调用管理程序对输入输出请求进行处理。

每完成一次输入输出工作，CPU只需要两次调用管理程序，大大减少了对用户程序的打扰。



3.4 通道处理机

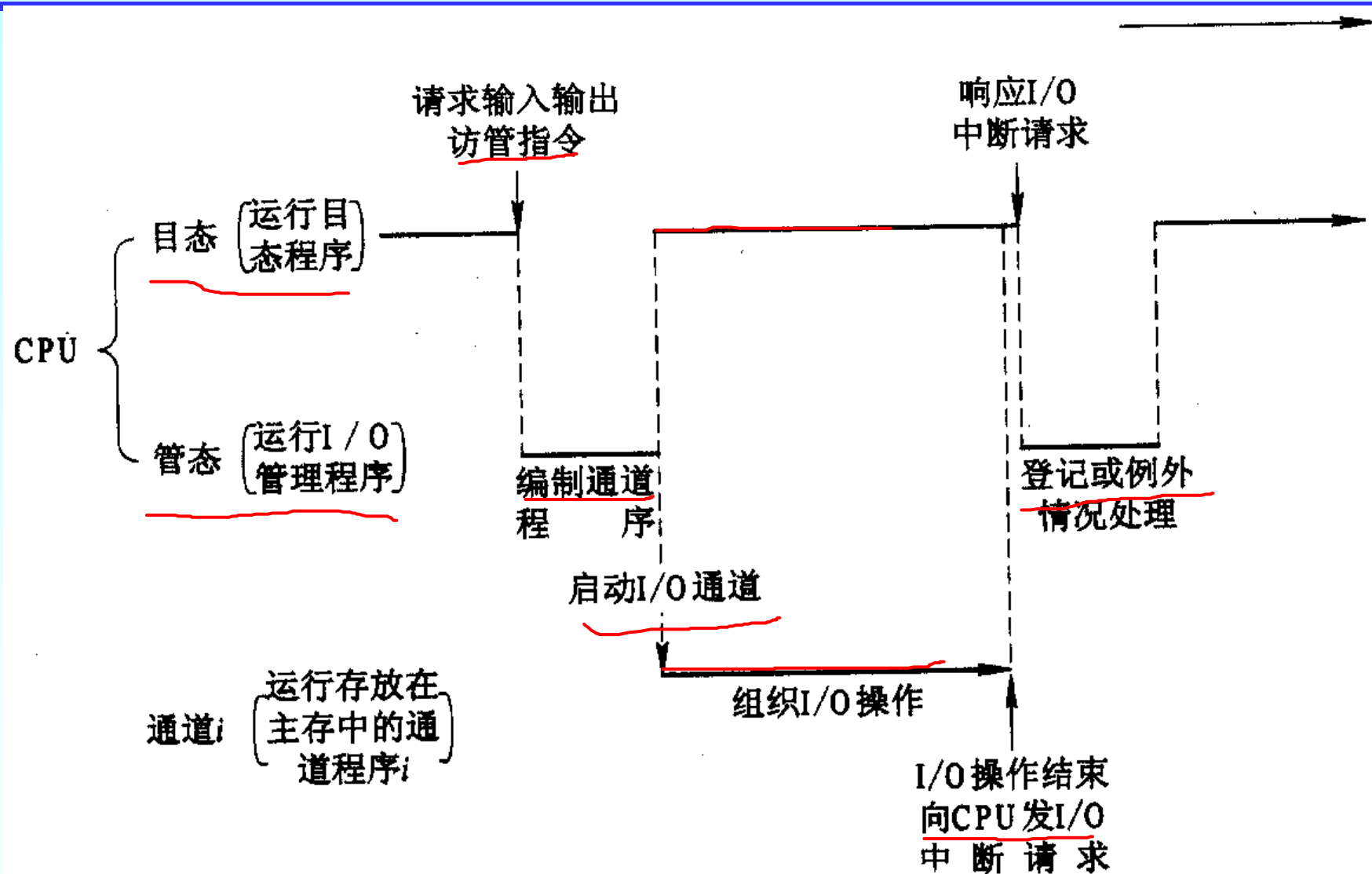
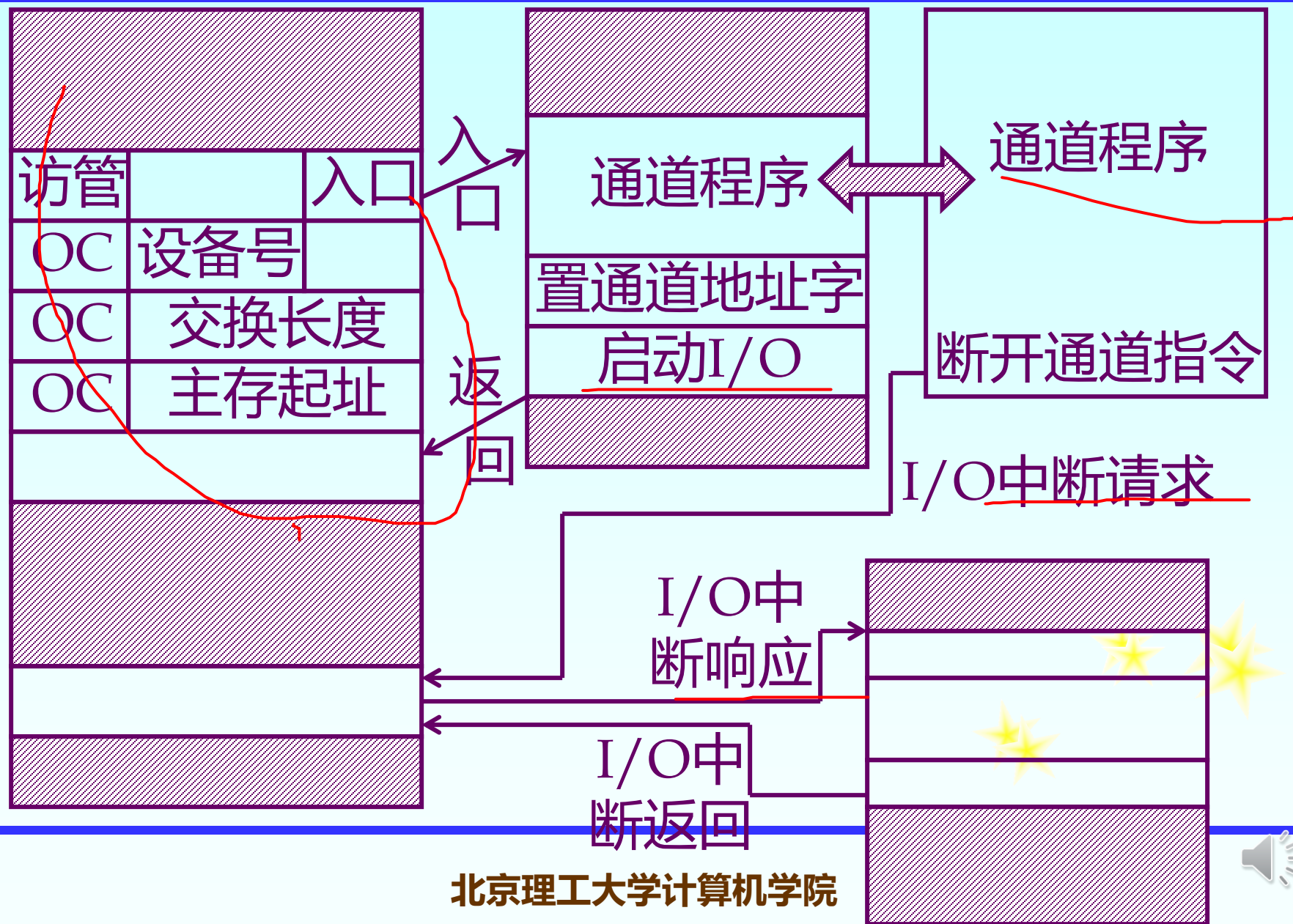
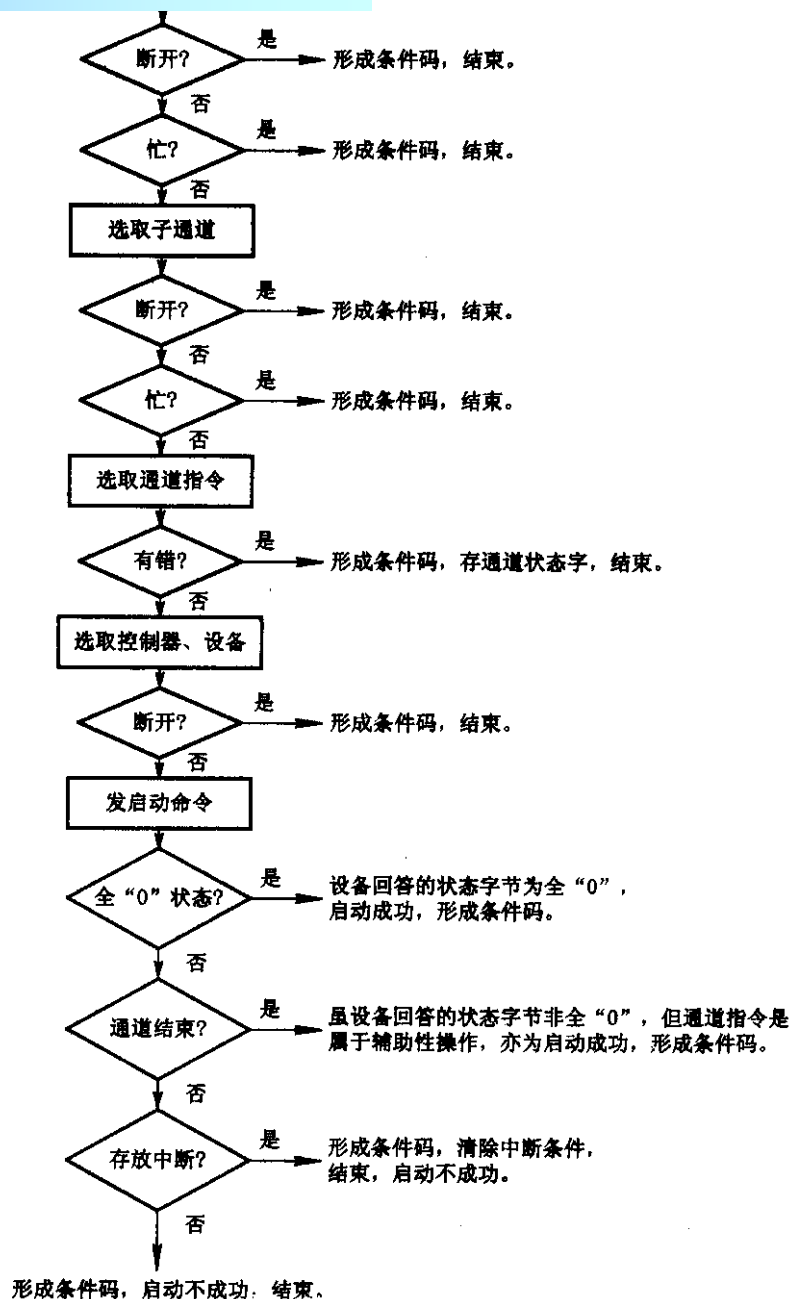


图 3.11 通道处理机输入输出主要过程的时间关系示意图

3.4 通道处理机





3.4 通道处理机

3.4.3通道的类型

按照输入/输出信息的传送方式，通道分为三种类型：字节多路通道、选择通道和数组多路通道。

(1)字节多路通道

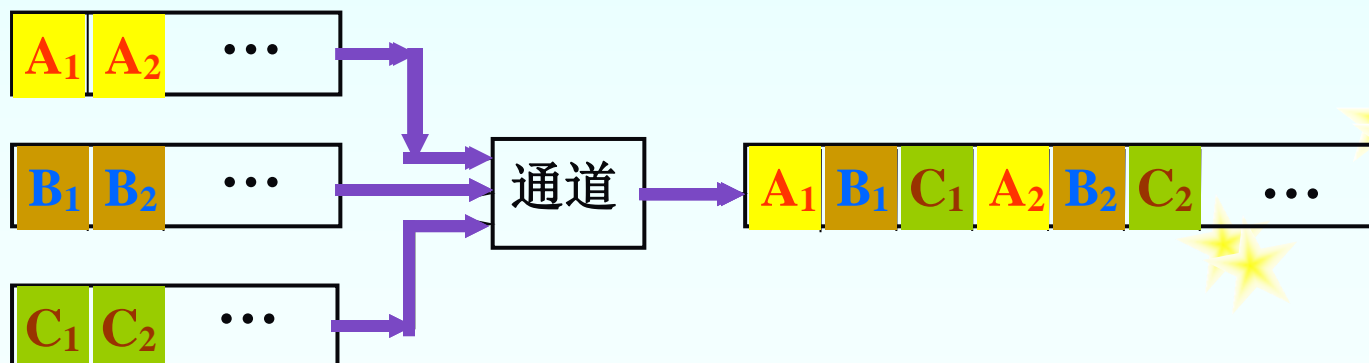
字节多路通道是一种简单的共享通道，用于连接与管理多台低速设备，以字节交叉方式传送信息。

字节多路通道包含有多个子通道，每个子通道连接一个设备控制器。

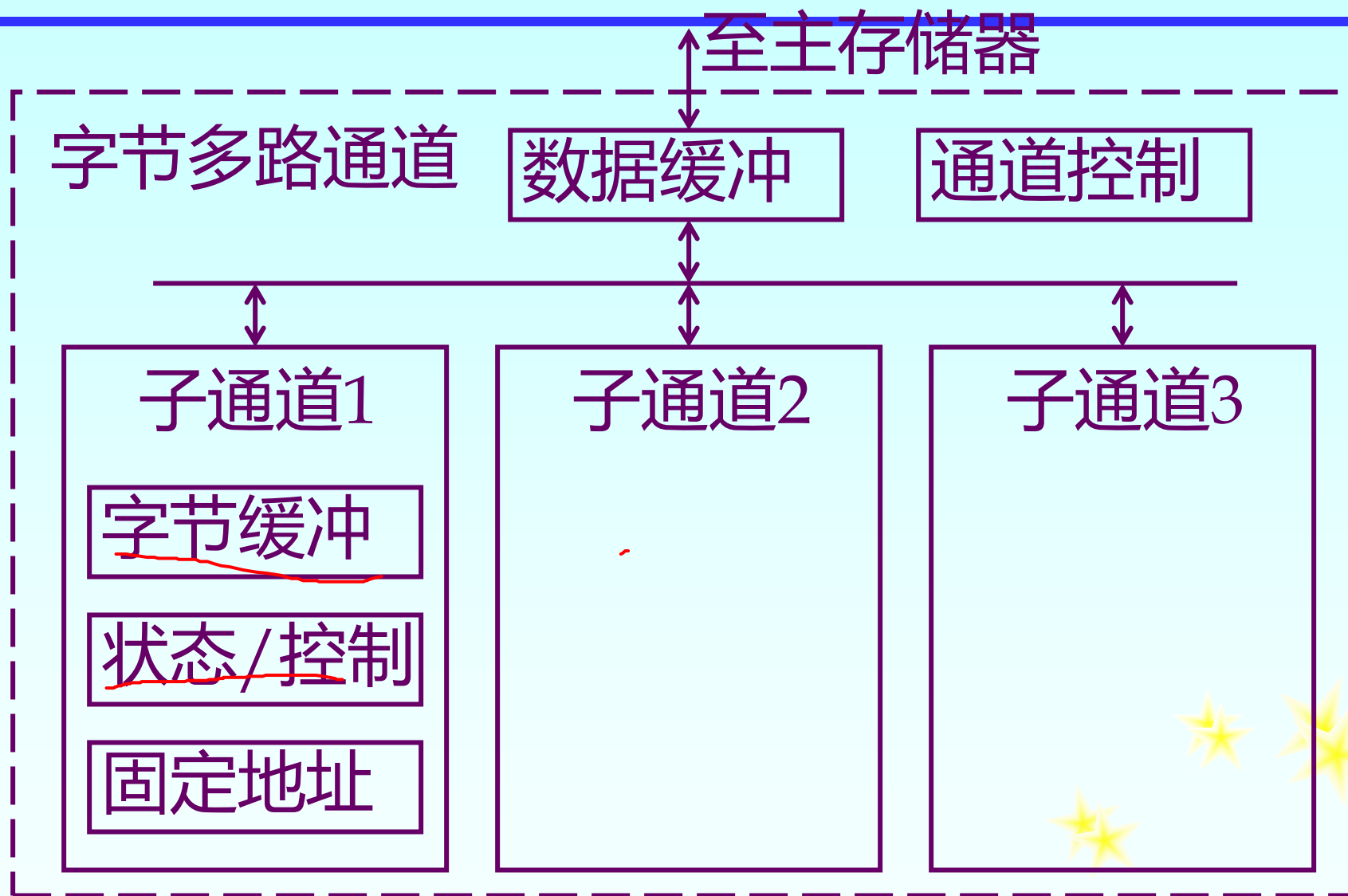


3.4 通道处理机

通道不间断地、轮流地启动每个设备控制器，当通道为一个设备传送完一个字节后，就转去为另一个设备服务。当通道为某一设备的传送时，其它设备可以并行地工作，准备需要传送的数据字节或处理收到的数据字节，以准备接收新的数据字节。这种轮流服务是建立在主机的速度比外设的速度高得多的基础之上，它可以提高系统的工作效率。



3.4 通道处理机



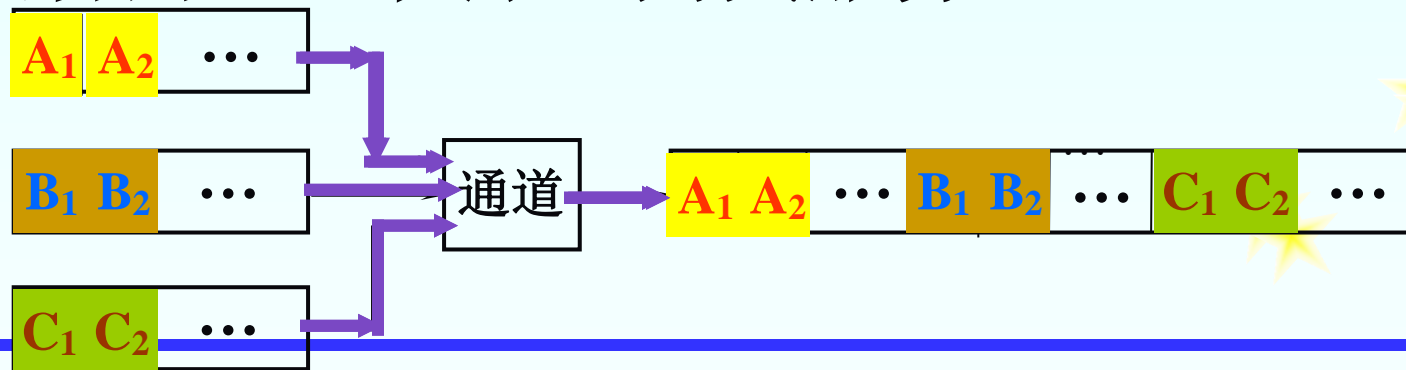
字节多路通道的结构



3.4 通道处理机

(2) 选择通道

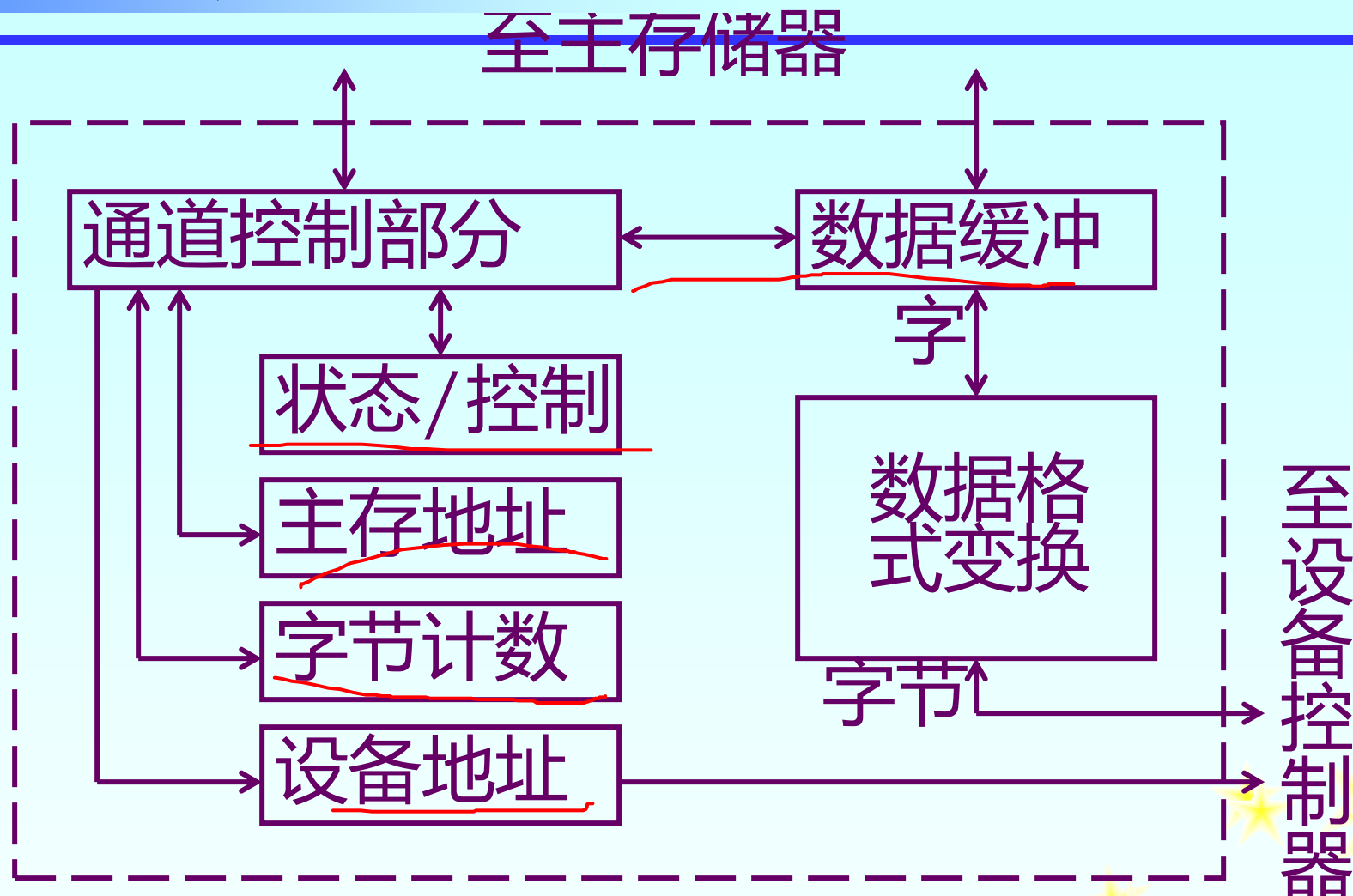
选择通道又称高速通道，在物理上它也可以连接多个设备，但这些设备不能同时工作，在一段时间内通道只能选择一台设备进行数据传送，此时该设备能独占整个通道。因此，选择通道一次只能执行一个通道程序，只有当它与主存交换完信息后，才能再选择另一台外部设备并执行该设备的通道程序，为其服务。



每个选择通道只有一个以成组方式工作的子通道，逐个为多台高速外围设备服务。



3.4 通道处理机



选择通道的结构



3.4 通道处理机

(3) 数组多路通道

数组多路通道是把字节多路通道和选择通道的特点结合起来的一种通道结构。它的基本思想是：当某设备进行数据传送时，通道只为该设备服务；当设备在执行辅助操作（如磁头移动等）时，通道暂时断开与这个设备的连接，挂起该设备的通道程序，去为其他设备服务。

数组多路通道有多个子通道，既可以执行多路通道程序，像字节多路通道那样，所有子通道分时共享总通道；又可以用选择通道那样的方式成组传送数据。既具有多路并行操作的能力；又具有很高的数据传送速率，使通道的效率充分得到发挥。



3.4 通道处理机

从磁盘存储器读出一个文件的的过程分为三步：定位、找扇区、读出数据，前两步为辅助操作。

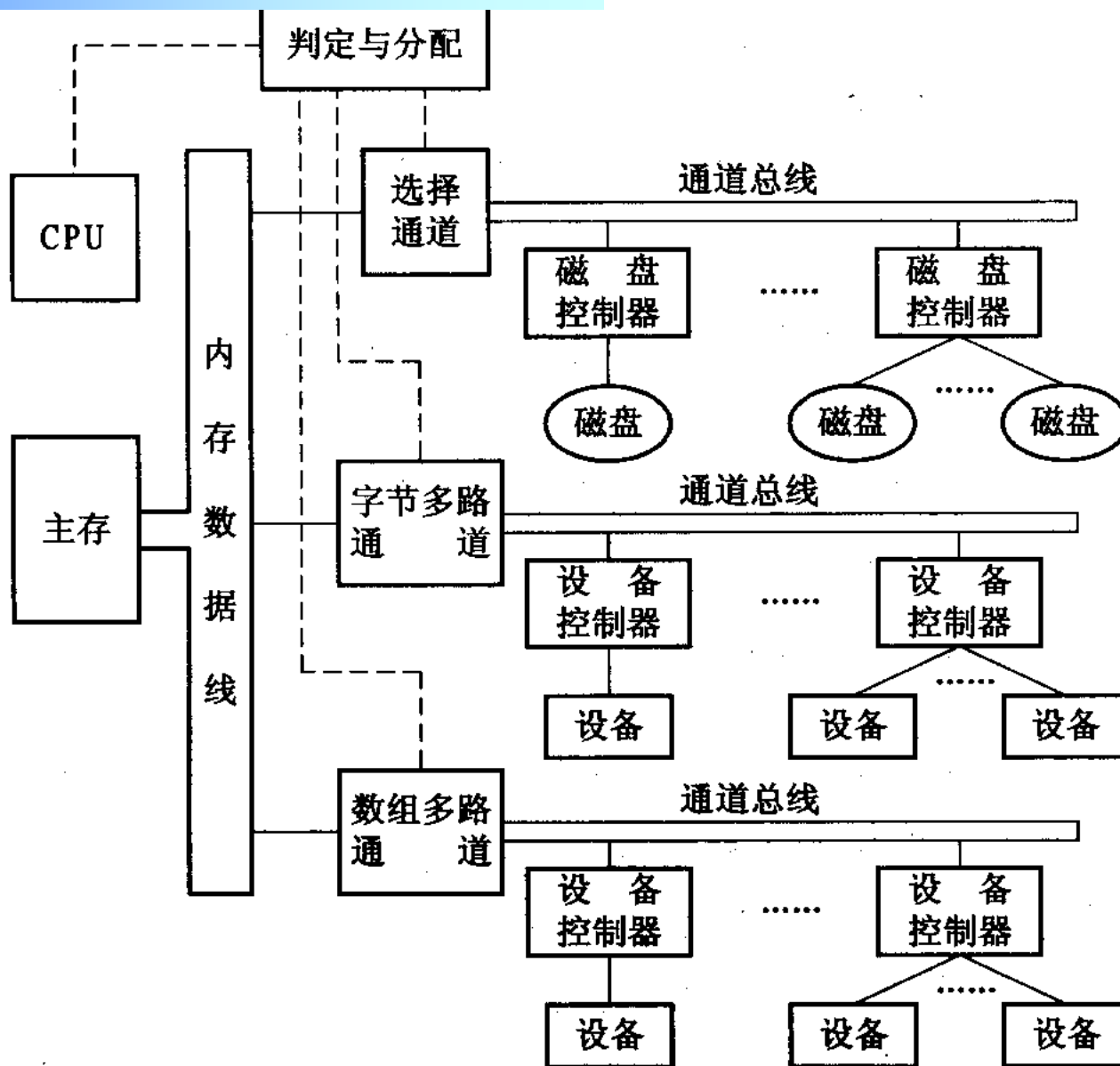
数组多路通道的实际工作方式是：

在为一台高速设备传送数据的同时，有多台高速设备可以在定位或者在找扇区。

与选择通道相比，数组多路通道的数据传输率和通道的硬件利用都很高，控制硬件的复杂度也高。



3.4 通道处理机



北京理工大学计算机学院的I/O结构



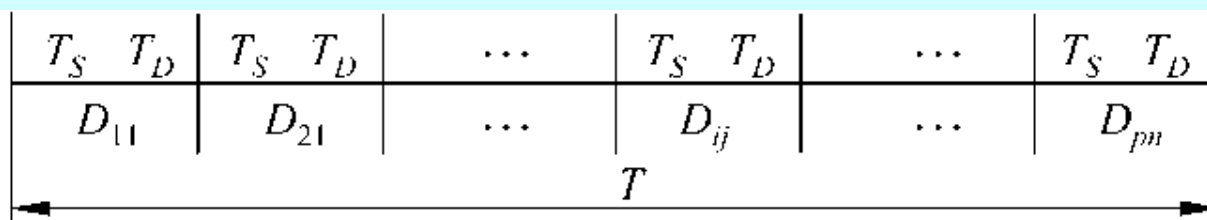
3.4 通道处理机

3.4.4 通道中的数据传送过程

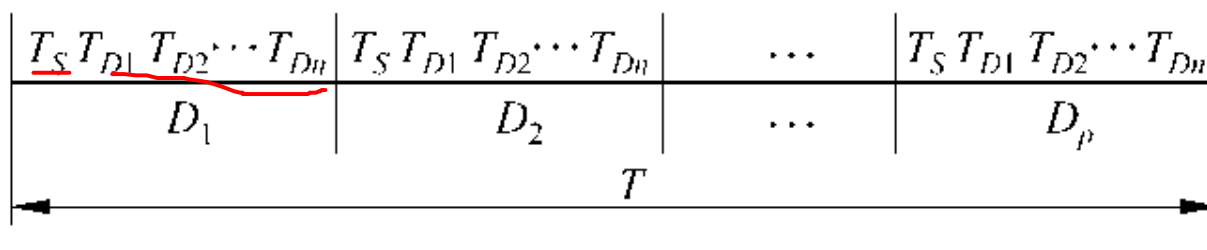
- 一个字节多路通路是分时为多台低速和中速外设服务的，在有 **P** 台设备同时连接到一个字节多路通道上时，它们的数据传送过程如图所示。



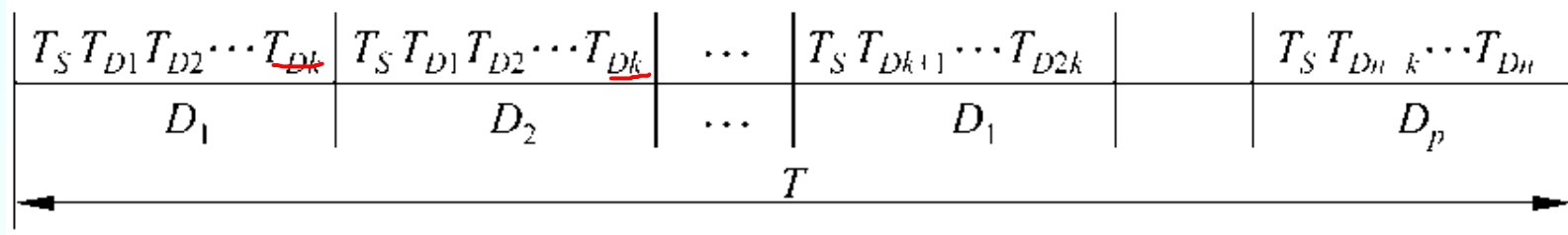
3.4 通道处理机



(a)



(b)



(c)



3.4 通道处理机

3.4.5 通道流量的分析

通道流量：单位时间内能够传送的最大数据量。 又称为通道吞吐率，通道数据传输率等。

通道最大流量：通道在满负荷工作状态下的流量。



3.4 通道处理机

一个通道能达到的极限流量与其工作方式、数据传送期内选择一次设备的时间 T_S 和传送一个字节的时间 T_D 的长短有关。由于字节多路通道每选择一台设备只传送一个字节，故其通道极限流量

$$f_{\max \cdot \text{byte}} = 1/(T_S + T_D)。$$



3.4 通道处理机

选择通道每选择一台设备就把 N 个字节全部传送完，其通道极限流量

$$f_{\max \cdot \text{select}} = \underline{N} / (\underline{T_S} + \underline{NT_D}) = 1 / (\underline{T_S} / \underline{N} + \underline{T_D})。$$

数组多路通道每选择一台设备只传送 K 个字节，如果要传送 N 个字节，就得经 $[N/K]$ 次传送才行，每次都要花去一个选择设备的时间 T_S ，所以，其通道极限流量

$$f_{\max \cdot \text{block}} = \underline{K} / (\underline{T_S} + \underline{KT_D}) = 1 / (\underline{T_S} / \underline{K} + \underline{T_D})。$$



3.4 通道处理机

显然，若通道的 T_S 、 T_D 一定，且 $N > K$ 时，字节多路方式时所能达到的极限流量最小，数组多路方式时的极限流量居中，选择方式时的极限流量最大。



3.4 通道处理机

三种通道的最大流量计算公式如下：

$$f_{MAX.BYTE} = \frac{p \cdot n}{(T_S + T_D) \cdot p \cdot n} = \frac{1}{T_S + T_D} \text{ 字节/秒}$$

$$f_{MAX.SELETE} = \frac{p \cdot n}{(T_S / n + T_D) \cdot p \cdot n} = \frac{1}{T_S / n + T_D} \text{ 字节/秒}$$

$$f_{MAX.BLOCK} = \frac{p \cdot n}{(T_S / k + T_D) \cdot p \cdot n} = \frac{1}{T_S / k + T_D} \text{ 字节/秒}$$



3.4 通道处理机

对于采用字节交叉方式工作的字节多路通道应为该通道所接各设备的字节传送速率之和，即

$$f_{byte \cdot j} = \sum_{i=1}^{p_j} f_{i \cdot j}$$

而对于其他两种类型的通道应为所接各设备的字节传送速率中之最大的那个，即

$$f_{\underline{block} \cdot j} = \max_{i=1}^{p_j} f_{i \cdot j}$$

$$f_{\underline{select} \cdot j} = \max_{i=1}^{p_j} f_{i \cdot j}$$



3.4 通道处理机

为了保证通道能够正常工作，不丢失数据，必须满足设备要求通道的实际最大流量不超过通道所能达到的极限流量这一流量设计的最基本原则，因此，对上述 3 种类型的通道应分别满足关系式：

$$f_{\text{byte} \cdot j} \leq f_{\text{max} \cdot \text{byte} \cdot j}$$

$$f_{\text{block} \cdot j} \leq f_{\text{max} \cdot \text{block} \cdot j}$$

$$f_{\text{select} \cdot j} \leq f_{\text{max} \cdot \text{select} \cdot j}$$



3.4 通道处理机

如果I/O系统有 m 个通道，其中1至 m_1 为字节多路通道， m_1+1 至 m_2 为数组多路通道， m_2+1 至 m 为选择通道，则该I/O系统工作时的极限流量将为

$$\underline{f_{\max}} = \sum_{j=1}^{m_1} f_{\max \cdot \text{byte} \cdot j} + \sum_{j=m_1+1}^{m_2} f_{\max \cdot \text{block} \cdot j} + \sum_{j=m_2+1}^m f_{\max \cdot \text{select} \cdot j}$$

必然会满足

$$f_{\max} \geq \sum_{j=1}^{m_1} \sum_{i=1}^{p_j} f_{i \cdot j} + \sum_{j=m_1+1}^{m_2} \max_{i=1}^{p_j} f_{i \cdot j} + \sum_{j=m_2+1}^m \max_{i=1}^{p_j} f_{i \cdot j}$$



3.4 通道处理机

设有一字节多路通道，它有 3 个子通道：“0”号、

“1”号高速印字机各占一个子通道；“0”号打印机、

“1”号打印机和“0”号光电输入机合用一个子通道。

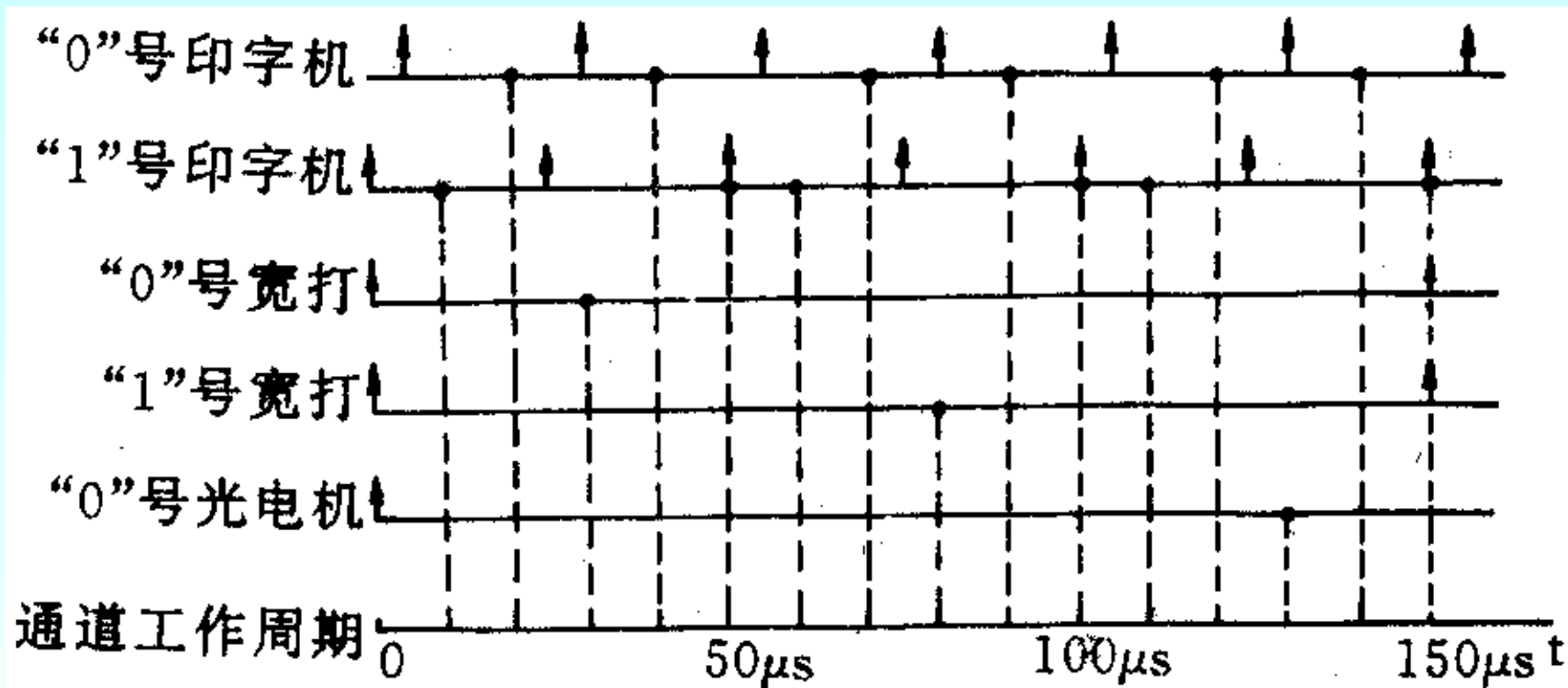
假定数据传送期内高速印字机每隔 $25\ \mu\text{s}$ 发一个字节请求，低速打印机每隔 $150\ \mu\text{s}$ 发一个字节请求，光电输入机每隔 $800\ \mu\text{s}$ 发一个字节请求，则这 5 台设备要求通道的流量为

$$f_{\text{byte} \cdot j} = \sum_{i=1}^5 f_{i \cdot j} = \frac{1}{25} + \frac{1}{25} + \left(\frac{1}{150} + \frac{1}{150} + \frac{1}{800} \right)$$

$$\approx 0.095 \text{ MB/s}$$



3.4 通道处理机



“↑”表示设备提出申请的时刻

“·”表示通道处理完设备申请的时刻

图 3.14 字节多路通道响应和处理各设备请求的时间示意图

例3-1

一个字节多路通道连接**D1**、**D2**、**D3**、**D4**、**D5**共**5**台设备，这些设备分别每**10 μ s**、**30 μ s**、**30 μ s**、**50 μ s**和**75 μ s**向通道发出一次数据传送的服务请求，请回答下列问题：

(1) 计算这个字节多路通道的实际流量和工作周期。



3.4 通道处理机

(2) 如果设计字节多路通道的最大流量正好等于通道实际流量，并假设数据传输率高的设备，通道响应它的数据传送请求的优先级也高。**5**台设备在**0**时刻同时向通道发出第一次传送数据的请求，并在以后的时间里按照各自的数据传输率连续工作。画出通道分时为各台设备服务的时间关系图，并计算这个字节多路通道处理完各台设备的第一次数据传送请求的时刻。



3.4 通道处理机

(3) 从时间关系图上发现什么问题？如何解决这个问题？

解：

通道的实际流量为：

$$f_{BYTE} = \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{30} + \frac{1}{30} + \frac{1}{50} + \frac{1}{75} \right) \text{MB/S} = 0.2 \text{MB/S}$$

通道的工作周期为： **$t = 1/f_{BYTE} = 5\mu\text{s}/\text{byte}$**



3.4 通道处理机

通道处理完各设备这个第一次请求的时间如下：

D1: $5\mu\text{s}$;

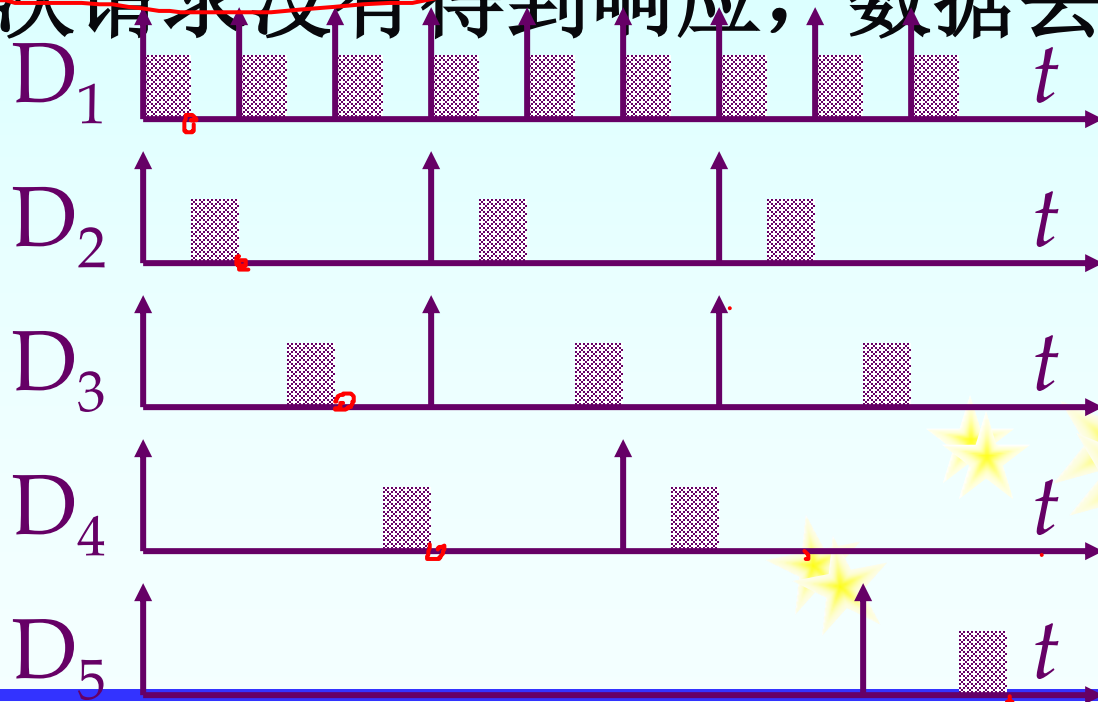
D2: $10\mu\text{s}$;

D3: $20\mu\text{s}$;

D4: $30\mu\text{s}$

设备**D5**的第一次请求没有得到响应，数据丢失。

设备**D5**第一次请求未得到响应的
原因分析：



3.4 通道处理机

对所有设备的请求时间间隔取最小公倍数，在这一段时间内通道的流量是平衡的，但是，在任意设备的任意两次传送请求之间并不能保证都能得到通道的响应。

为了保证字节多路通道能够正常工作，可以采取下列几种方法：

方法一：增加通道的最大流量。保证连接在通道上的所有设备的数据传送请求能够及时得到通道的响应。

方法二：动态改变设备的优先级。例如，在 **$30\mu\text{s}$** 至 **$70\mu\text{s}$** 之间临时提高设备**D5**的优先级。



3.4 通道处理机

方法三：增加缓冲存储器。特别是对优先级比较低的设备。例如，只要为设备**D5**增加一个数据缓冲寄存器，它的第一次请求可以在第**85 μ s**处得到响应，第二次请求可以在第**145 μ s**处得到响应。



3.5 中断系统

为处理一个中断请求，必须调出相应的中断处理程序。如果中断源比较少时，通过中断系统硬件就可以比较方便地对每个中断源直接形成相应的中断处理程序入口，进入相应的中断处理程序。但对中、大型多用途机器，中断源一般可多达数十至数百个。如果为每个中断源单独形成入口，不仅硬件难以实现，代价也很大，就是在中断处理上也没有这种必要。因为不少中断源的性质比较接近，可以将它们分别归成几类，对每一类给定一个中断处理程序入口，再由软件转入对相应的中断源进行处理，这样可以大大简化中断处理程序入口形成硬件。



3.5 中断系统

3.5.1 中断的分类和分级

引起中断的各种事件称为中断源。中断源向中断系统发出请求中断的申请，称为中断请求。同时可能有多个中断请求，这时中断系统需要按事先确定的中断响应优先次序对优先级高的中断请求予以响应。所谓中断响应就是允许其中断CPU现行程序的运行，转去对该请求进行预处理，包括保存好断点现场，调出有关处理该中断的中断处理程序，准备运行。这部分工作在大多数机器上都是采用交换新旧程序状态字PSW的办法实现的。当然为了某种需要，中断系统也可以对中断请求进行屏蔽，使之暂时得不到响应。



3.5 中断系统

中断现场包括软件状态(如作业名称和级别, 上、下界值, 各种软件状态和标志等)和硬件状态(如现行指令地址, 条件码等状态信息, 各种控制寄存器及通用寄存器内容)。通常采取把分散于CPU各部分的硬件状态集成程序状态字, 然后由中断响应硬件通过将程序状态字(处理器状态字、换道区)存到主存指定单元或区域的方式来完成保存。再把新的程序或进程的程序状态字(处理器状态字、换道区)从主存另一指定单元或区域把内容传送到有关寄存器和计数器中, 建立起运行新的程序或进程的环境。硬件状态是全经中断响应硬件保存, 还是部分经它, 部分经中断处理程序保存, 具体机器的作不同的选择。



3.5 中断系统

3.5.2 中断系统的软硬件功能分配

中断系统的功能包括中断请求的保存和清除、优先级的确定、中断断点及现场的保存、对中断请求的分析和处理以及中断返回等，这些全是由中断响应硬件和中断处理程序共同完成的。因此，中断系统的软、硬件功能分配实质上就是中断处理程序软件和中断响应硬件的功能分配。



本章重点

输入输出系统

总线的控制方式

通道工作原理

通道类型

通道流量的分析



第三章作业

3-3

3-8

3-9

