



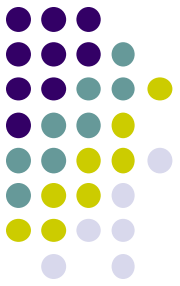
# 计算机组成与系统结构

## 第八章 输入输出系统

吕昕晨

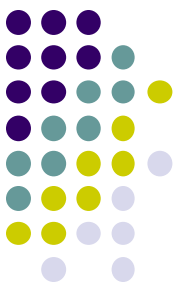
[lvxinchen@bupt.edu.cn](mailto:lvxinchen@bupt.edu.cn)

网络空间安全学院



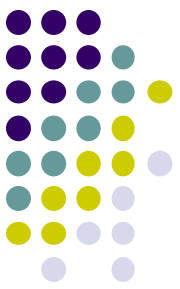
# 第八章 输入输出系统

- DMA方式
  - DMA基本概念
  - DMA传送方式
  - DMA控制器
  - DMA数据传送流程与DMA控制器类型
- 通道方式



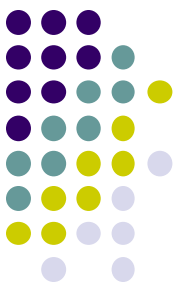
# DMA方式基本概念

- 直接存储器访问 (Direct Memory Address) DMA方式是为了在主存储器与I/O设备间高速交换批量数据而设置的
- 基本思想
  - 通过硬件控制实现主存与I/O设备间的直接数据传送，在传送过程中无需CPU的干预，数据传送是在DMA控制器控制下进行的
- 优缺点
  - 数据传送速度很高，传送速率仅受到内存限制
  - 与中断方式相比，需要更多的硬件
  - DMA方式适用于内存和高速外围设备之间大批数据交换的场所



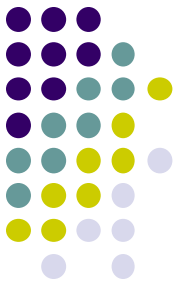
# DMA方式的主要优点

- DMA方式的主要优点是速度快
  - 由于CPU根本不参加传送操作
    - 省去了CPU取指令、取数、送数等操作，速度更快
  - 在数据传送过程中，没有保存现场、恢复现场的工作
  - 内存地址修改、传送字个数的计数等，也不是由软件实现，而是用硬件线路直接实现的
    - 速度更快，避免占用CPU资源
- 总结
  - DMA方式能满足高速I/O设备的要求，有利于CPU效率的发挥



# DMA方式的特点

- DMA方式的主要特点
  - DMA方式以响应随机请求的方式，实现主存与I/O设备间的快速数据传送
  - DMA方式不影响CPU的程序执行状态，只要不存在访存冲突，CPU就可以继续执行自己的程序
  - DMA只能处理简单的数据传送，不能在传送数据的同时进行判断和计算
- 基本流程
  - 外围设备DMA请求
  - CPU响应请求，设置DMA方式，DMA接管总线
  - DMA完成数据传输，向CPU汇报DMA传输结束



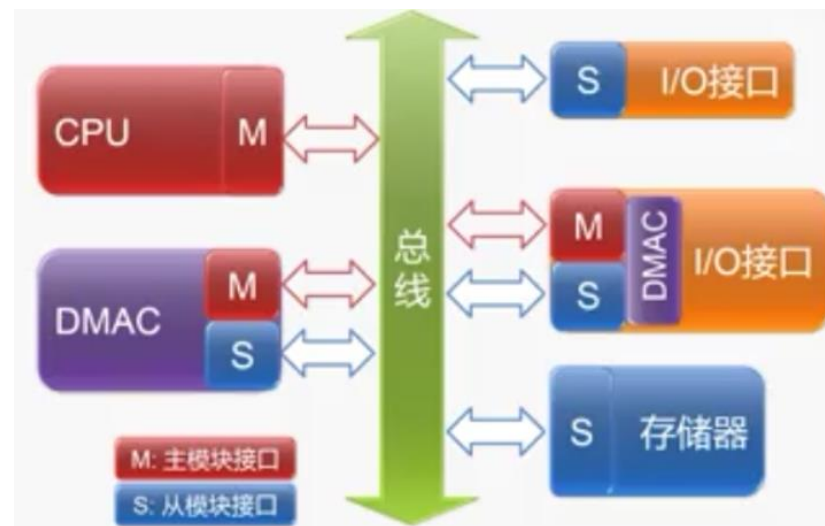
# 第八章 输入输出系统

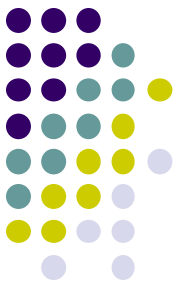
- DMA方式
  - DMA基本概念
  - DMA传送方式
  - DMA控制器
  - DMA数据传送流程与DMA控制器类型
- 通道方式

# DMA与CPU的竞争



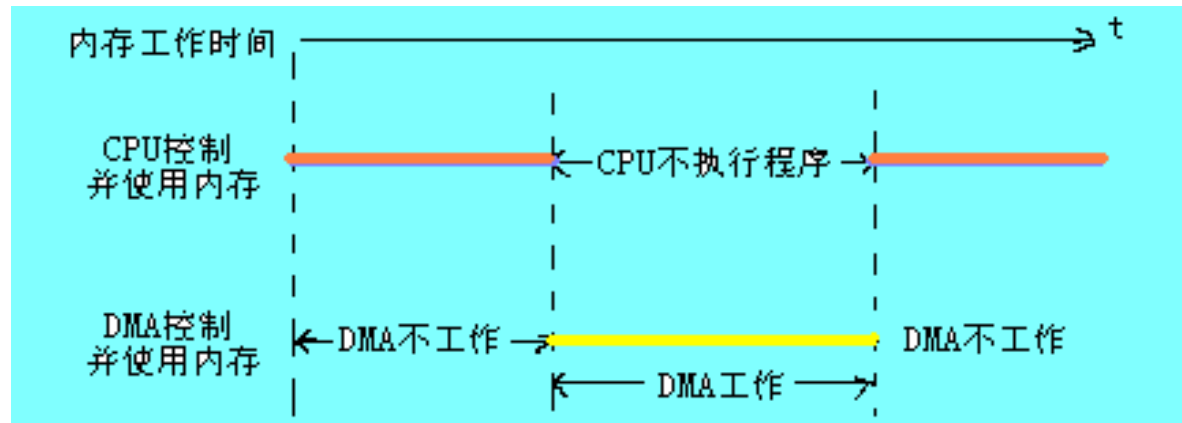
- DMAC和CPU均具有主模块功能（Master-Mode），复用总线，且可能同时对存储器进行读写
- 问题：争用总线与存储器的使用/读写权限
- 传送分配方式
  - 停止CPU访问内存
  - 周期挪用
  - DMA与CPU交替访内



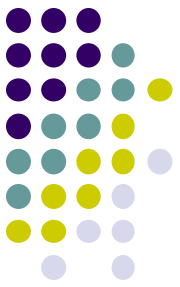


# 方法1：停止CPU访问内存

- 主机响应DMA请求后，让出总线，直到一组数据传送完毕后，DMA控制器才把总线控制权交还给CPU
- 采用这种工作方式的I/O设备，在其接口中一般设置有小容量存储器，I/O设备先与小容量存储器交换数据，然后由小容量存储器与主机交换数据
- 减少DMA传送占用存储总线的时间，减少CPU暂停工作的时间

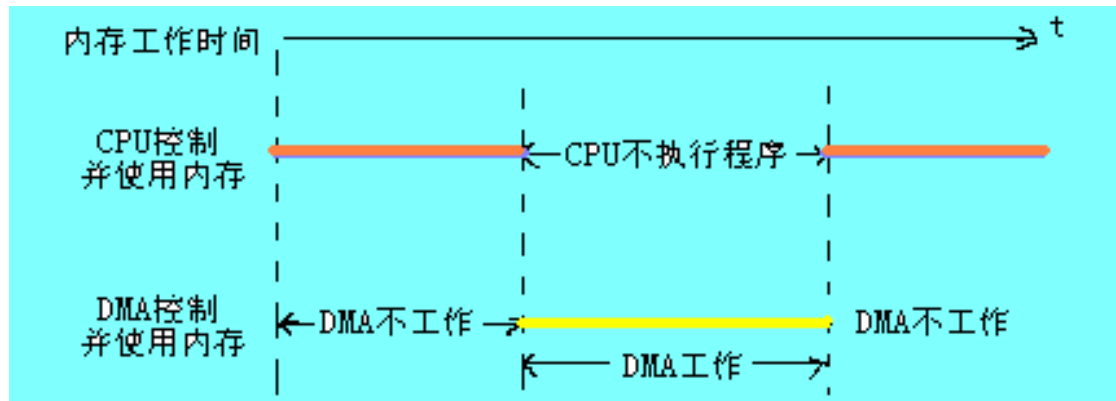






# 方法1：停止CPU访问内存

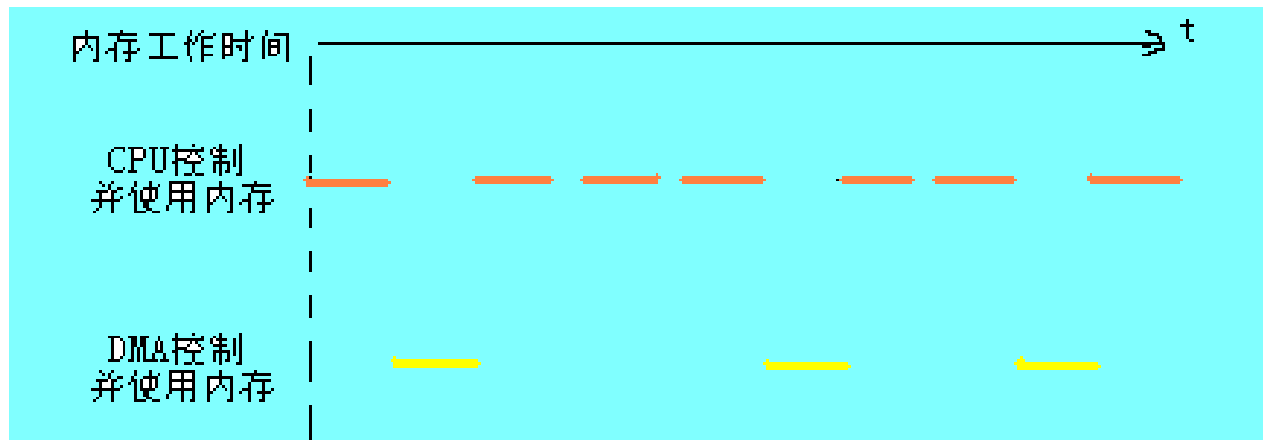
- 优点
  - 控制简单，适用于数据传输率很高的设备进行成组传送
- 缺点
  - 在DMA控制器访内阶段，内存的效能没有充分发挥，相当一部分内存工作周期是空闲的
  - 这是因为，外围设备传送两个数据之间的间隔一般总是大于内存存储周期，即使高速I/O设备也是如此

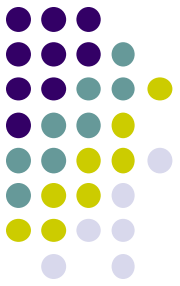




## 方法2：周期挪用方式

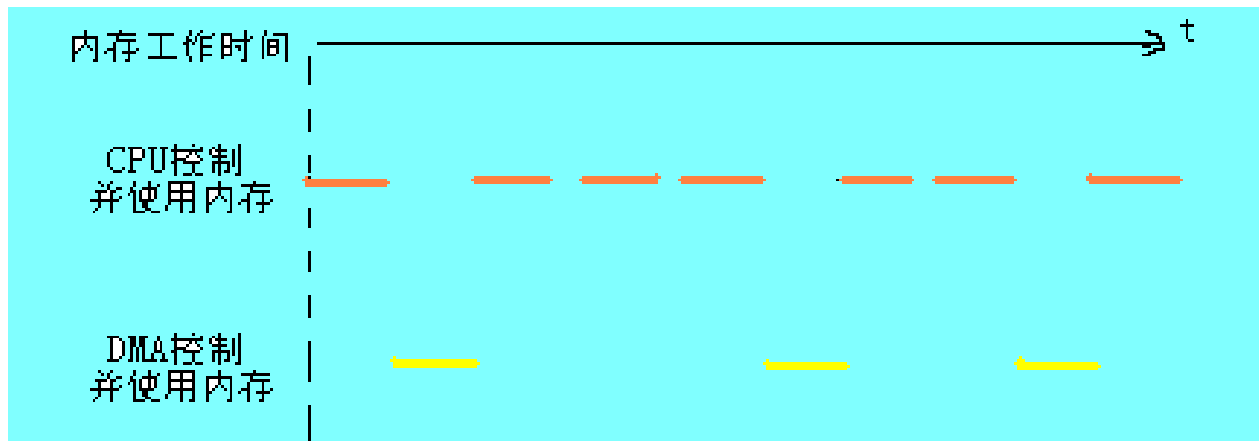
- DMA控制器与主存储器之间传送一个数据，占用（窃取）一个CPU周期，即CPU暂停工作一个周期，然后继续执行程序
  - CPU不需要访内，例如CPU正在执行乘法指令。由于乘法指令执行时间较长，此时I/O访内与CPU访内没有冲突
  - I/O设备要求访内时CPU也要求访内，这就产生了访内冲突，在这种情况下I/O设备访内优先

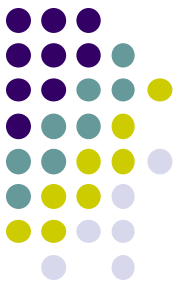




## 方法2：周期挪用方式

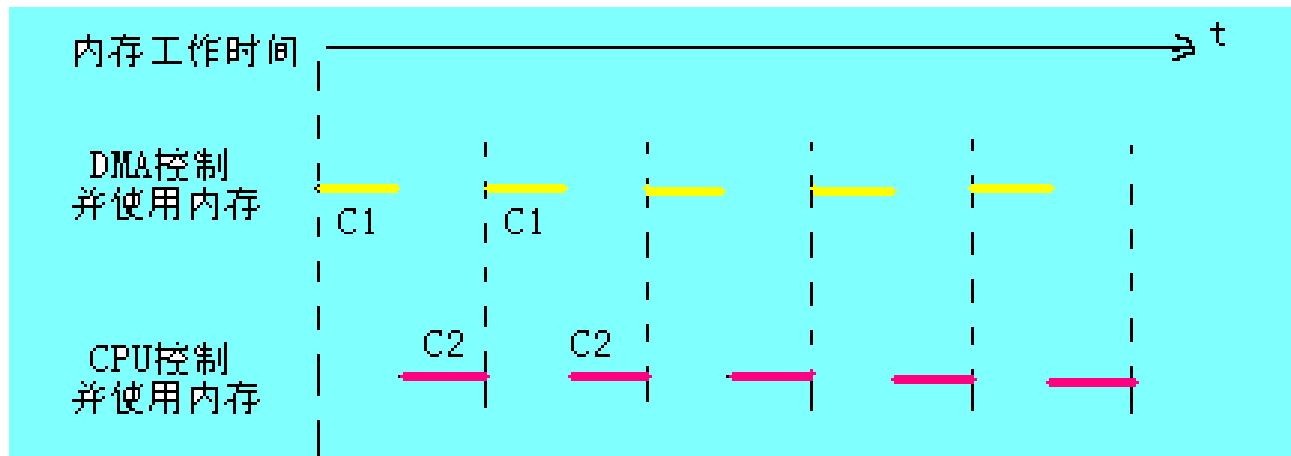
- 与停止CPU访内的DMA方法比较，周期挪用方法既实现了I/O传送，又较好地发挥了内存和CPU的效率，是一种广泛采用的方法
- I/O设备每一次周期挪用都有申请总线控制权、建立总线控制权和归还总线控制权的过程，一般要2—5个内存周期（视逻辑线路的延迟而定）
- 适用于I/O设备读写周期大于内存存储周期的情况

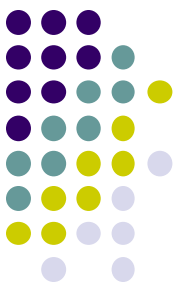




# 方法3：DMA与CPU交替访内

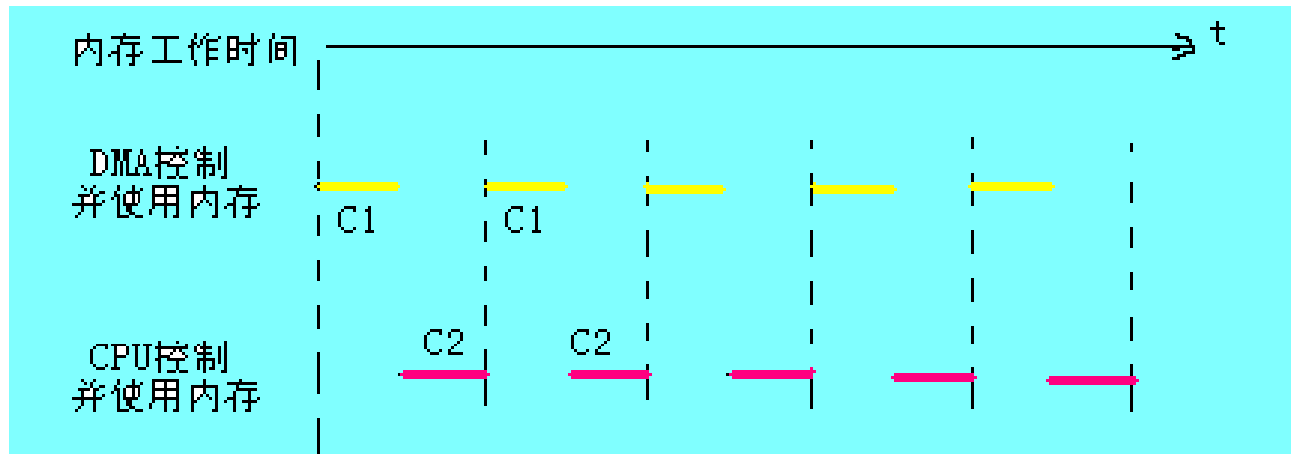
- 如果CPU的工作周期比内存存取周期长很多，此时采用交替访内的方法可以使DMA传送和CPU同时发挥最高的效率
  - 假设CPU工作周期为  $1.2\mu\text{s}$ ，内存存取周期小于  $0.6\mu\text{s}$
  - 那么一个CPU周期可分为C1和C2两个分周期，其中C1供DMA控制器访内，C2专供CPU访内
- 总线控制权的转移速度快，DMA效率高

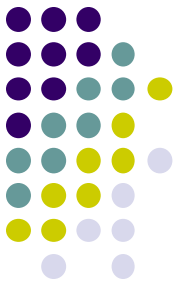




# 方法3：DMA与CPU交替访内

- 这种方式不需要总线使用权的申请、建立和归还过程，总线使用权是通过C1和C2分时进行的
- 这种传送方式又称为“透明的DMA”方式
  - 这种DMA传送对CPU来说，如同透明的玻璃一般，没有任何感觉或影响
  - 在透明的DMA方式下工作，CPU既不停止主程序的运行，也不进入等待状态，是一种高效率的工作方式





# 第八章 输入输出系统

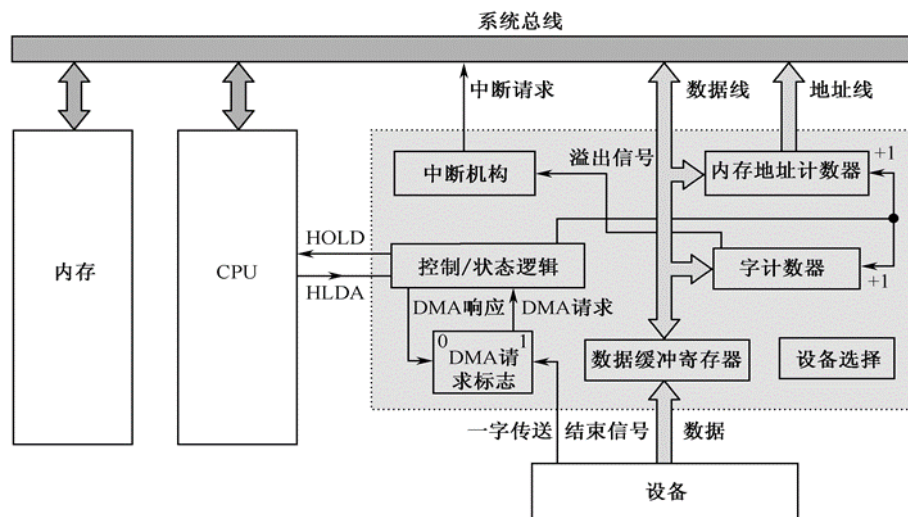
- DMA方式
  - DMA基本概念
  - DMA传送方式
  - DMA控制器
  - DMA数据传送流程与DMA控制器类型
- 通道方式

# DMA控制器基本组成



- DMA控制器主要有以下逻辑部件组成

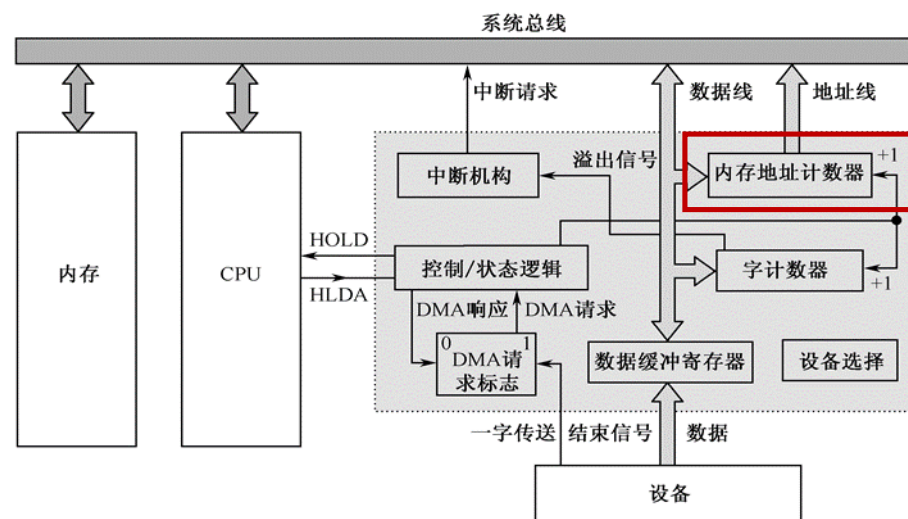
- 内存地址计数器
- 字计数器
- 数据缓冲寄存器
- “DMA请求” 标志
- “控制/状态” 逻辑
- 中断机构



# 内存地址计数器



- 内存地址计数器用于存放内存中要交换的数据的地址
  - 在DMA传送前，须通过程序将数据在内存中的起始位置(首地址)送到内存地址计数器
  - 当DMA传送时，每交换一次数据，将地址计数器加1，从而以增量方式给出内存中要交换的一批数据的地址

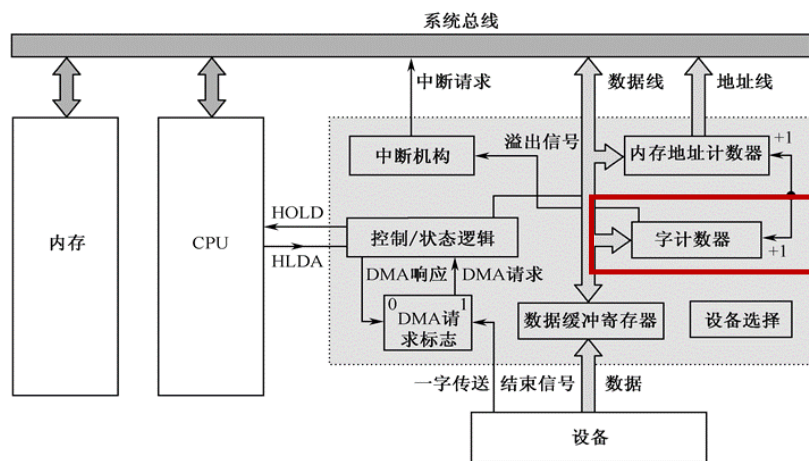




# 字计数器



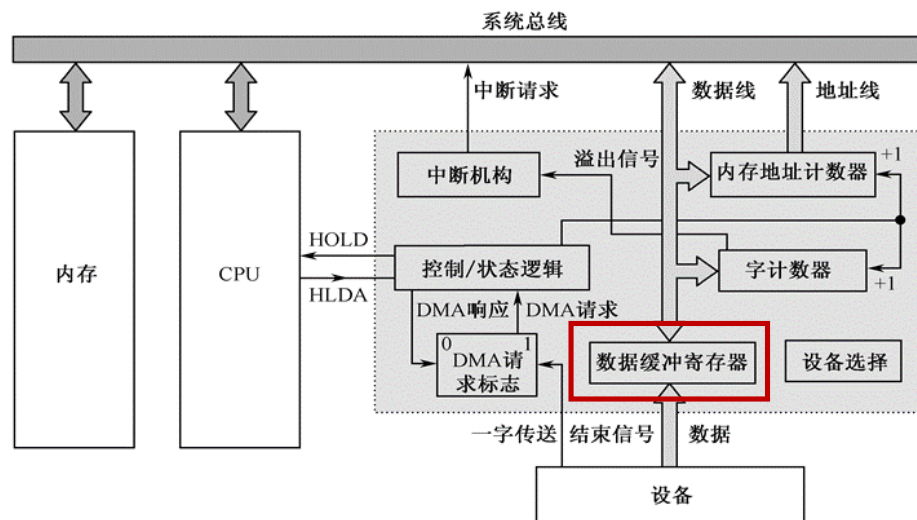
- 字计数器用于记录传送数据块的长度(多少字数)
  - 其内容也是在数据传送之前由程序预置，交换的字数通常以补码形式表示
  - 在DMA传送时，每传送一个字，字计数器就加1，当计数器溢出即最高位产生进位时，表示这批数据传送完毕
  - DMA控制器向CPU发中断信号



# 数据缓冲寄存器

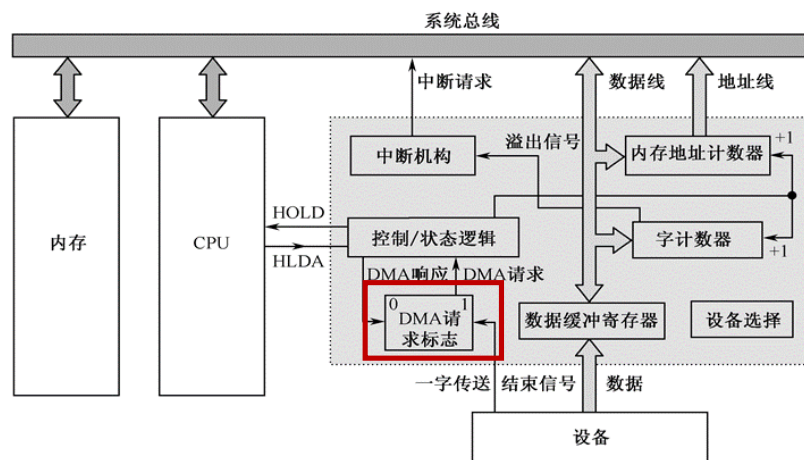


- 数据缓冲寄存器用于暂存每次传送的数据（一个字）
  - 当输入时，由设备(如磁盘)送往数据缓冲寄存器，再由缓冲寄存器通过数据总线送到内存
  - 反之，输出时，由内存通过数据总线送到数据缓冲寄存器，然后再送到设备



# DMA请求标志

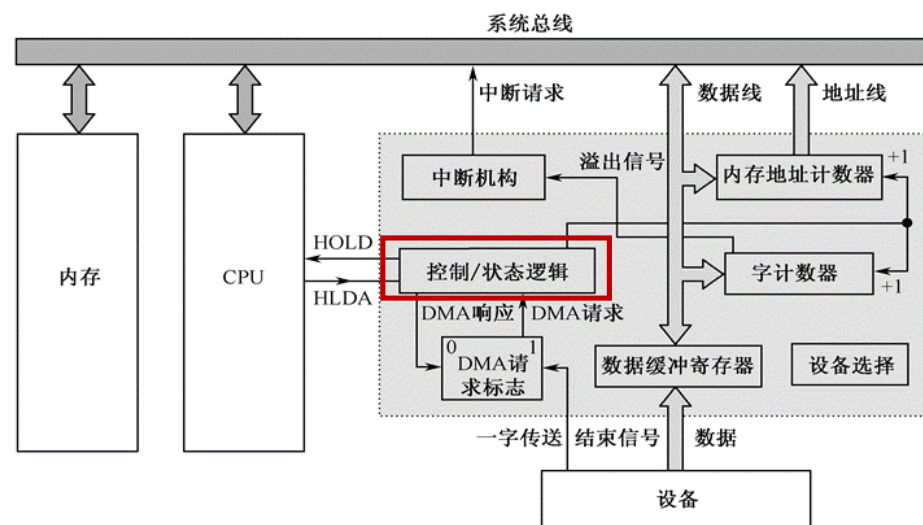
- DMA请求标志
  - 每当设备准备好一个数据字后给出一个控制信号，使DMA请求标志置1。该标志置位后向“控制/状态逻辑”发出DMA请求，后者又向CPU发出总线使用权的请求(HOLD)
  - CPU响应此请求后发回响应信号 HLDA，“控制/状态”逻辑接收此信号后发出DMA响应信号，使“DMA请求”标志复位，为交换下一个字做好准备



# 控制/状态逻辑



- 控制/状态逻辑
  - 由控制和时序电路以及状态标志等组成，用于修改内存地址计数器和字计数器
  - 指定传送类型(输入或输出)，并对“DMA请求”信号和CPU响应信号进行协调和同步

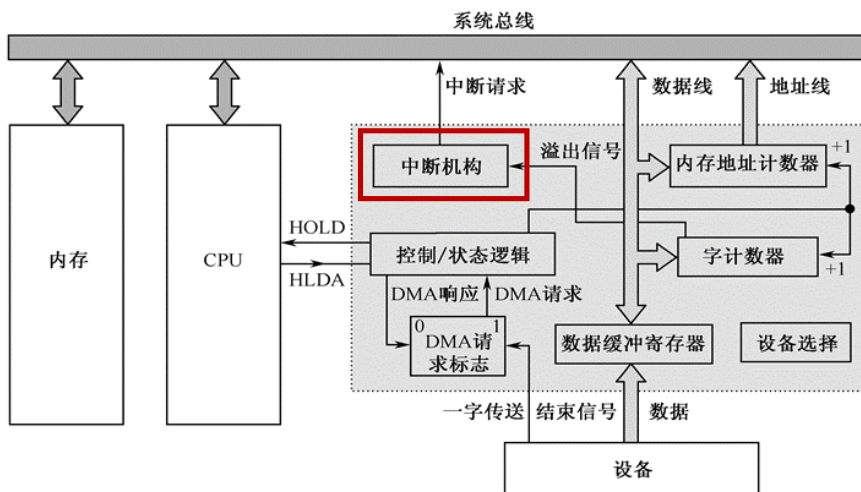


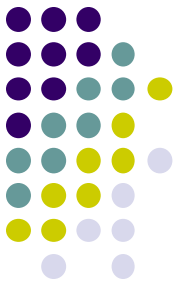
# 中断机构



- 中断机构

- 当字计数器溢出时（全0），意味着一组数据交换完毕，由溢出信号触发中断机构，向CPU提出中断报告
- 与I/O中断所采用的技术相同，但中断的目的不同，前面是为了数据的输入或输出，而这里是为了报告一组数据传送结束。它们是I/O系统中不同的中断事件



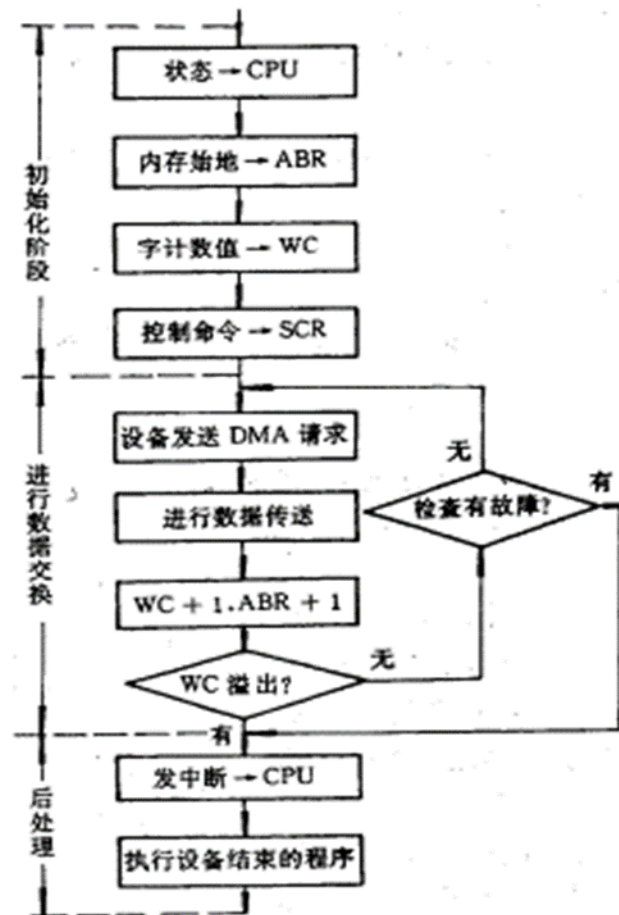


# 第八章 输入输出系统

- DMA方式
  - DMA基本概念
  - DMA传送方式
  - DMA控制器
  - DMA数据传送流程与DMA控制器类型
- 通道方式

# DMA数据传输流程

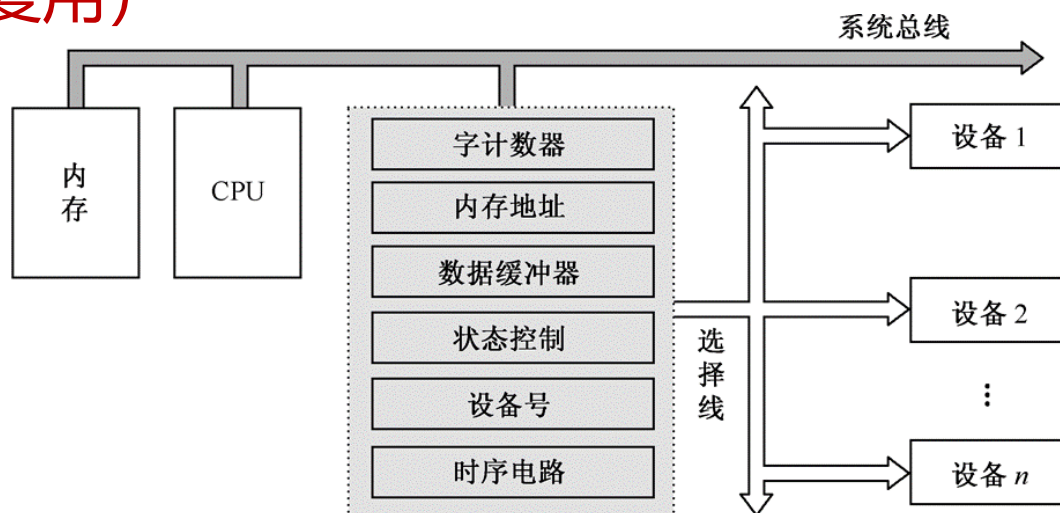
- DMA的数据块传送过程分为三个阶段
  - **预处理**：CPU向DMA控制器的设备地址寄存器中送入设备号并启动设备，向内存地址计数器中送入起始地址，向字计数器中送入交换的数据字个数
  - **正式传送**：当外设准备好发送数据或接受数据时，它发出DMA请求，由DMA控制器向CPU发出总线使用权的请求（HOLD）
  - **后处理**：一旦DMA的中断请求得到响应，CPU停止主程序的执行，转去做一些DMA的结束处理工作



# 选择型DMA控制器



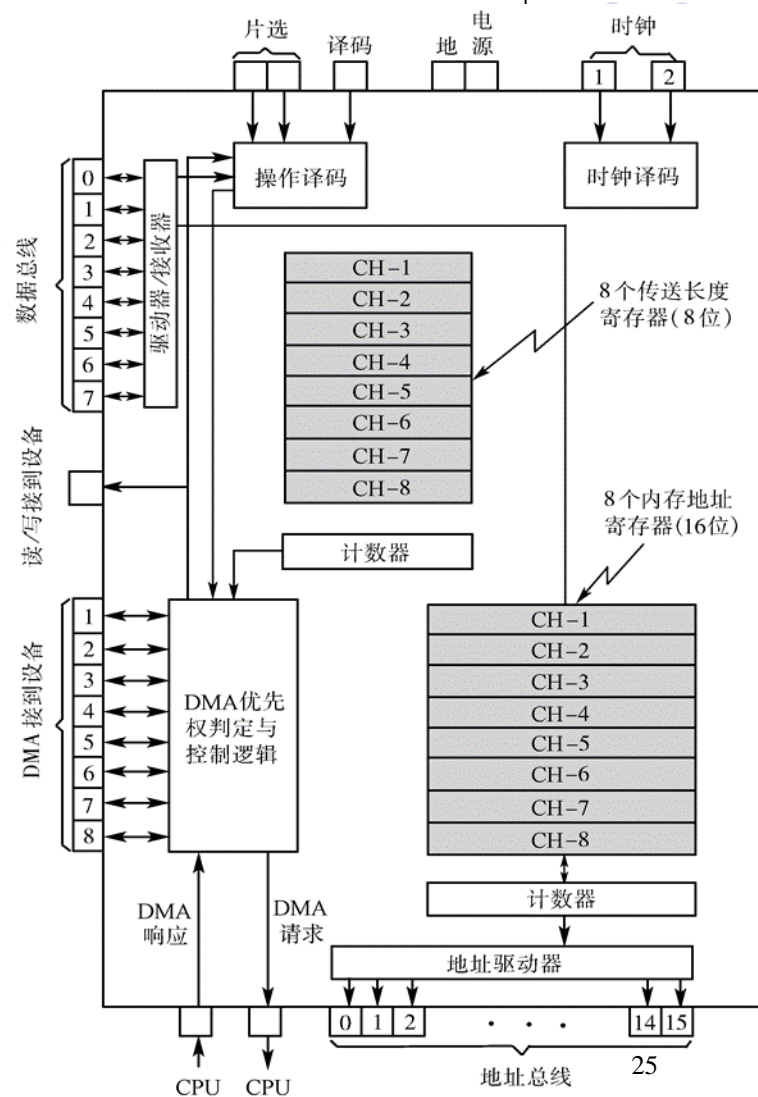
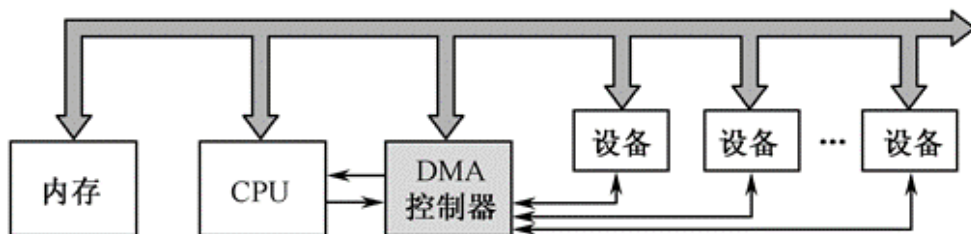
- 选择型DMA控制器在物理上可以连接多个设备，而在逻辑上只允许连接一个设备（同一时间服务一个设备）
- 只增加少量硬件达到为多个外围设备服务的目的，适合数据传输率很高以至接近内存存取速度的设备
- 在很快地传送完一个数据块后，控制器又可为其他设备服务（时分复用）





# 多路型DMA控制器

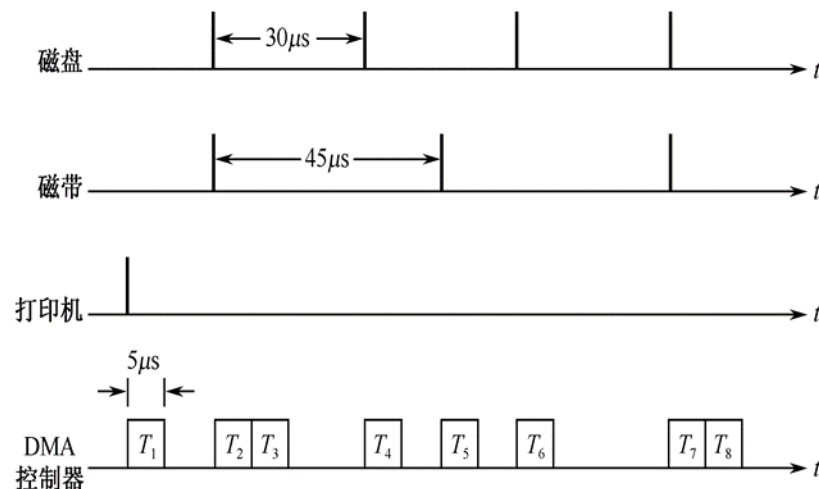
- 多路型DMA不仅在物理上可以连接多个外围设备，而且在逻辑上也允许这些外围设备同时工作，各设备以字节交叉方式通过DMA控制器进行数据传送
- 多路型DMA控制器适合于同时为多个慢速外围设备服务

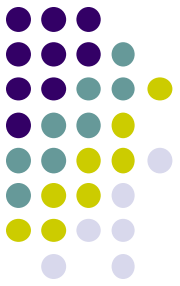


# DMA控制器例题



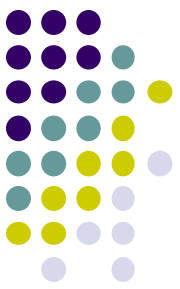
- 磁盘、磁带、打印机同时工作
  - 磁盘以 $30\mu\text{s}$ 的间隔向控制器发DMA请求，磁带以 $45\mu\text{s}$ 的间隔发DMA请求，打印机以 $150\mu\text{s}$ 间隔发DMA请求
  - 根据传输速率，磁盘优先级最高，磁带次之，打印机最低，图中假设DMA控制器每完成一次DMA传送所需的时间是 $5\mu\text{s}$
  - 采用多路型DMA控制器，请画出DMA控制器服务三个设备的工作时间图





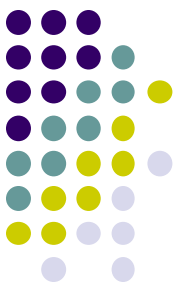
# 第八章 输入输出系统

- DMA方式
  - DMA基本概念
  - DMA传送方式
  - DMA控制器
  - DMA数据传送流程与DMA控制器类型
- 通道方式



# 通道基本概念

- 通道是计算机系统中代替CPU管理控制外设的独立部件，是一种能执行有限I/O指令集合—通道命令的I/O处理机
- 在通道控制方式中，一个主机可以连接几个通道每个通道又可连接多台I/O设备，这些设备可具有不同速度，可以是不同种类。
- 这种输入输出系统增强了主机与通道操作的并行能力以及各通道之间、同一通道的各设备之间的并行操作能力。同时也为用户提供了增减外围设备的灵活性。

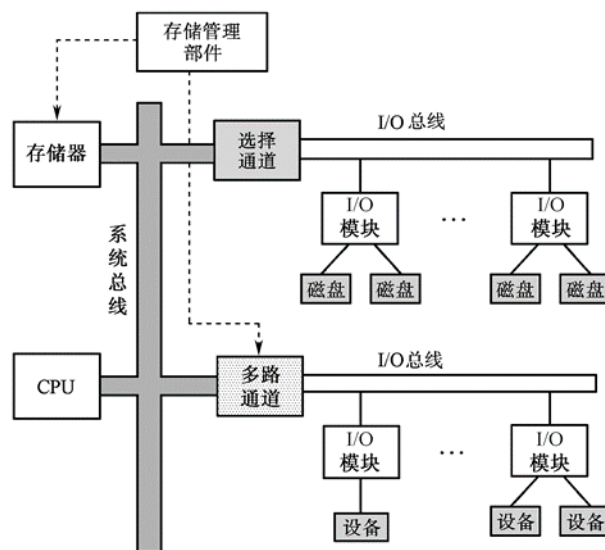


# 通道功能

- 执行通道指令，组织外围设备和内存进行数据传输，按I/O指令要求启动外围设备，向CPU报告中断等，具体有以下五项任务：
  - 接受CPU的I/O指令
  - 从内存选取属于该通道程序的通道指令，经译码后向设备控制器和设备发送各种命令。
  - 组织外围设备和内存之间进行数据传送
  - 从外围设备得到设备的状态信息，形成并保存通道本身的状态信息
  - 将外围设备的中断请求和通道本身的中断请求，按次序及时报告CPU

# 通道结构

- 采用通道方式组织输入输出系统，多使用主机—通道—设备控制器—I/O设备四级连接方式。
- 在CPU启动通道后，通道自动地去内存取出通道指令并执行指令。直到数据交换过程结束向CPU发出中断请求，进行通道结束处理工作。





# 通道类型

- **选择通道**
  - 每次只能从所连接的设备中选择一台I/O设备的通道程序，此刻该通道程序独占了整个通道
  - 连接在选择通道上若干设备，依次使用通道与主存传送数据
- **字节多路通道**
  - 字节多路通道包括多个子通道，每个子通道服务于一个设备控制器，可以独立地执行通道指令
  - 每种设备分时占用一个很短的时间片，不同的设备在各自分得的时间片内与通道建立传输连接
- **数组多路通道**
  - 数组多路通道把字节多路通道和选择通道的特点结合起来