



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

网络空间安全学院



第八章 输入输出系统

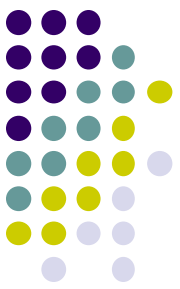
- 程序查询方式
- 程序中断方式
 - 中断基本概念与I/O接口
 - 单级中断
 - 多级中断
 - 中断控制器



程序查询方式

- **程序查询方式**是早期计算机中使用的一种方式，数据在CPU和外围设备之间的传送**完全靠计算机程序控制**
- 流程
 - CPU（定期）查询外围设备接口状态
 - 若发现设备有待传输数据（准备就绪）
 - CPU通过总线取走数据进行处理
 - 向设备发送传送成功信息（恢复状态）
- 全部**编程控制，灵活配置，无需硬件配合**





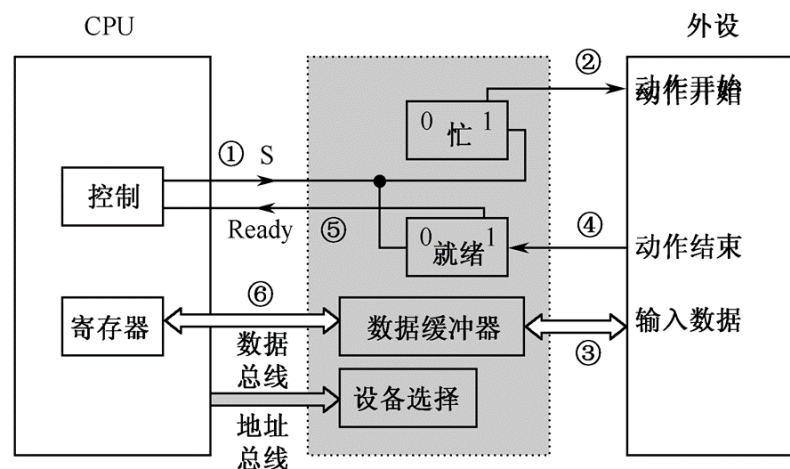
设备编址

- 外围设备有两种不同的编址方法
 - 统一编址
 - 输入/输出设备中的控制寄存器、数据寄存器、状态寄存器等和内存单元一样看待，它们和内存单元联合在一起编排地址，使用相同指令
 - 无需单独命令，通过地址区分内存单元与外围设备
 - 单独（独立）编址
 - 内存地址和I/O设备地址是分开的，访问内存和访问I/O设备使用不同操作码的指令，访问I/O设备有专门的I/O指令组（指令区分内存与外围设备）
 - 可扩展内存实际可使用空间（地址线位数固定）

输入输出指令



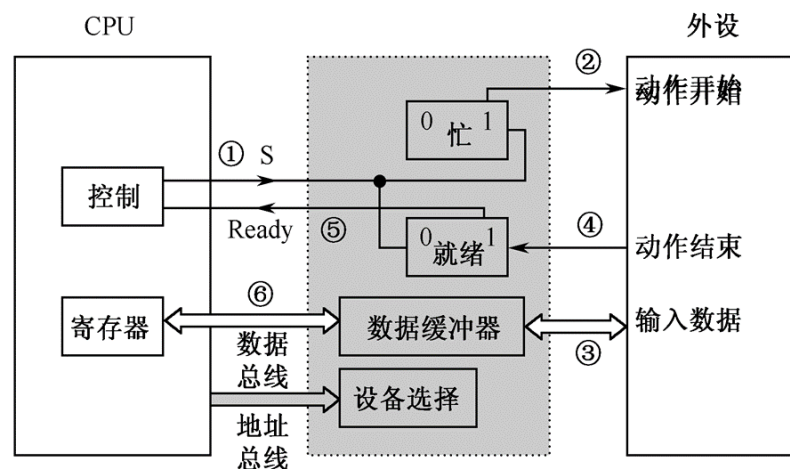
- 输入输出指令一般功能：
 - 置1或置0
 - I/O接口的某些控制触发器，用于控制设备进行某些动作
 - 如启动、关闭设备等
 - 测试设备的某些状态
 - 如“忙”、“准备就绪”等，以便决定下一步的操作
 - 传送数据
 - 输入/输出数据



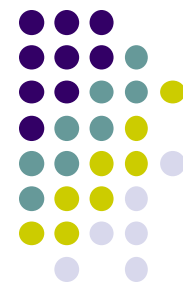
程序查询接口



- 设备选择电路
 - 每个设备接口电路都包含一个设备选择电路，用它判别地址总线上呼叫的设备是不是本设备
- 数据缓冲寄存器
 - 实现CPU与外设之间数据输入输出操作的缓冲，实现速率匹配
- 设备状态标志
 - 是接口中的标志触发器，如“忙”、“准备就绪”、“错误”等，用来标志设备的工作状态，以便接口对外设动作进行监视



程序查询流程



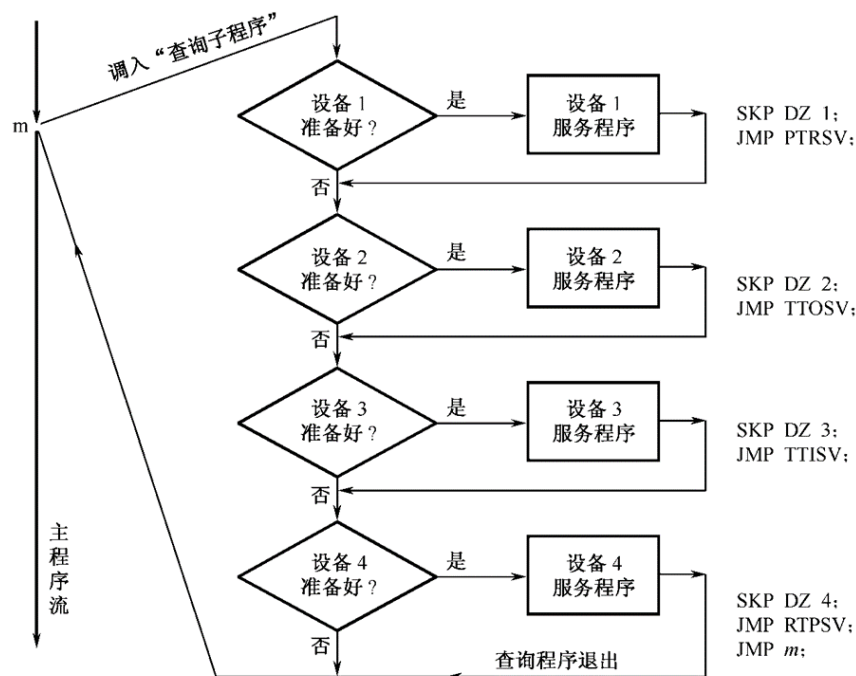
(1) 先向I/O设备**发出命令字**，请求进行数据传送。

(2) 从I/O接口**读入状态字**。

(3) **检查状态字中的标志**，看看数据交换是否可以进行。

(4) 假如这个设备没有准备就绪，则第(2)、第(3)步重复进行，直到这个设备发出**准备就绪**信号“Ready”为止。

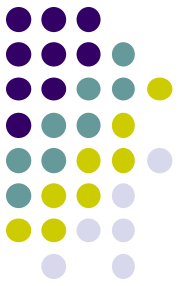
(5) **数据传输**：CPU从I/O接口的数据缓冲寄存器输入数据，或从CPU输出至接口的数据缓冲寄存器。





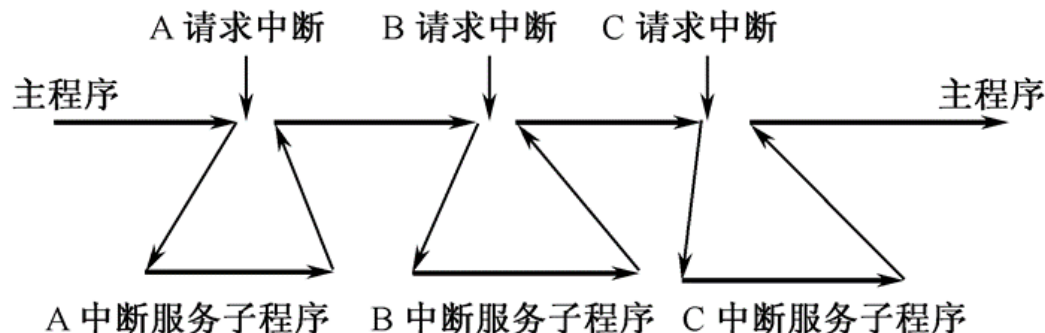
第八章 输入输出系统

- 程序查询方式
- 程序中断方式
 - 中断基本概念与I/O接口
 - 单级中断
 - 多级中断
 - 中断控制器



中断的基本概念

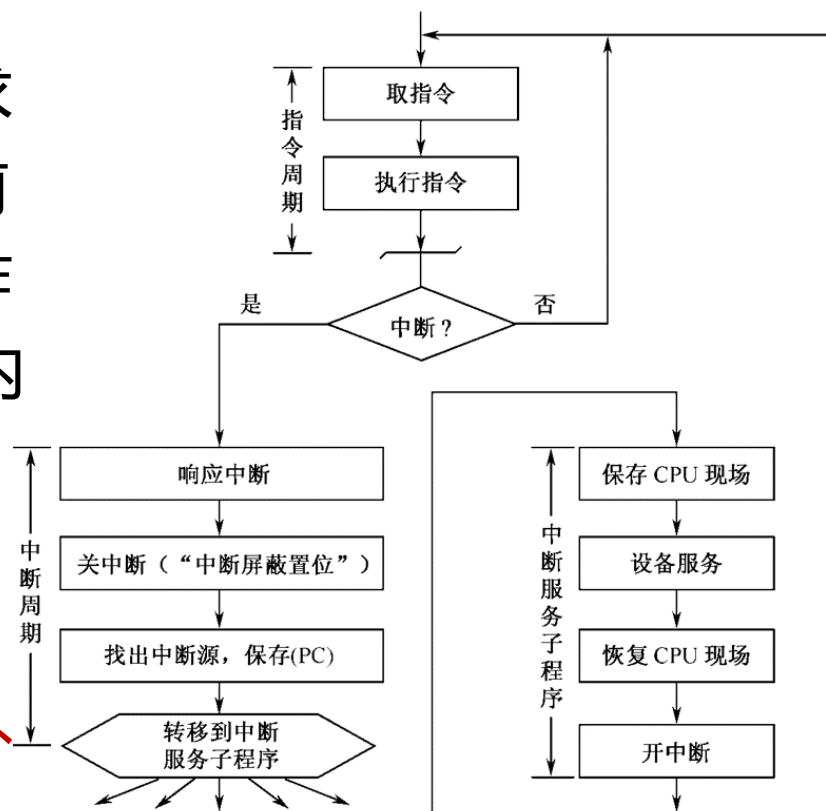
- **中断** (Interrupt) 是指CPU暂时中止现行程序，转去处理随机发生的紧急事件，处理完后自动返回原程序的功能和技术。
- **中断系统**是计算机实现中断功能的软硬件总称。一般在CPU中设置中断机构，在外设接口中设置中断控制器，在软件上设置相应的中断服务程序。

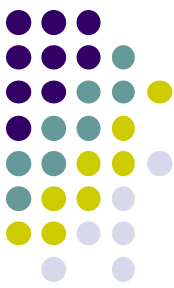


中断处理基本流程



- 中断处理过程注意几个问题：
 - **响应中断时机**：外界中断请求时随机的，但CPU只有在当前指令执行完毕后，转至公操作
 - **断点保护**问题（PC，寄存器内容和状态的保存）
 - **中断屏蔽**：开中断和关中断
 - 中断是**软硬件结合**实现的
 - 中断分为**内中断（异常）**和**外中断**





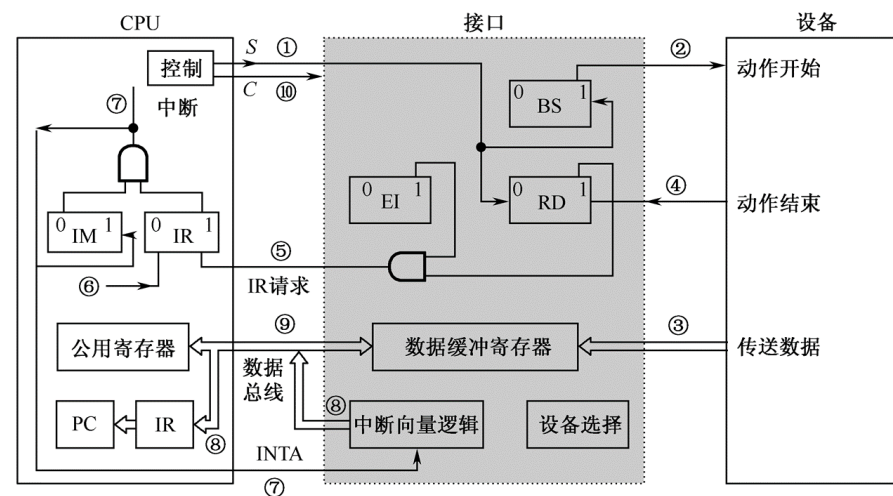
中断典型应用

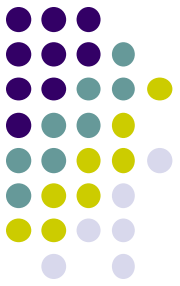
- 实现CPU与外界进行信息交换的**握手联络**
 - 中断可以实现CPU与外设的并行工作
 - 对于慢速I/O设备，使用中断方式可以有效提高CPU的效率
- **故障处理**
 - 用于处理常见的硬件故障，如掉电、校验错、运算出错等；处理常见的软件故障，如溢出、地址越界、非法指令等。
- **实时处理**
 - 中断可以保证在事件出现的实际时间内及时地进行处理
- **程序调度**
 - 中断是操作系统进行多任务调度的手段
- **软中断**（程序自愿中断）
 - 软中断不是随机发生的，而是与子程序调用功能相似，但其调用接口简单，不依赖于程序入口地址，便于软件的升级维护和调用

中断基本I/O接口



- 接口方面
 - 设备选择器：判别总线上送出的地址（或称呼叫的设备）是否为本设备
 - BS外设接口忙（BuSy）标志
 - RD外设准备就绪（ReaDy）标志
 - EI（Enable Interrupt中断允许触发器）
- CPU方面
 - IR（Interrupt Request）中断请求触发器
 - IM（Interrupt Mask）中断屏蔽触发器



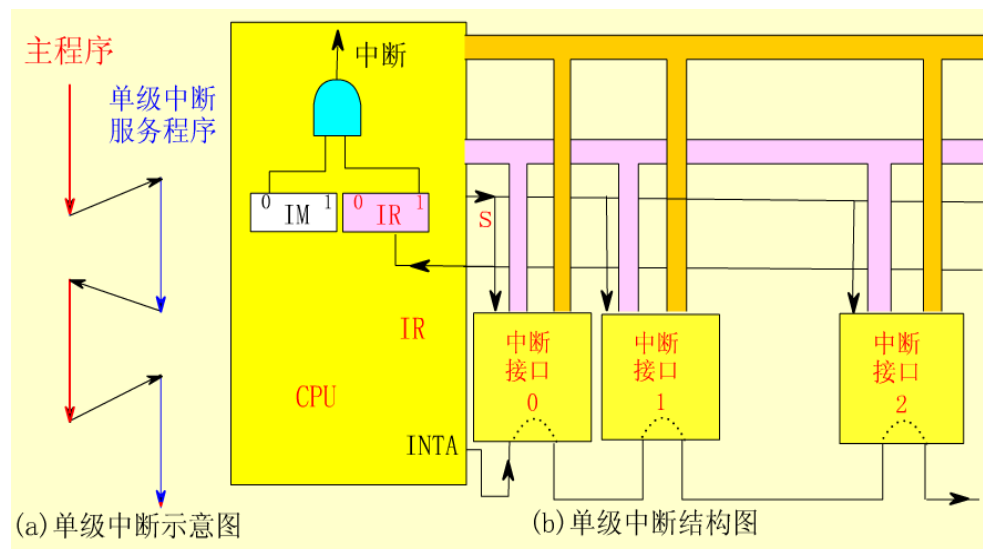


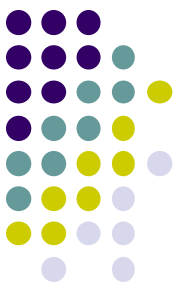
第八章 输入输出系统

- 程序查询方式
- 程序中断方式
 - 中断基本概念与I/O接口
 - 单级中断
 - 多级中断
 - 中断控制器

单级中断

- 单级中断的概念
 - 所有中断源属于同一级
(不允许嵌套)，**离CPU越近，优先级越高**
- 中断源的识别
 - 采用**串行排队链法**（对比总线仲裁）
 - IR为中断请求信号
 - INTA为中断相应信号
 - IS1~3为中断选中信号





中断向量号

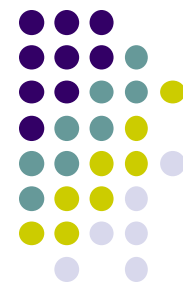
- 中断向量
 - 当CPU响应中断时，由硬件直接产生一个固定的地址（即向量地址）
 - 由向量地址指出每个中断源设备的中断服务程序入口，这种方法通常称为向量中断
 - 每个中断源分别有一个中断服务程序，而每个中断服务程序又有自己的向量地址
- 当CPU识别出某中断源时，由硬件直接产生一个与该中断源对应的向量地址，很快便引入中断服务程序



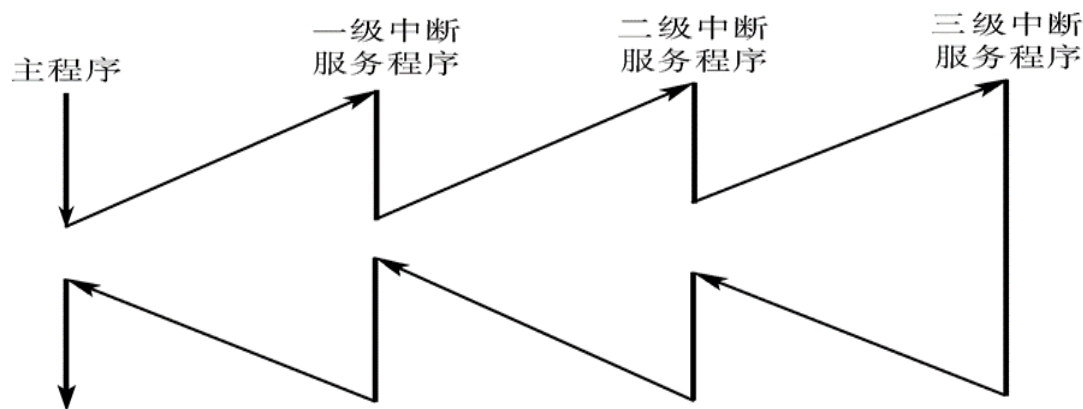
第八章 输入输出系统

- 程序查询方式
- 程序中断方式
 - 中断基本概念与I/O接口
 - 单级中断
 - 多级中断
 - 中断控制器

多级中断



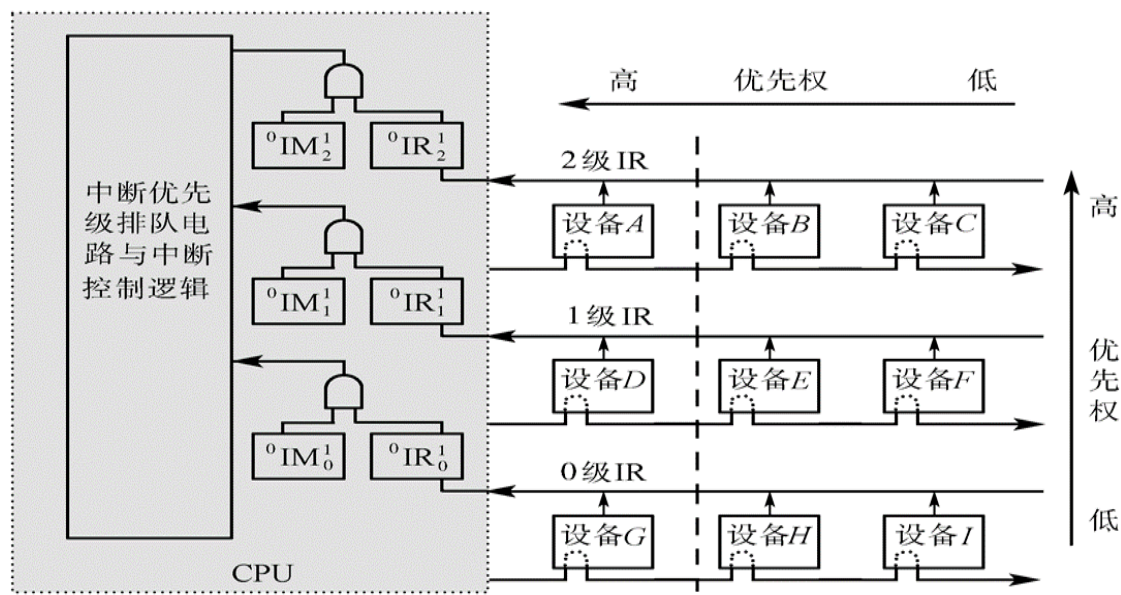
- 多级中断概念
 - 根据各中断事件的轻重缓急程度不同而分成若干级别，**每一中断级分配给一个优先权**
 - 一般说来，**优先权高的中断级可以打断优先权低的中断服务程序，以程序嵌套方式进行工作**
 - 可分为一维多级中断和二维多级中断



多级中断结构



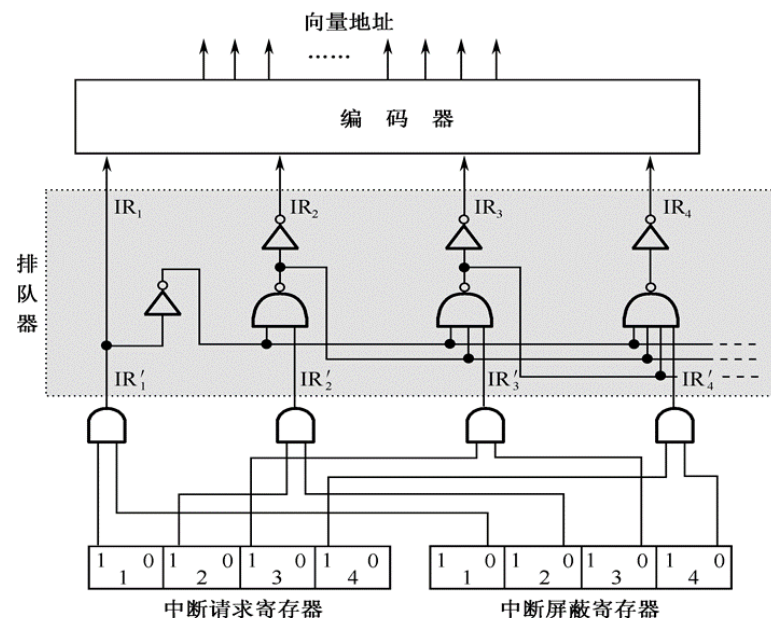
- 一个系统有 n 级中断，则CPU中有 n 个IR， n 个IM，某级中断被响应后，则关闭本级和低于本级的IM，开放更高级的IM
- 多级中断可以嵌套，但同一级的中断不允许嵌套
- 中断响应时，确定哪一级中断和中断源采用硬件实现。采用了独立请求方式和链式查询方式相结合的方式。
- 使用多级堆栈保存现场

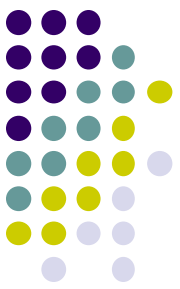


多级中断识别



- 中断请求放入中断请求寄存器
- 优先级排序 (排队器)
 - 请求源1：优先级最高
 - 请求源4：优先级最低
- 终端屏蔽寄存器
 - 决定是否响应对应请求
- 编码器：根据中断源产生中断向量号
- 例如
 - 中断请求寄存器：1111
 - 中断屏蔽寄存器：0010
 - 排队器输出：1000
 - 编码器产生中断源1对应中断向量号





多级中断例题

- 考虑A, B, C三个设备组成的单级中断结构, 它要求CPU在执行完当前指令时对中断请求进行服务
 - CPU“中断批准”机构在响应一个新的中断之前, 先要让被中断的程序的一条指令一定要执行完毕
 - TDC为查询链中每个设备的延迟时间
 - T_A , T_B , T_C 分别为设备A, B, C的服务程序所需的执行时间
 - T_S , T_R 为保存现场和恢复现场所需的时间
 - 执行一条指令时间为 T_M
- 问: 就这个中断请求环境来说, 系统在什么情况下达到中断饱和 (无法支持更大频率中断到达) ?

多级中断例题

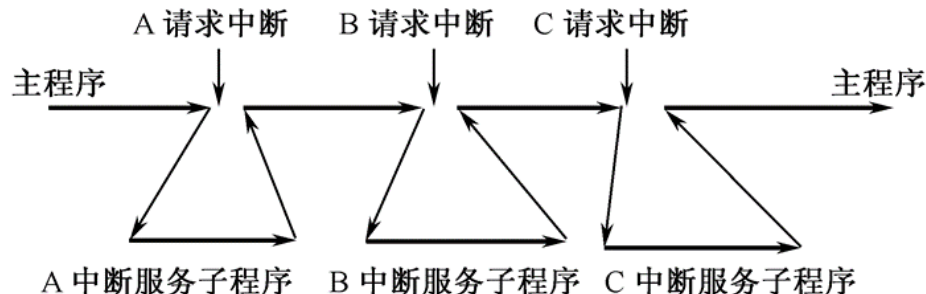


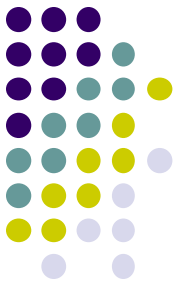
解：中断处理流程，并假设执行一条指令的时间也为 T_M 。
如果三个设备同时发出中断请求，那么依次分别处理设备A、设备B、设备C的时间如下：

- $t_A = (2)T_M + T_{DC} + T_S + T_A + T_R$
- $t_B = (2)T_M + 2T_{DC} + T_S + T_B + T_R$
- $t_C = (2)T_M + 3T_{DC} + T_S + T_C + T_R$

处理三个设备所需的总时间为： $T = t_A + t_B + t_C$

T 是达到中断饱和的最小时间，即中断极限频率为 $f = 1/T$

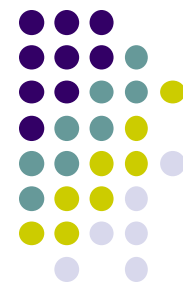




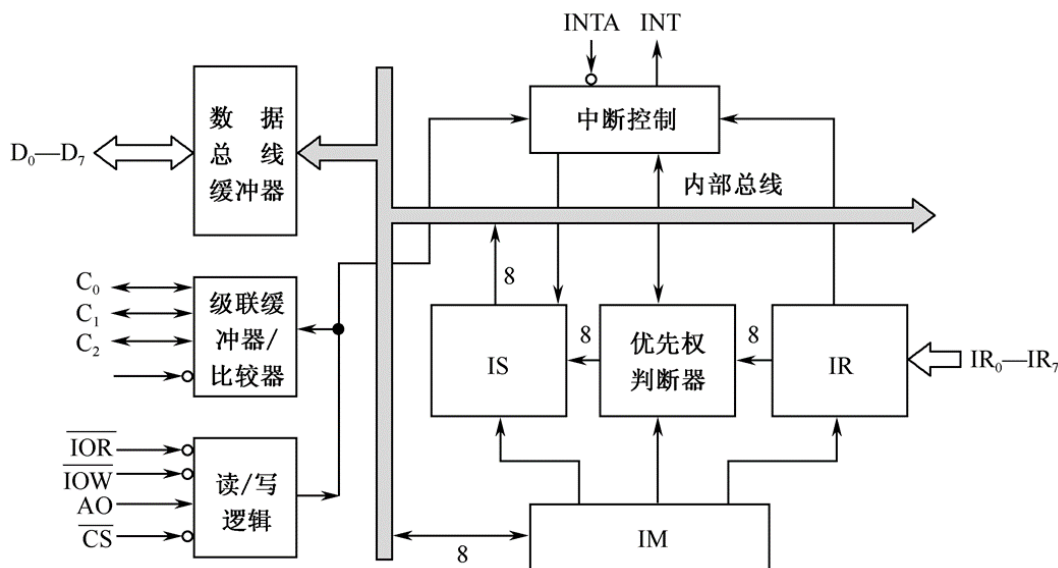
第八章 输入输出系统

- 程序查询方式
- 程序中断方式
 - 中断基本概念与I/O接口
 - 单级中断
 - 多级中断
 - 中断控制器

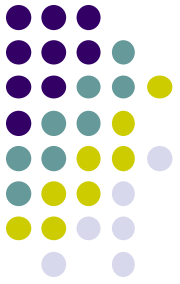
中断控制器



- 8259中断控制器是一个集成电路芯片，它将中断接口与优先级判断等功能汇集于一身，常用于微型机系统。
- 每个8259中断控制器最多能控制8个外部中断信号，但是可以将多个8259进行级联以处理多达64个中断请求。
- 8259的不同工作方式是通过编程来实现的，CPU送出一系列的初始化控制字和操作控制字来执行选定的操作。



第八章 作业



- 8-6、8-7、8-8
- 8-10、8-12、8-16



课堂作业

- 作业要求
 - 用A4纸答题，在上方标明班级、姓名、学号信息
 - 开卷（教材、课件），不允许互相交流
- 作业时间
 - 40分钟（3:35~4:15）
- 上交要求
 - 拍照，整合为pdf文件，以“学号-姓名”命名
 - 各位同学4:25以前上交至各小班学委
 - 各小班学委统计压缩后，4:50以前发至
lvxinchen@bupt.edu.cn