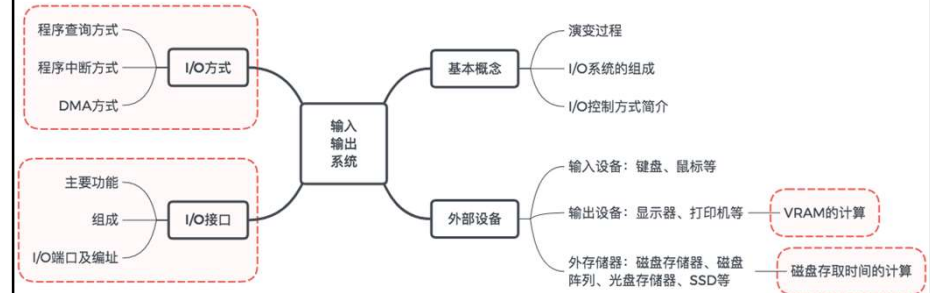


王道考研——组成原理

WWW.CSKAOYAN.COM

第七章 输入/输出系统

本章总览



王道考研/CSKAOYAN.COM

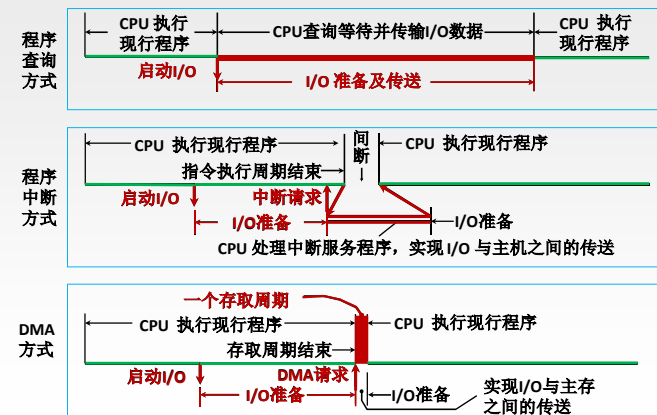
本节内容

输入/输出系统

I/O方式1 程序查询方式

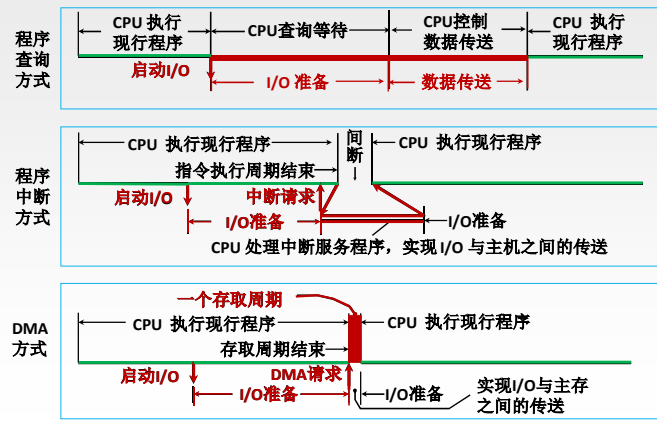
王道考研/CSKAOYAN.COM

I/O方式简介



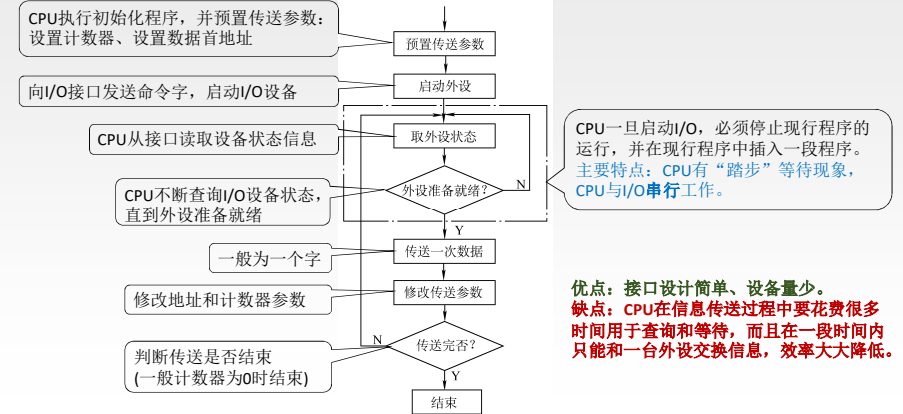
王道考研/CSKAOYAN.COM

I/O方式简介



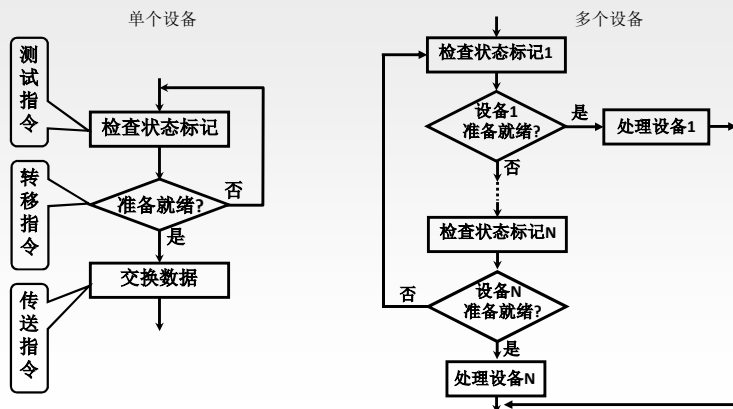
王道考研/CSKAOYAN.COM

程序查询方式流程图



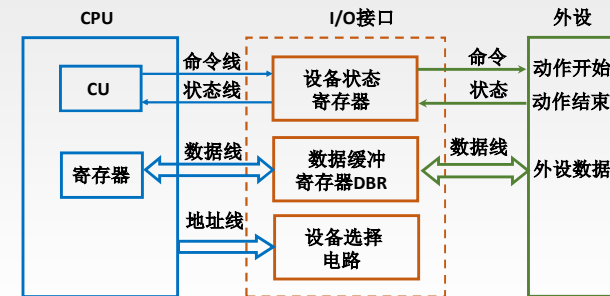
王道考研/CSKAOYAN.COM

程序查询流程



王道考研/CSKAOYAN.COM

程序查询方式接口结构



王道考研/CSKAOYAN.COM

程序查询方式-例题

在程序查询方式的输入/输出系统中，假设不考虑处理时间，每一个查询操作需要100个时钟周期，CPU的时钟频率为50MHz。现有鼠标和硬盘两个设备，而且CPU必须每秒对鼠标进行30次查询，硬盘以32位字长为单位传输数据，即每32位被CPU查询一次，传输率为 2×2^{20} B/s。求CPU对这两个设备查询所花费的时间比率，由此可得出什么结论？

时间的角度：

一个时钟周期为 $1/50\text{MHz} = 20\text{ns}$
一个查询操作耗时 $100 \times 20\text{ns} = 2000\text{ns}$

1) 鼠标

每秒查询鼠标耗时 $30 \times 2000\text{ns} = 60000\text{ns}$
查询鼠标所花费的时间比率 $= 60000\text{ns}/1\text{s} = 0.006\%$
对鼠标的查询基本不影响CPU的性能

2) 硬盘

每32位需要查询一次，每秒传送 $2 \times 2^{20}\text{B}$
每秒需要查询 $(2 \times 2^{20}\text{B})/32 = 2^{19}$ 次
查询硬盘耗时 $2^{19} \times 2000\text{ns} = 512 \times 1024 \times 2000\text{ns}$
 $\approx 1.05 \times 10^9 \text{ ns}$
查询硬盘所花费的时间比率 $= (1.05 \times 10^9 \text{ ns})/1\text{s}$
 $= 105\%$

CPU将全部时间都用于对硬盘的查询也不能满足磁盘传输的要求

频率的角度：

CPU的时钟频率为50MHz，即每秒 50×10^6 个时钟周期

1) 鼠标

每秒查询鼠标占用的时钟周期数 $30 \times 100 = 3000$
查询鼠标所花费的时间比率 $= 3000/(50 \times 10^6) = 0.006\%$
对鼠标的查询基本不影响CPU的性能

2) 硬盘

每秒需要查询 $(2 \times 2^{20}\text{B})/32 = 2^{19}$ 次
每秒查询硬盘占用的时钟周期数 $2^{19} \times 100 \approx 5.24 \times 10^7$
查询硬盘所花费的时间比率 $= (5.24 \times 10^7)/(50 \times 10^6)$
 $\approx 105\%$

CPU将全部时间都用于对硬盘的查询也不能满足磁盘传输的要求

王道考研/CSKAQYAN.COM

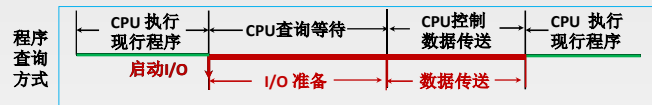
本节内容

输入/输出系统

I/O方式2 程序中断方式

王道考研/CSKAQYAN.COM

本节回顾

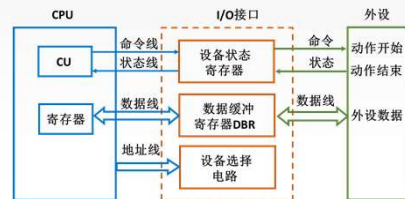


CPU一旦启动I/O，必须停止现行程序的运行，并在现行程序中插入一段程序。

主要特点：CPU有“踏步”等待现象，CPU与I/O串行工作。

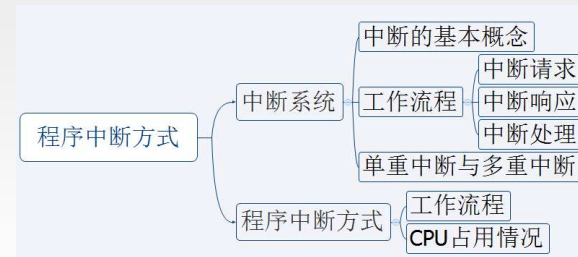
优点：接口设计简单、设备量少。

缺点：CPU在信息传送过程中要花费很多时间用于查询和等待，而且在一段时间内只能和一台外设交换信息，效率大大降低。



王道考研/CSKAQYAN.COM

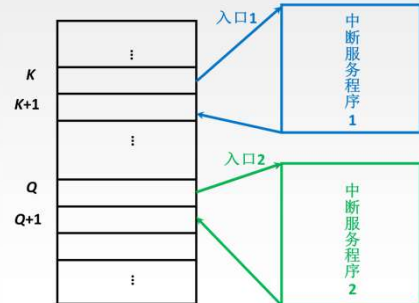
本节总览



王道考研/CSKAQYAN.COM

中断的基本概念

程序中断是指在计算机执行现行程序的过程中，出现某些急需处理的异常情况或特殊请求，CPU暂时中止现行程序，而转去对这些异常情况或特殊请求进行处理，在处理完毕后CPU又自动返回到现行程序的断点处，继续执行原程序。

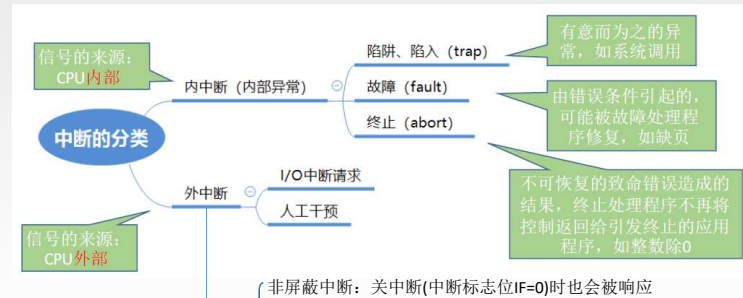


工作流程：

1. 中断请求
中断源向CPU发送中断请求信号。
2. 中断响应
响应中断的条件。
中断判优：多个中断源同时提出请求时通过中断判优逻辑响应一个中断源。
3. 中断处理
中断隐指令。
中断服务程序。

王道考研/CSKAOYAN.COM

中断请求的分类



非屏蔽中断：关中断(中断标志位IF=0)时也会被响应

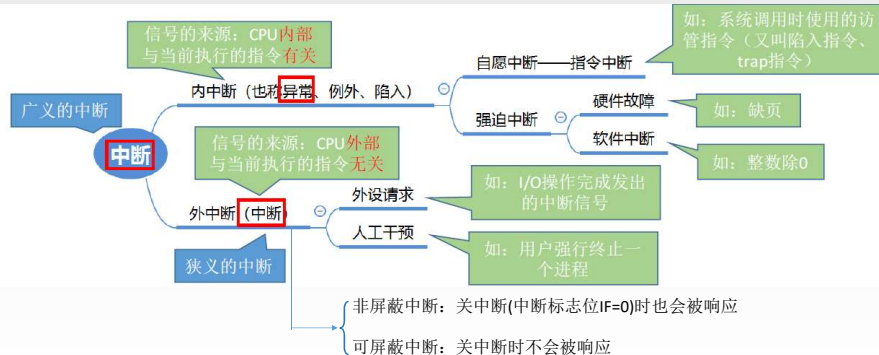
可屏蔽中断：关中断时不会被响应

IF: Interrupt Flag, 存在PSW中, 8088芯片的PSW如下

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
				OF	DF	IF	TF	SF	ZF	AF	PF				CF

王道考研/CSKAOYAN.COM

中断请求的分类



IF: Interrupt Flag, 存在PSW中, 8088芯片的PSW如下

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
				OF	DF	IF	TF	SF	ZF	AF	PF				CF

王道考研/CSKAOYAN.COM

中断请求标记

每个中断源向CPU发出中断请求的时间是随机的。为了记录中断事件并区分不同的中断源，中断系统需对每个中断源设置**中断请求标记触发器INTR_n**，当其状态为“1”时，表示中断源有请求。这些触发器可组成中断请求标记寄存器，该寄存器可集中在CPU中，也可分散在各个中断源中。

INTR ₁	INTR ₂	INTR ₃	INTR ₄	...	INTR _{n-1}	INTR _n
0	0	0	1	...	0	1
掉电	过热	阶上溢	非法除法		光电输入机	打印输出机

对于执行时间很长的指令，可在执行过程中设置若干个“查询断点”

对于**外中断**，CPU是在统一的时刻即**每条指令执行阶段结束前**向接口发出**中断查询信号**，以获取I/O的中断请求，也就是说，CPU**响应中断的时间是在每条指令执行阶段的结束时刻**。

CPU响应中断必须满足以下3个条件：

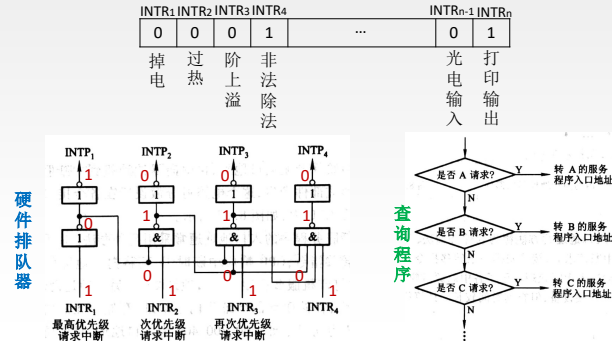
- ① 中断源有中断请求。
- ② CPU允许中断即开中断。
- ③ 一条指令执行完毕，且没有更紧迫的任务。

王道考研/CSKAOYAN.COM

中断判优-实现

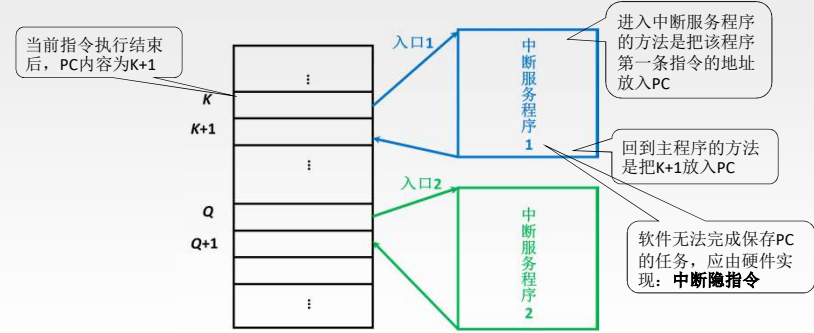
中断判优既可以用硬件实现，也可用软件实现：

硬件实现是通过**硬件排队器**实现的，它既可以设置在CPU中，也可以分散在各个中断源中；软件实现是通过**查询程序**实现的。



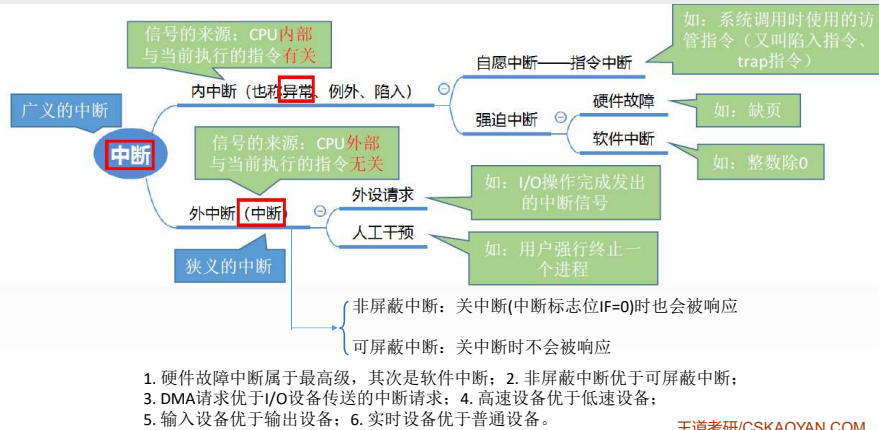
王道考研/CSKAOYAN.COM

中断处理过程



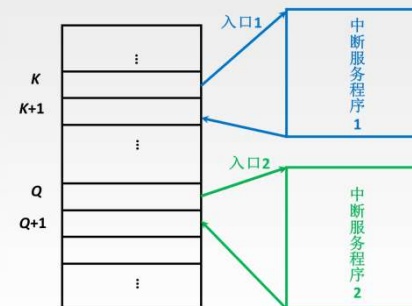
王道考研/CSKAOYAN.COM

中断判优-优先级设置



王道考研/CSKAOYAN.COM

中断处理过程-中断隐指令



中断隐指令的主要任务：

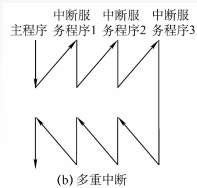
- 关中断。**在中断服务程序中，为了保护中断现场（即CPU主要寄存器中的内容）期间不被新的中断所打断，必须关中断，从而保证被中断的程序在中断服务程序执行完毕之后能接着正确地执行下去。
- 保存断点。**为了保证在中断服务程序执行完毕后能正确地返回到原来的程序，必须将原来程序的断点（即程序计数器（PC）的内容）保存起来。可以存入堆栈，也可以存入指定单元。
- 引出中断服务程序。**引出中断服务程序的实质就是取出中断服务程序的入口地址并传送给程序计数器（PC）。

软件查询法

硬件向量法

王道考研/CSKAOYAN.COM

单重中断与多重中断



	单重中断	多重中断
中断隐指令	关中断 保存断点 (PC) 送中断向量	关中断 保存断点 (PC) 送中断向量
中断服务程序	保护现场 - 执行中断服务程序 - 恢复现场 开中断 中断返回	保护现场和屏蔽字 开中断 执行中断服务程序 关中断 恢复现场和屏蔽字 开中断 中断返回

王道考研/CSKAQYAN.COM

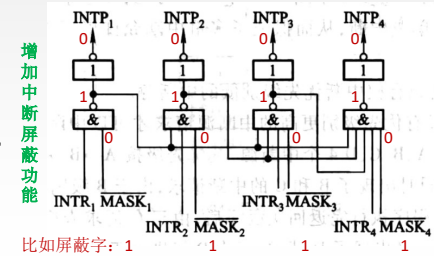
中断屏蔽技术

中断屏蔽技术主要用于多重中断，CPU要具备多重中断的功能，须满足下列条件。

- ① 在中断服务程序中提前设置开中断指令。
 - ② 优先级别高的中断源有权中断优先级别低的中断源。
- 每个中断源都有一个屏蔽触发器，1表示屏蔽该中断源的请求，0表示可以正常申请，所有屏蔽触发器组合在一起，便构成一个屏蔽字寄存器，屏蔽字寄存器的内容称为屏蔽字。

屏蔽字设置的规律：

1. 一般用'1'表示屏蔽，'0'表示正常申请。
2. 每个中断源对应一个屏蔽字(在处理该中断源的中断服务程序时，屏蔽寄存器中的内容为该中断源对应的屏蔽字)。
3. 屏蔽字中'1'越多，优先级越高。每个屏蔽字中至少有一个'1'(至少要能屏蔽自身的中断)。



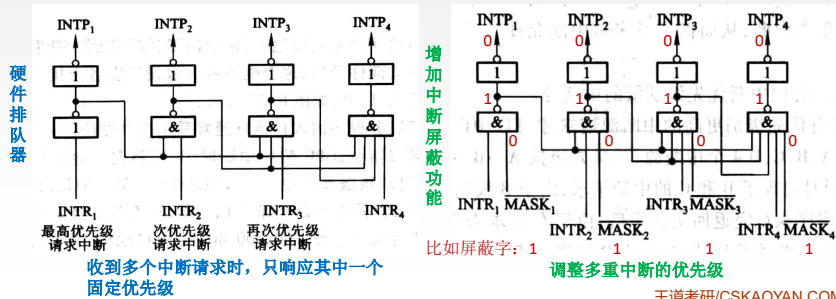
王道考研/CSKAQYAN.COM

中断屏蔽技术

中断屏蔽技术主要用于多重中断，CPU要具备多重中断的功能，须满足下列条件。

- ① 在中断服务程序中提前设置开中断指令。
- ② 优先级别高的中断源有权中断优先级别低的中断源。

每个中断源都有一个屏蔽触发器，1表示屏蔽该中断源的请求，0表示可以正常申请，所有屏蔽触发器组合在一起，便构成一个屏蔽字寄存器，屏蔽字寄存器的内容称为屏蔽字。

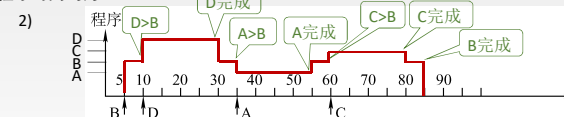


王道考研/CSKAQYAN.COM

中断屏蔽技术

设某机有4个中断源A、B、C、D，其硬件排队优先次序为A>B>C>D，现要求将中断处理次序改为D>A>C>B。

- 1) 写出每个中断源对应的屏蔽字。
- 2) 按下图所示的时间轴给出的4个中断源的请求时刻，画出CPU执行程序的轨迹。设每个中断源的中断服务程序时间均为20us。

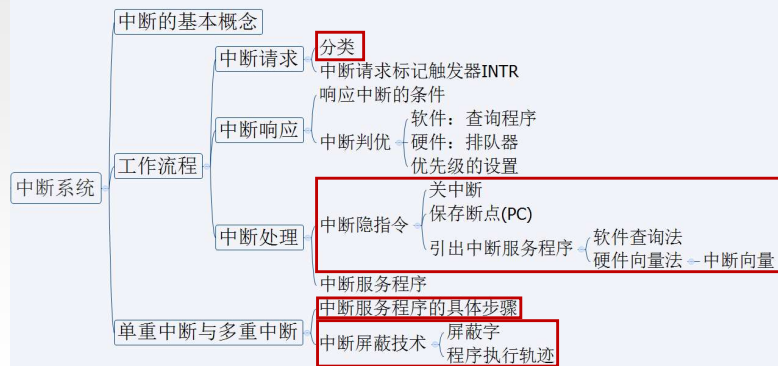


中 断 源	屏 蔽 字			
	A	B	C	D
A	1	1	1	0
B	0	1	0	0
C	0	1	1	0
D	1	1	1	1

中断源A的屏蔽字为1110
中断源B的屏蔽字为0100
中断源C的屏蔽字为0110
中断源D的屏蔽字为1111

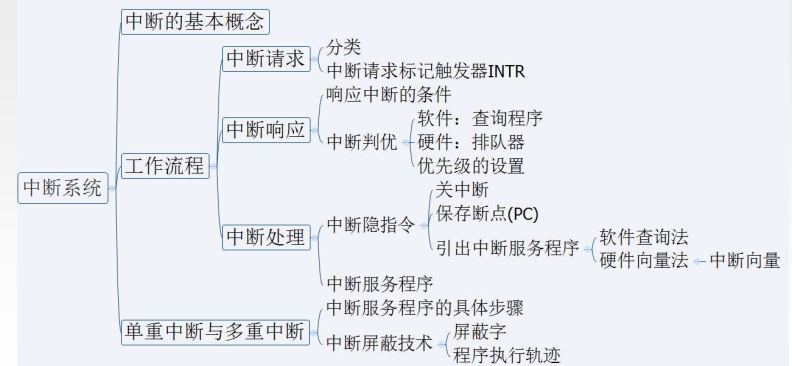
王道考研/CSKAQYAN.COM

中断系统小结



王道考研/CSKAOYAN.COM

中断系统小结



王道考研/CSKAOYAN.COM

本节内容

输入/输出系统

I/O方式2 程序中断方式 续

王道考研/CSKAOYAN.COM

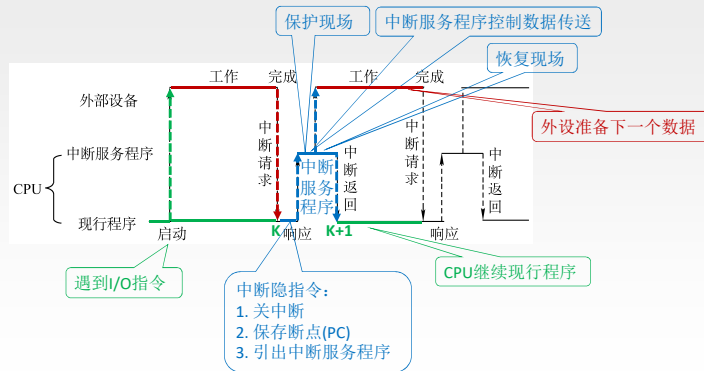
中断系统小结

程序中断的作用如下:

- ① 实现CPU与I/O设备的并行工作。
- ② 处理硬件故障和软件错误。
- ③ 实现人机交互, 用户干预机器需要用到中断系统。
- ④ 实现多道程序、分时操作, 多道程序的切换需借助于中断系统。
- ⑤ 实时处理需要借助中断系统来实现快速响应。
- ⑥ 实现应用程序和操作系统(管态程序)的切换, 称为“软中断”。
- ⑦ 多处理器系统中各处理器之间的信息交流和任务切换。

王道考研/CSKAOYAN.COM

程序中断方式



王道考研/CSKAQYAN.COM

程序中断方式

假定CPU主频为50MHz，CPI为4。设备D采用异步串行通信方式向主机传送7位ASCII字符，通信规程中有1位奇校验位和1位停止位，从D接收启动命令到字符送入I/O端口需要0.5ms。请回答下列问题，要求说明理由。
1) 每传送一个字符，在异步串行通信线上共需传输多少位？在设备D持续工作过程中，每秒钟最多可向I/O端口送入多少个字符？



至少包含1位起始位和1位停止位，停止位可能有多位。

每传送一个字符需要传送1位起始位、7位数据位、1位校验位、1位停止位，共需传送10位。

每0.5ms可送入1个字符

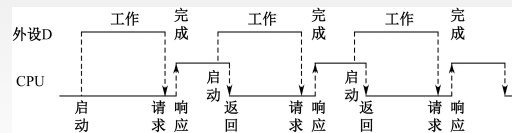
每秒可送入 $1s/0.5ms = 2000$ 个字符

王道考研/CSKAQYAN.COM

程序中断方式

假定CPU主频为50MHz，CPI为4。设备D采用异步串行通信方式向主机传送7位ASCII字符，通信规程中有1位奇校验位和1位停止位，从D接收启动命令到字符送入I/O端口需要0.5ms。请回答下列问题，要求说明理由。
1) 每传送一个字符，在异步串行通信线上共需传输多少位？在设备D持续工作过程中，每秒钟最多可向I/O端口送入多少个字符？

2) 设备D采用中断方式进行输入/输出，示意图如下：

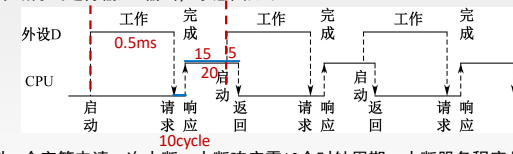


I/O端口每收到一个字符申请一次中断，中断响应需10个时钟周期，中断服务程序共有20条指令，其中第15条指令启动D工作。若CPU需从D读取1000个字符，则完成这一任务所需时间大约是多少个时钟周期？CPU用于完成这一任务的时间大约是多少个时钟周期？在中断响应阶段CPU进行了哪些操作？

王道考研/CSKAQYAN.COM

程序中断方式

假定CPU主频为50MHz，CPI为4。设备D采用异步串行通信方式向主机传送7位ASCII字符，通信规程中有1位奇校验位和1位停止位，从D接收启动命令到字符送入I/O端口需要0.5ms。请回答下列问题，要求说明理由。
2) 设备D采用中断方式进行输入/输出，示意图如下：



I/O端口每收到一个字符申请一次中断，中断响应需10个时钟周期，中断服务程序共有20条指令，其中第15条指令启动D工作。若CPU需从D读取1000个字符，则完成这一任务所需时间大约是多少个时钟周期？CPU用于完成这一任务的时间大约是多少个时钟周期？在中断响应阶段CPU进行了哪些操作？

主频50MHz，时钟周期为 $1/50\text{MHz} = 20\text{ns}$

0.5ms对应时钟周期数为 $0.5\text{ms}/20\text{ns} = 25000$

传送1个字符需要的时钟周期数为 $25000 + 10 + 15 \times 4 = 25070$

传送1000个字符需要的时钟周期数为 $25070 \times 1000 = 25070000$

CPU用于该任务的时间大约为 $1000 \times (10 + 20 \times 4) = 9 \times 10^4$ 个时钟周期

中断隐指令：

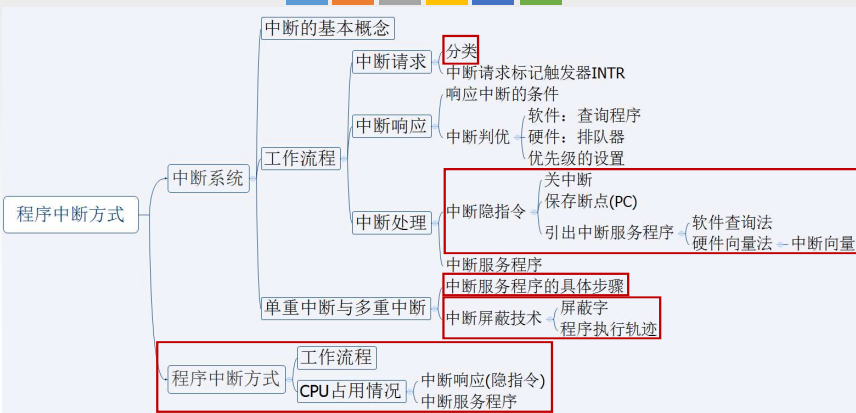
1. 关中断

2. 保存断点(PC)

3. 引出中断服务程序

王道考研/CSKAQYAN.COM

本节回顾



王道考研/CSKAQYAN.COM

本节总览



王道考研/CSKAQYAN.COM

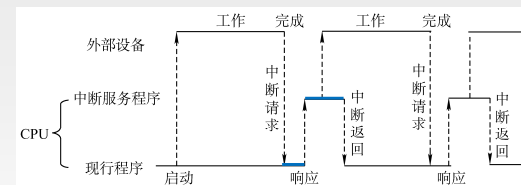
本节内容

输入/输出
系统

I/O方式3
DMA方式

王道考研/CSKAQYAN.COM

DMA控制器

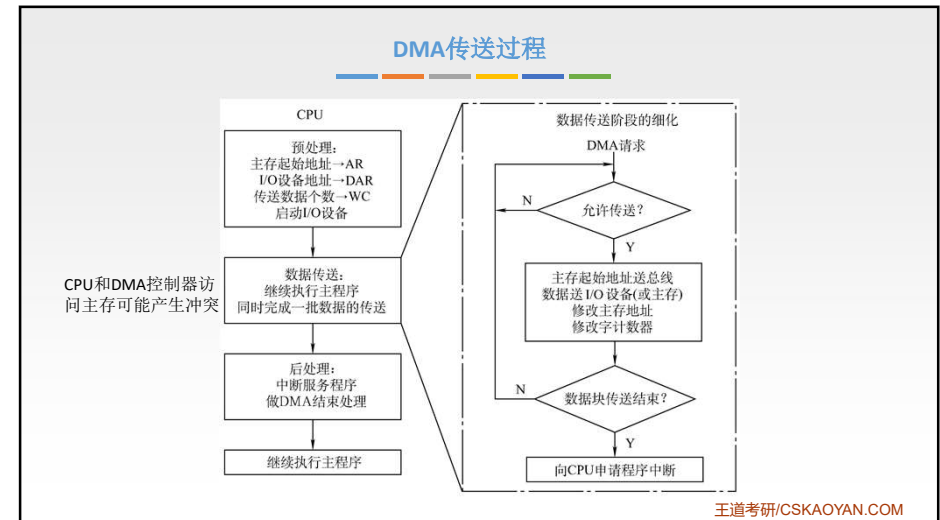
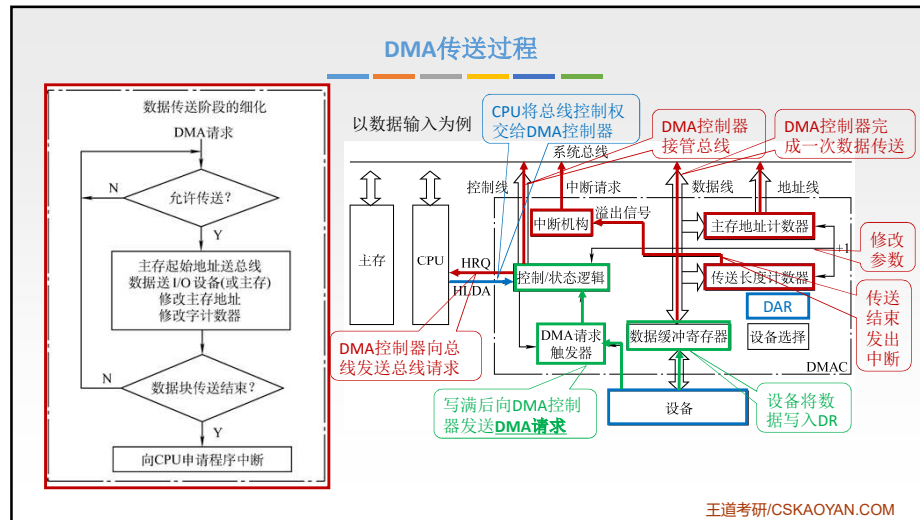
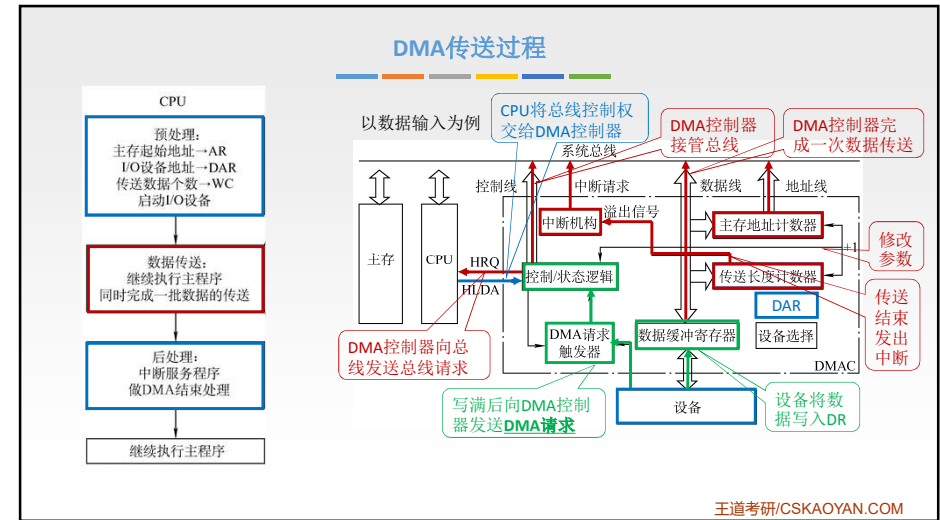
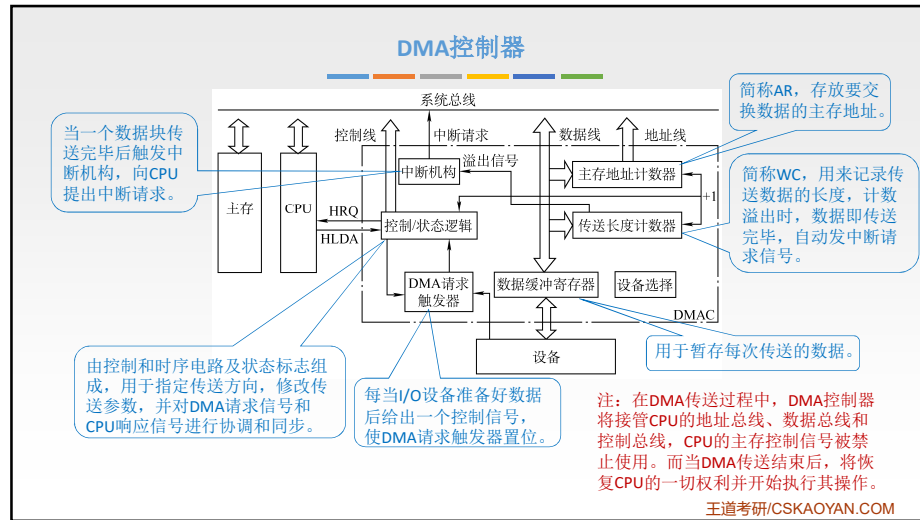


每准备好一个数据都要中断CPU，由CPU运行中断服务程序来完成一次传送
磁盘机、磁带机等高速设备需要大量的数据传送 → CPU大量时间用于中断服务
由硬件实现控制大量的数据传送 → DMA控制器

在DMA方式中，当I/O设备需要进行数据传送时，通过DMA控制器(DMA接口)向CPU提出DMA传送请求，CPU响应之后将让出系统总线，由DMA控制器接管总线进行数据传送。其主要功能有：

- 传送前 {
- 1) 接受外设发出的DMA请求，并向CPU发出总线请求。
 - 2) CPU响应此总线请求，发出总线响应信号，接管总线控制权，进入DMA操作周期。
- 传送时 {
- 3) 确定传送数据的主存单元地址及长度，并能自动修改主存地址计数和传送长度计数。
 - 4) 规定数据在主存和外设间的传送方向，发出读写等控制信号，执行数据传送操作。
- 传送后 {
- 5) 向CPU报告DMA操作的结束。

王道考研/CSKAQYAN.COM



DMA传送方式

主存和DMA控制器之间有一条数据通路，因此主存和I/O设备之间交换信息时，不通过CPU。但当I/O设备和CPU同时访问主存时，可能发生冲突，为了有效地使用主存，DMA控制器与CPU通常采用以下3种方法使用主存。

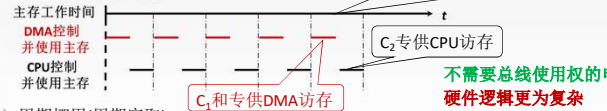
(1) 停止CPU访问主存



控制简单

CPU 处于不工作状态或保持状态
未充分发挥 CPU 对主存的利用率

(2) DMA与CPU交替访存



不需要总线使用权的申请、建立和归还过程
硬件逻辑更为复杂

(3) 周期挪用(周期窃取)



DMA 访问主存有三种可能:
CPU 此时不访存 (不冲突)
CPU 正在访存 (存取周期结束让出总线)
CPU 与 DMA 同时请求访存 (I/O访存优先)

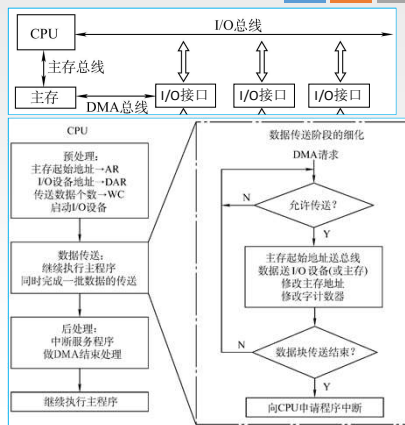
王道考研/CSKAQYAN.COM

DMA方式与中断方式

	中断	DMA
数据传送	程序控制 程序的切换 → 保存和恢复现场	硬件控制 CPU只需进行预处理和后处理
中断请求	传送数据	后处理
响应	指令执行周期结束后响应中断	每个机器周期结束均可，总线空闲时即可响应DMA请求
场景	CPU控制，低速设备	DMA控制器控制，高速设备
优先级	优先级低于DMA	优先级高于中断
异常处理	能处理异常事件	仅传送数据

王道考研/CSKAQYAN.COM

DMA方式的特点



主存和DMA接口之间有一条直接数据通路。由于DMA方式传送数据不需要经过CPU，因此不必中断现行程序，I/O与主机并行工作，程序和传送并行工作。

DMA方式具有下列特点：

- ① 它使主存与CPU的固定联系脱钩，主存既被CPU访问，又可被外设访问。
- ② 在数据块传送时，主存地址的确定、传送数据的计数等都由硬件电路直接实现。
- ③ 主存中要开辟专用缓冲区，及时供给和接收外设的数据。
- ④ DMA传送速度快，CPU和外设并行工作，提高了系统效率。
- ⑤ DMA在传送开始前要通过程序进行预处理，结束后要通过中断方式进行后处理。

王道考研/CSKAQYAN.COM

CPU占用情况

某计算机的CPU主频为500MHz，CPI为5（即执行每条指令平均需5个时钟周期）。假定某外设的数据传输率为0.5MB/s。采用中断方式与主机进行数据传送，以32位为传输单位，对应的中断服务程序包含18条指令，中断服务的其他开销相当于2条指令的执行时间。请回答下列问题，要求给出计算过程。

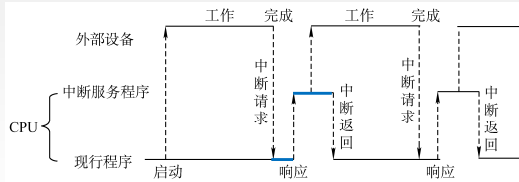
- 1) 在中断方式下，CPU用于该外设I/O的时间占整个CPU时间的百分比是多少？
- 2) 当该外设的数据传输率达到5MB/s时，改用DMA方式传送数据。假定每次DMA传送块大小为5000B，且DMA预处理和后处理的总开销为500个时钟周期，则CPU用于该外设I/O的时间占整个CPU时间的百分比是多少？（假设DMA与CPU之间没有访存冲突）

王道考研/CSKAQYAN.COM

CPU占用情况

某计算机的CPU主频为500MHz，CPI为5（即执行每条指令平均需5个时钟周期）。假定某外设的数据传输率为0.5MB/s，采用中断方式与主机进行数据传送，以32位为传输单位，对应的中断服务程序包含18条指令，中断服务的其他开销相当于2条指令的执行时间。请回答下列问题，要求给出计算过程。

1) 在中断方式下，CPU用于该外设I/O的时间占整个CPU时间的百分比是多少？



则1s内用于处理中断的时钟周期数(开销)为 $125000 \times 100 = 12.5M$ 个

故CPU用于外设I/O的时间占整个CPU时间的百分比为 $12.5M \div 500M = 2.5\%$

若外设速度达到5MB/s，则故CPU用于外设I/O的时间占整个CPU时间的百分比为25%

每传送一次数据，占用CPU的时间为 $(18+2) \times 5 = 100$ 个时钟周期

外设准备32位的数据需要的时间为 $32 \text{bit} \div 0.5 \text{MB/s} = 8 \times 10^{-6} \text{s}$

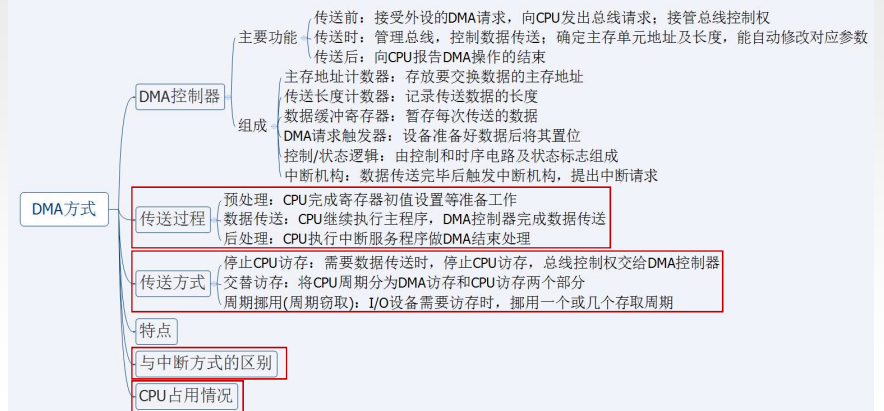
每秒可准备的数据个数为 $1 \text{s} \div 8 \times 10^{-6} \text{s} = 125000$ 个

即每秒需中断的次数为125000次

每秒传送次数 = $\frac{\text{外设数据传输率}}{\text{传输单位}}$

王道考研/CSKAQYAN.COM

本节回顾



CPU占用情况

某计算机的CPU主频为500MHz，CPI为5（即执行每条指令平均需5个时钟周期）。假定某外设的数据传输率为0.5MB/s，采用中断方式与主机进行数据传送，以32位为传输单位，对应的中断服务程序包含18条指令，中断服务的其他开销相当于2条指令的执行时间。请回答下列问题，要求给出计算过程。

2) 当该外设的数据传输率达到5MB/s时，改用DMA方式传送数据。假定每次DMA传送块大小为5000B，且DMA预处理和后处理的总开销为500个时钟周期，则CPU用于该外设I/O的时间占整个CPU时间的百分比是多少？（假设DMA与CPU之间没有访存冲突）

当外设数据传输率提高到5MB/s时改用DMA方式传送，每次DMA传送一个数据块，大小为5000B，则1s内需产生的DMA次数为 $5 \text{MB} \div 5000 \text{B} = 1000$ 次

CPU用于DMA处理的总开销为 $1000 \times 500 = 0.5M$ 个时钟周期

CPU用于外设I/O的时间占整个CPU时间的百分比为 $0.5M \div 500M = 0.1\%$

采用中断方式时，若外设速度达到5MB/s，则故CPU用于外设I/O的时间占整个CPU时间的百分比为25%

王道考研/CSKAQYAN.COM