

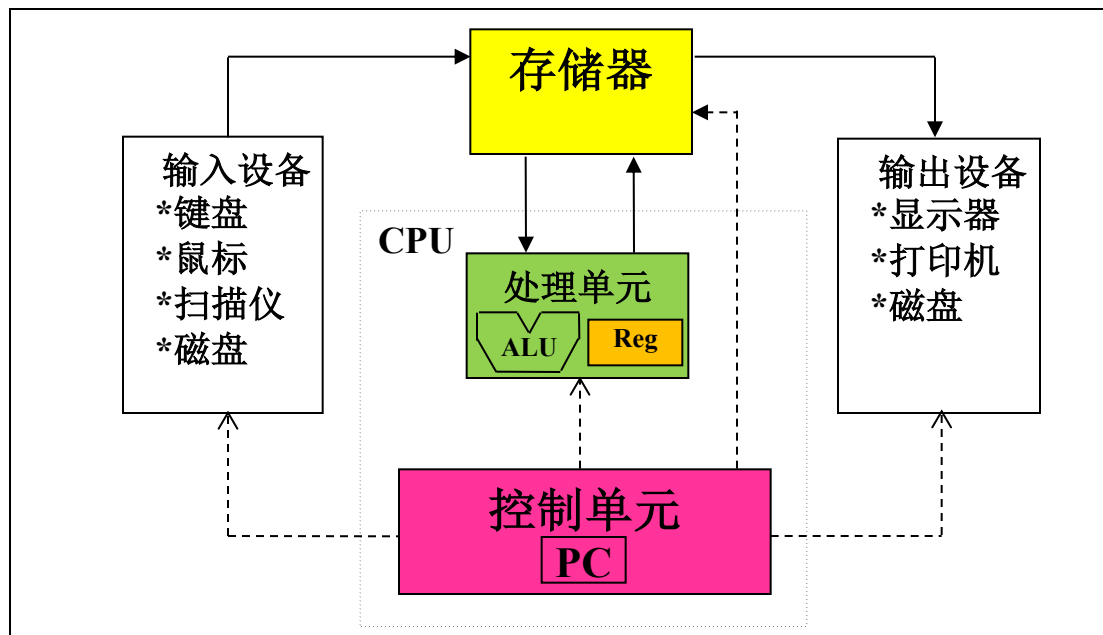
# 第十二章 输入和输出

# 输入和输出

- 可以通过执行TRAP指令来完成输入和输出（第9章）
- TRAP指令调用的是操作系统的I/O设备管理例程（第12、13章）

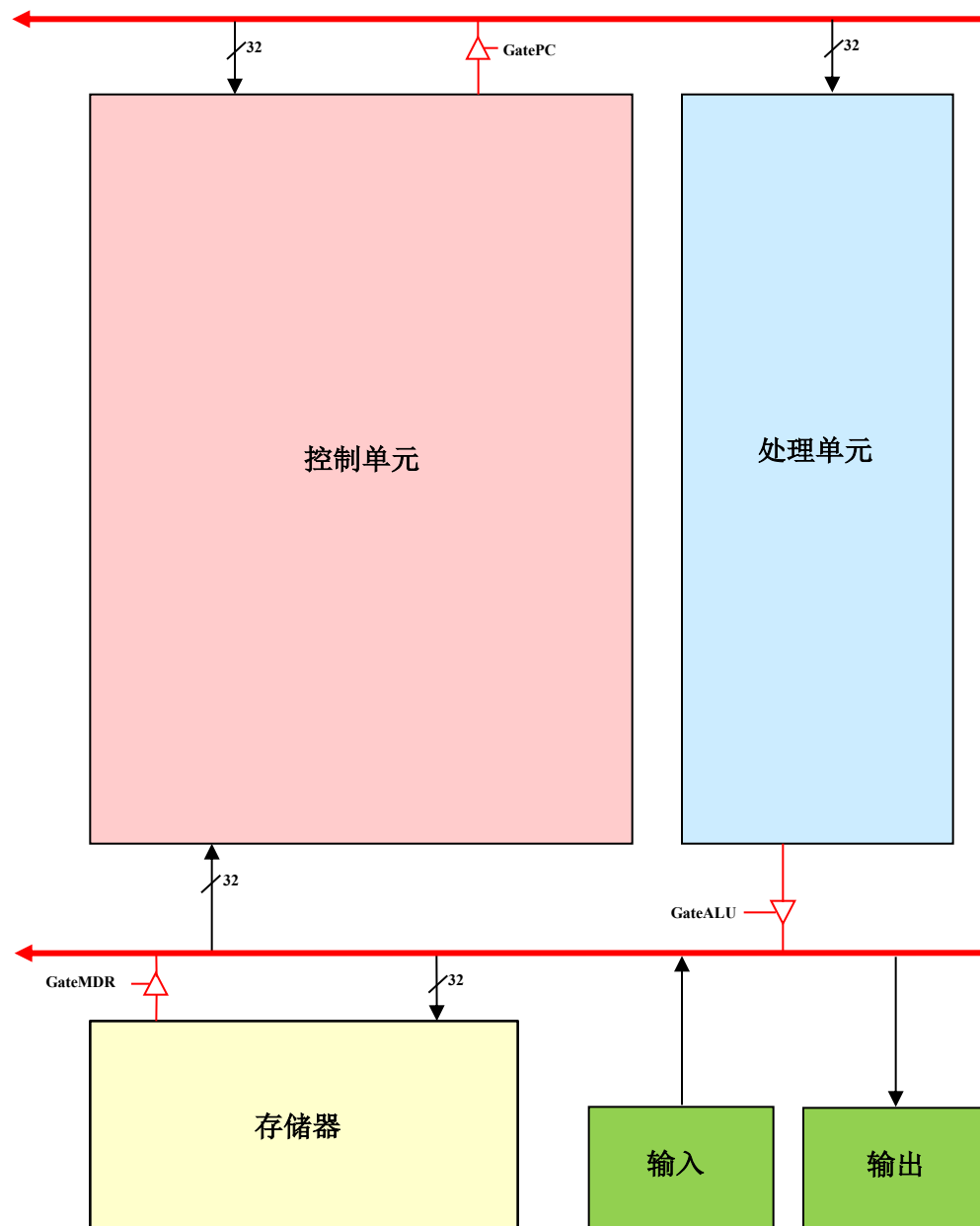
# 输入和输出

- 冯·诺依曼模型的重要组成部分



# 输入和输出

- 通过总线与CPU、存储器进行通信



# 键盘和显示器

- 字符设备
- 面向流的设备
  - 一个字符、一个字符的读写
  - 按照先后顺序



# I/O控制器

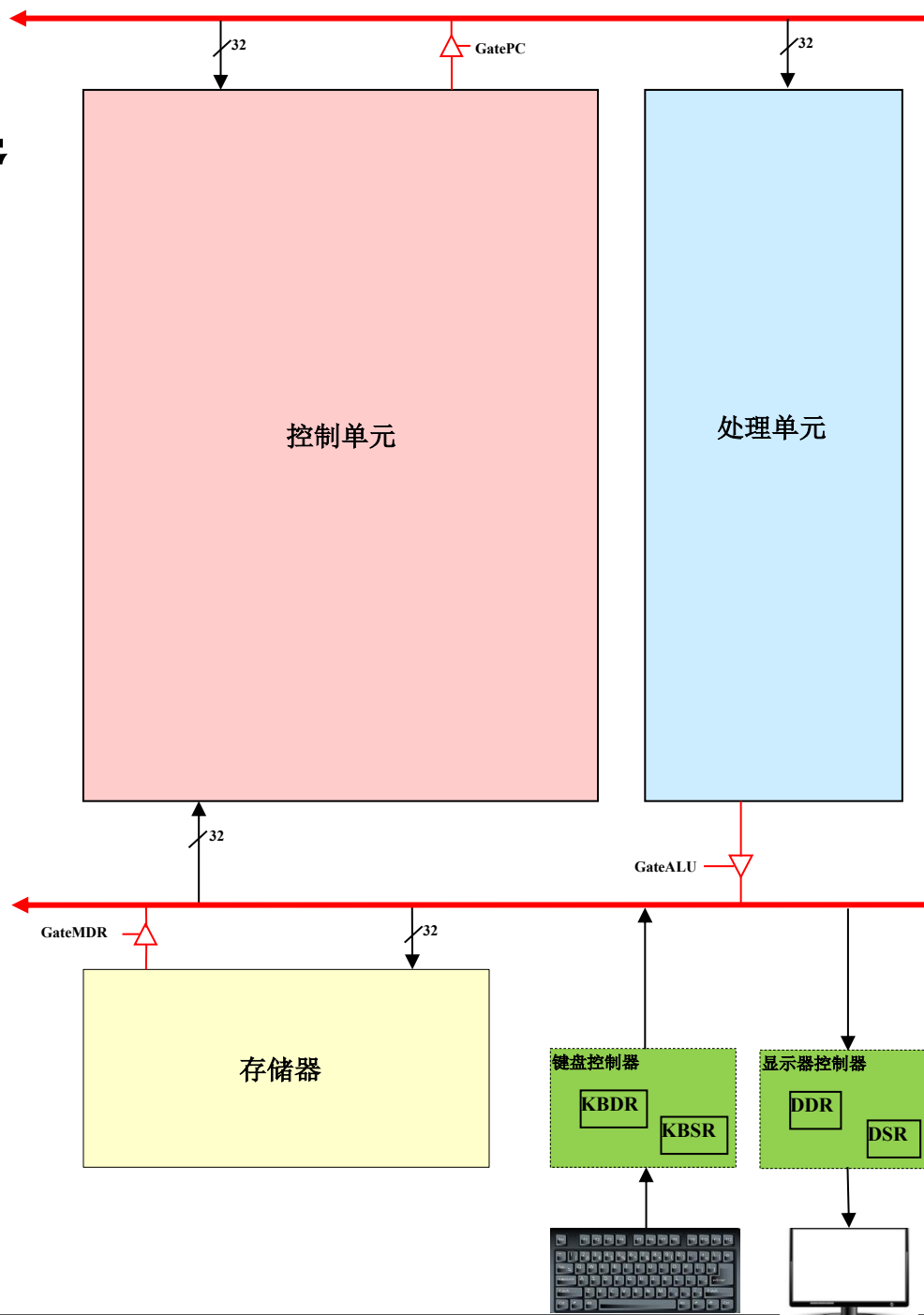
- 一种电子设备
- I/O设备与CPU通信的接口
- 以键盘控制器为例
  - 状态机
  - 解码器
  - 数据寄存器：保存数据
  - 状态寄存器：保存状态
  - .....

# I/O设备寄存器

- 最简单的I/O设备通常至少包含
  - 保存在计算机和设备之间进行传输的**数据**的寄存器
    - 键盘数据寄存器中存储的是用户输入的字符的ASCII码
  - 保存设备的**状态**信息的寄存器
    - 例如设备是处于可用的状态还是正忙于执行最近的I/O任务

# DLX I/O控制器

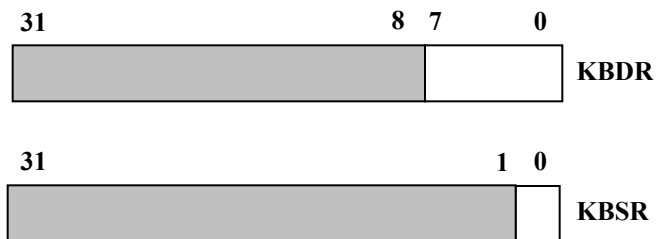
- 键盘控制器
  - KBDR
  - KBSR
- 显示器控制器
  - DDR
  - DSR





# 键盘设备寄存器

- 每一个寄存器**32位**（与DLX的通用寄存器一样），方便
- KBDR, [7:0]位用来存放数据, [31:8]位包含 x000000
- KBSR, [0]位, 就绪位



# 显示器设备寄存器

- **DDR, [7:0]位用于数据部分, [31:8]中包含x000000**
- **DSR, [0]位, 就绪位**



# 内存映射I/O

- 如何读取I/O设备寄存器中的数据？
- 如何向I/O设备寄存器加载数据？
- 两种机制
  - 专门的I/O指令
    - Intel x86指令集，in/out
      - 通用寄存器 ↔ I/O设备寄存器
  - 数据传送指令
    - 通用寄存器 ↔ 存储器
    - 内存映射I/O

# 内存映射I/O

- 问题：如何表示I/O设备寄存器？
- 采用**内存映射**的方式
  - 每一个I/O设备寄存器都被分配一个存储器地址空间中的地址
  - 这些地址被分配给I/O设备寄存器，而不再是存储单元

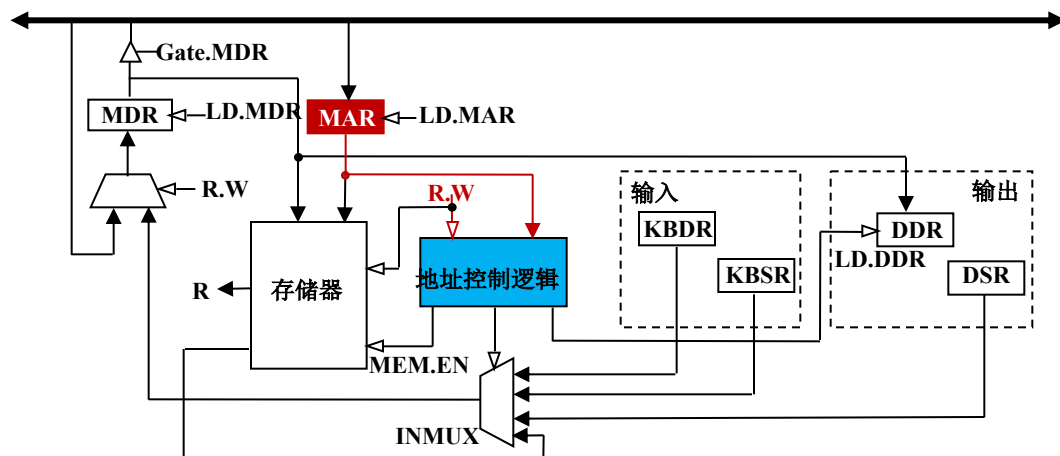
# DLX-内存映射的I/O

- 地址xFFFF 0000到xFFFF 00FF被分配给I/O设备寄存器，其他地址分配给存储单元
  - 每一个寄存器：32位（与通用寄存器一样）

地址	I/O寄存器
xFFFF 0000~ xFFFF 0003	键盘状态寄存器 (KBSR)
xFFFF 0004~ xFFFF 0007	键盘数据寄存器 (KBDR)
xFFFF 0008~ xFFFF 000B	显示器状态寄存器 (DSR)
xFFFF 000C ~ xFFFF 000F	显示器数据寄存器 (DDR)
xFFFF 00F8~ xFFFF 00FB	机器控制寄存器 (MCR)

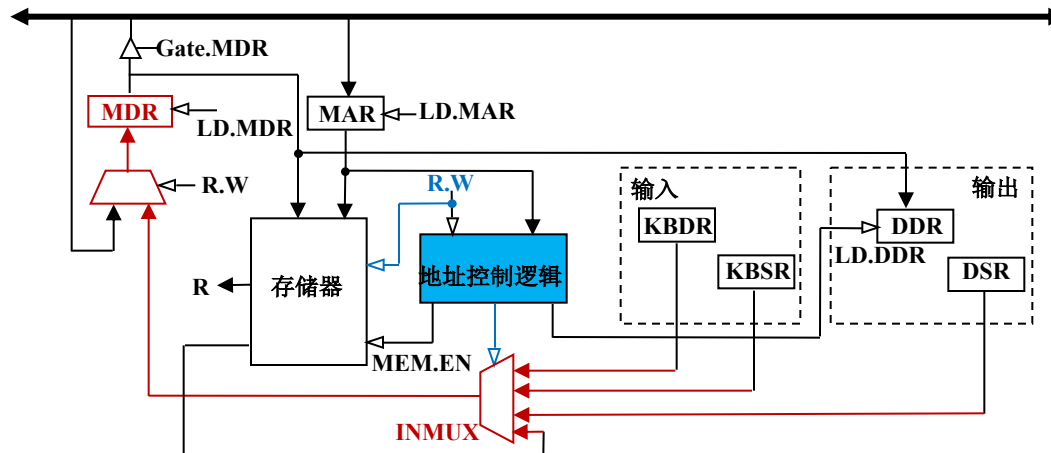
# 内存映射I/O的DLX数据通路

- 地址控制逻辑
  - 控制输入/输出操作
  - 输入: **MAR**, **R.W**



# R.W=0

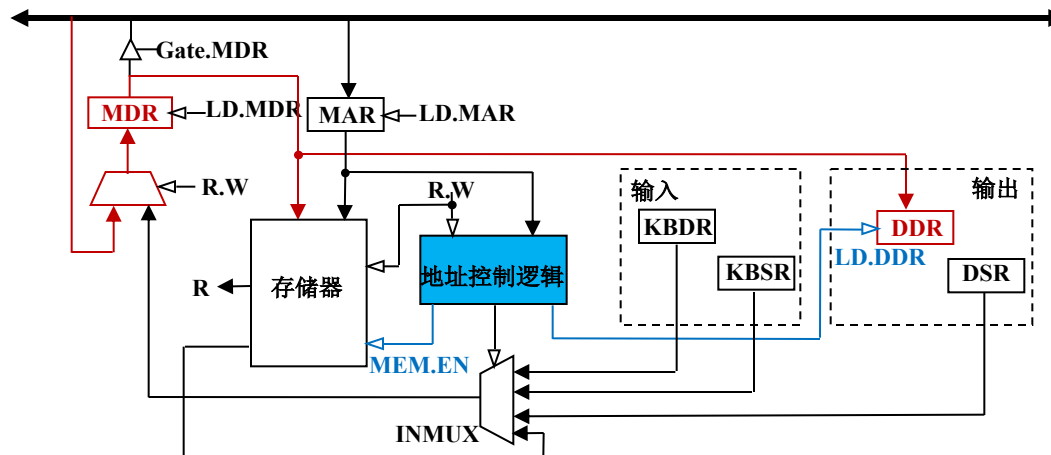
- 加载 LOAD
  - INMUX: 选择存储器/DSR/KBSR/KBDR→MDR



# R.W=1

- **存储 STORE**

- MDR → 存储器/DDR
- 控制信号: MEM.EN, LD.DDR





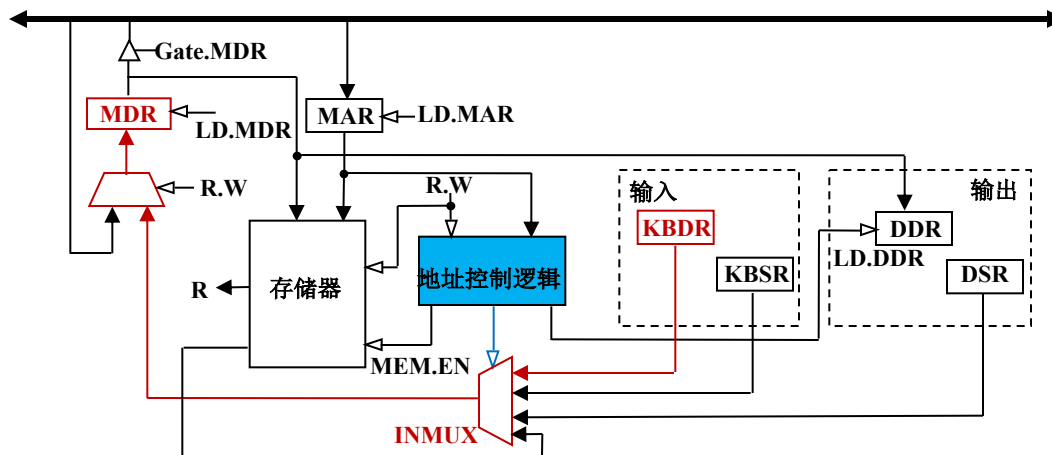
# 读KBDR的指令序列

KBDR: .word 0xFFFF0004 ; KBDR的起始地址

.....

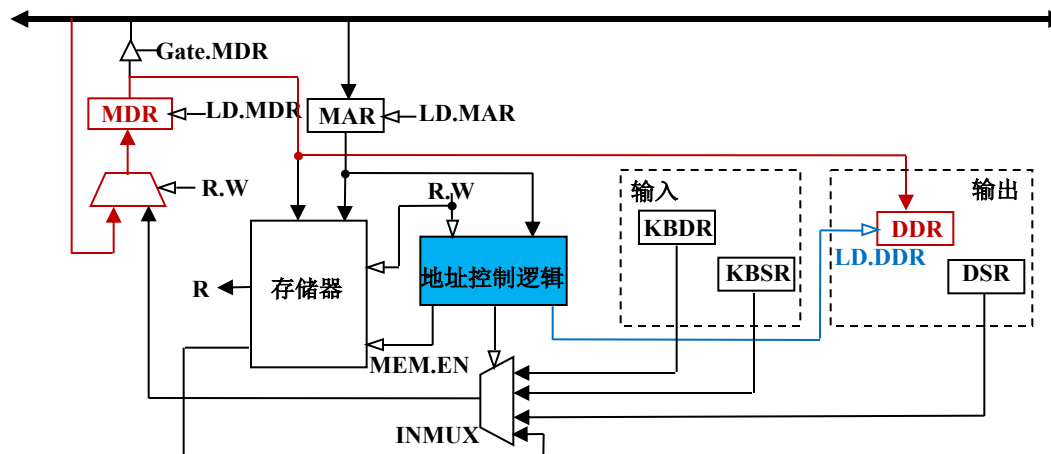
lw r1, KBDR(r0) ; R1= 0xFFFF 0004

lw r4, 0(r1) ;将KBDR中的数据加载到R4中



# 写DDR的指令序列

```
DDR: .word  xFFFF000C    ; DDR的起始地址
.....
lw      r1, DDR(r0)      ; R1= xFFFF 000C
sw      0(r1) , r4        ;将R4中的数据写到DDR中
```



# 键盘与处理器

- 用户输入字符，KBDR←ASCII码

**lw     r4, 0(r1)**

- 问题：如果执行这条指令时，用户还没有输入新的字符，会发生什么情况？
  - 将KBDR之前存储的数据读入R4中？

# 异步

- **I/O的执行与处理器的执行不同步**
  - **微处理器：时钟控制下执行指令**
  - **用户键盘输入：不受时钟控制**

# 显示器？

**sw 0(r1), r4**

- **问题：如果执行该指令时，显示器还没有将上一个DDR中的字符显示完成，会发生什么情况？**
  - **将DDR之前存储的数据覆盖？**

# 异步

- 处理异步问题
  - 协议/握手机制
  - 键盘，1位的标志
    - 是否输入一个字符
  - 显示器，1位的标志
    - 被送给显示器的字符是否已被显示
  - 设备状态寄存器 [0]位
    - KBSR[0]
    - DSR[0]

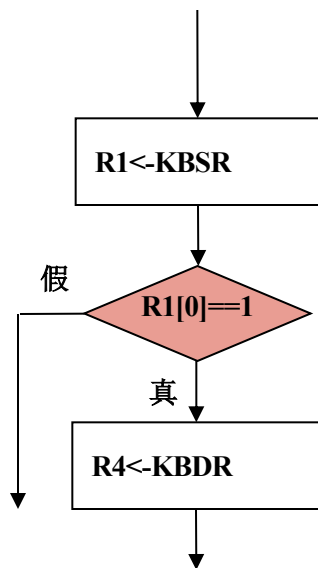
# 键盘就绪位

- **KBSR[0]**

- 每当用户输入一个字符时，**键盘控制器**就将就绪位设为1
  - 键盘不能用
- 每当处理器读取该字符时，**键盘控制器**就将就绪位清空
  - 允许输入下一个字符

# 同步机制

- 读取KBDR之前，检查就绪位





# 键盘：同步的指令序列

.....

01 KBSR :       .word    xFFFF0000       ; KBSR的起始地址

02 KBDR :       .word    xFFFF0004       ; KBDR的起始地址

.....

03               lw        r1, KBSR(r0)

04               lw        r2, 0(r1)       ; 测试是否有字符被输入

05               andi     r3, r2, #1

06               beqz     r3, XXX

07               lw        r1, KBDR(r0)

08               lw        r4, 0(r1)

09               j         NEXT\_TASK     ; 执行下一个任务

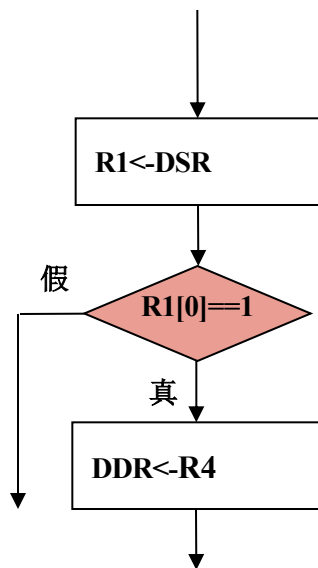
# 显示器就绪位

- **DSR[0]**

- 每当显示器完成了一个字符的显示，显示器控制器就将DSR[0]设为1
- 每当处理器向DDR写字符时，显示器控制器就将DSR[0]清空

# 同步机制

- 写DDR之前，检查就绪位



# 显示器的同步指令序列

.....

01 DSR :        .word    xFFFF0008        ; DSR的起始地址

02 DDR :        .word    xFFFF000C        ; DDR的起始地址

.....

03               lw        r1, DSR(r0)

04               lw        r2, 0(r1)        ; 测试输出寄存器是否就绪

05               andi     r3, r2, #1

06               beqz     r3, XXX

07               lw        r1, DDR(r0)

08               sw        0(r1), r4

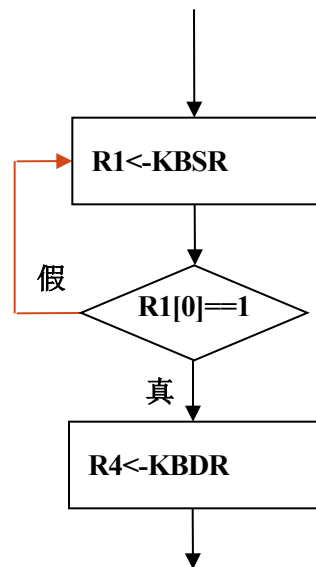
09               j         NEXT\_TASK       ; 执行下一个任务

# 打印机

- **数据寄存器**
  - 存储要打印的字符
- **状态寄存器**
  - **Done Bit:** 表示上一个字符是否打印完成
  - **Error Bit:** 表示打印机出错，如卡纸或缺纸

# 轮询

- **周期性的检查**状态位，判断是否执行I/O操作的方法
  - **最简单的方式**
  - 由处理器完全控制和执行通信工作



# 输入服务例程-轮询

```
.....  
01 KBSR :      .word  xFFFF0000      ; KBSR的起始地址  
02 KBDR :      .word  xFFFF0004      ; KBDR的起始地址  
.....  
03          lw      r1, KBSR(r0)  
04 INPOLL:     lw      r2, 0(r1)      ; 测试是否有字符被输入  
05          andi    r3, r2, #1  
06          beqz    r3, INPOLL  
07          lw      r1, KBDR(r0)  
08          lw      r4, 0(r1)  
09          j       NEXT_TASKX ; 执行下一个任务
```

# 输出服务例程-轮询

```
.....  
01 DSR :      .word   xFFFF0008      ; DSR的起始地址  
02 DDR :      .word   xFFFF000C      ; DDR的起始地址  
.....  
03           lw       r1, DSR(r0)  
04 OUTPOLL:  lw       r2, 0(r1)        ; 测试输出寄存器是否就绪  
05           andi     r3, r2, #1  
06           beqz     r3, OUTPOLL  
07           lw       r1, DDR(r0)  
08           sw       0(r1), r4  
09           j        NEXT_TASKY    ; 执行下一个任务
```



# 键盘输入回显

- 可以通过简单的组合前面讨论过的两个例程得到，不需要添加任何复杂的电路

.....

```
01 KBSR:      .word    xFFFF0000      ; KBSR的起始地址
02 KBDR:      .word    xFFFF0004      ; KBDR的起始地址
03 DSR: .word    xFFFF0008      ; DSR的起始地址
04 DDR: .word    xFFFF000C      ; DDR的起始地址
```

.....

```
05      lw      r1, KBSR(r0)
06 INPOLL:     lw      r2,0(r1)          ; 测试是否有字符被输入
07      andi     r3,r2,#1
08      beqz     r3, INPOLL
```

09	lw	r1, KBDR(r0)	
0A	lw	r4,0(r1)	
0B	lw	r1, DSR (r0)	
0C	<b>ECHO:</b> lw	r2,0(r1)	; 测试输出寄存器是否就绪
0D	andi	r3,r2,#1	
0E	beqz	r3,ECHO	
0F	lw	r1, DDR(r0)	
10	sw	0(r1),r4	
11	j	NEXT_TASK	; 执行下一个任务

# 键盘输入——提示符

- 为了让用户知道该例程正在等待键盘的输入，应该在显示器上输出一些信息——提示符

# 提示符（数据区）

```
01 .....
02 KBSR:          .word    xFFFF0000      ; KBSR的起始地址
03 KBDR:          .word    xFFFF0004      ; KBDR的起始地址
04 DSR:           .word    xFFFF0008      ; DSR的起始地址
05 DDR:           .word    xFFFF000C      ; DDR的起始地址
06 .....
07 Newline:       .byte    x0A             ; 新行的ASCII码
08 Prompt:        .asciiz  " Input a character>"
09 .....
```

# 输出新行（代码区）

0A	lb	r2, Newline(r0)	
0B	lw	r5, DSR(r0)	；测试输出寄存器是否就绪
0C	L1:	lw	r3, 0(r5)
0D		andi	r3, r3, #1
0E		beqz	r3, L1 ; 循环直到显示器就绪
0F		lw	r5, DDR(r0)
10		sw	0(r5), r2 ; 光标移到新的一行
11		;	

# 输出提示符

12	addi	r1, r0, Prompt	; 提示符字符串的起始地址
13	LOOP: lb	r2, 0(r1)	; 获取提示符字符
14	beqz	r2, Input	; 提示符字符串结束?
15	lw	r5, DSR(r0)	
16	L2: lw	r3, 0(r5)	
17	andi	r3, r3, #1	
18	beqz	r3, L2	; 循环直到显示器就绪
19	lw	r5, DDR(r0)	
1A	sw	0(r5), r2	; 输出下一个提示符字符
1B	addi	r1, r1, #1	; 提示符的指针加1
1C	j	LOOP	; 下一个提示符字符
1D	;		

# 输入回显

1E	Input:	lw	r5, KBSR(r0)	
1F	L3:	lw	r3, 0(r5)	
20		andi	r3, r3, #1	
21		beqz	r3, L3	; 轮询直到一个字符被键入
22		lw	r5, KBDR(r0)	
23		lw	r4, 0(r5)	; 将输入的字符加载到R4
24		lw	r5, DSR(r0)	
25	L4:	lw	r3, 0(r5)	
26		andi	r3, r3, #1	
27		beqz	r3, L4	; 循环直到显示器就绪
28		lw	r5, DDR(r0)	
29		sw	0(r5), r4	; 将输入的字符回显
2A				;

# 轮询缺点

- 读取键盘数据时，状态未就绪，假设
  - 微处理器的时钟频率：300MHz
    - 一个时钟周期：3.3纳秒
  - 处理执行一条指令平均需要10个时钟周期
    - 执行一条指令33纳秒
  - 用户在1秒钟之后输入一个字符
  - 重复指令序列10条指令
    - 处理器执行指令序列**300万次**，才能读取到该字符
- 浪费了大量的处理器时间



# 中断

- 让处理器一直做它自己的事直到被从键盘发来的信号打断：“已经输入了一个新字符，其ASCII码位于输入设备寄存器里，你需要读取它”——中断驱动的I/O
- 由**I/O设备控制器**来控制交互

# 习题

- 12.6
- 12.7
- 12.8

订正: **ANDI**      **R5**, R4, #1  
         **BEQZ**      **R5**, START