操作系统

Xia Tian

Renmin University of China

June 11, 2018

CH5 设备管理

- 5.0 引言
- 5.1 I/O 系统的硬件组成
- 5.2 I/O 控制方式
- 5.3 缓冲管理
- 5.4 设备分配
- 5.5 设备处理
- 5.6 磁盘存储器管理

问题

- 设备管理的主要目标是什么?
- 对应的主要解决途径是什么?

引言

- “设备”泛指计算机系统中的外部设备，即除主机以外的其他所有设备。在多道程序设计环境下，计算机系统允许多个用户作业同时在内存，它们的运行势必涉及到 I/O 设备。
- 带来三个问题

引言

- “设备”泛指计算机系统中的外部设备，即除主机以外的其他所有设备。在多道程序设计环境下，计算机系统允许多个用户作业同时在内存，它们的运行势必涉及到 I/O 设备。
- 带来三个问题
  - 对于设备本身，如何有效利用的问题；
  - 对于设备和 CPU，如何发挥并行工作能力的问题；
  - 对于设备和用户，有一个如何方便使用的问题。

引言

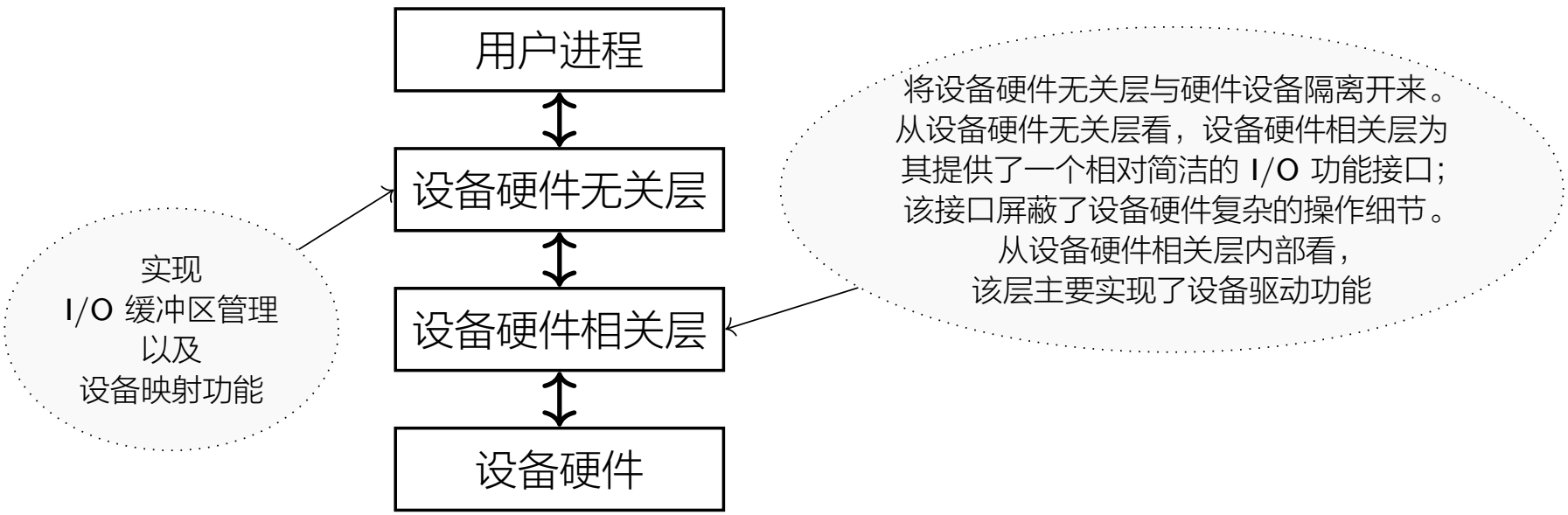
- 设备无关性
  - 操作系统必须向设备发送命令，捕捉中断，并处理设备的各种错误，还应提供其他部分使用设备的简单接口，如有可能，这个接口对所有设备都相同，这就是所谓的“与设备无关性”。
- 虚拟设备
  - 在众多的 I/O 设备中，并不是所有的设备都是可以共享使用的。也就是说，当一个作业使用某种设备时，另一个要使用的作业只能暂时等待，一直到对方使用完毕，它才能去使用，这影响了系统效率的发挥。在设备管理中，仍然可以借助于磁盘，把只能独享的设备变为共享，这就是所谓的“虚拟设备”

引言：设备管理的功能

- 缓冲区管理
- 设备分配
- 设备处理
- 虚拟设备
- 设备独立性

通用设备管理分层模型

- 现代操作系统都采用分层结构构建设备管理模型，一种常见的设备管理模型如图



5.1 I/O 系统的硬件组成

- 5.1.1 IO 设备
- 5.1.2 设备控制器
- 5.1.3 IO 通道
- 5.1.4 总线系统

5.1.1 IO 设备

1. IO 设备的类型
2. 设备与控制器之间的接口

I/O 设备的类型 I

- （1）按速度分：
  - 低速设备：典型设备有键盘、鼠标器、语音的输入和输出等设备
  - 中速设备：典型设备有行式打印机、激光打印机等
  - 高速设备：典型设备有磁带机、磁盘机、光盘机等
- （2）按信息交换的单位分类
  - 块设备 (Block Device)：用于存储信息，属于有结构设备。典型的块设备是磁盘。磁盘设备的基本特征是其传输速率较高，另一特征是可寻址，即对它可随机地读/写任一块；此外，磁盘设备的 I/O 常采用 DMA 方式
  - 字符设备 (Character Device)：用于数据的输入和输出，属于无结构设备。典型字符设备如交互式终端、打印机等。基本特征是其传输速率较低，另一特征是不可寻址；此外，常采用中断驱动方式

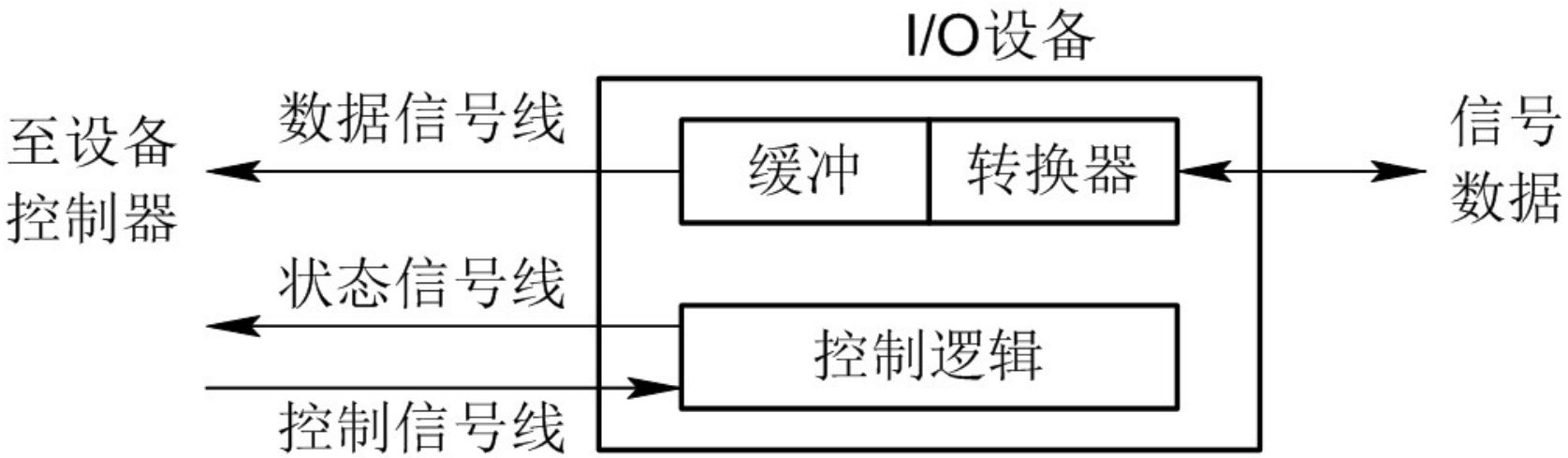
I/O 设备的类型 II

- （3）按设备的共享属性分：
  - 独占：如临界资源
  - 共享：磁盘
  - 虚拟：本身为独占，但将其虚拟为几个逻辑设备。

设备与控制器之间的接口

- CPU $\leftrightarrow$ 控制器 $\leftrightarrow$ 设备
- 传统的设备由机械部分和电子部分组成，电子部分在系统的控制下驱动机械部分运转，形成 I/O 操作。
- 电子部分比机械部分速度快，为降低硬件成本，将电子部分从设备中分立出来作为一个独立的部件，即设备控制器。
- 设备不直接与 CPU 通信，而是通过设备控制器通信。

设备与设备控制器间的接口



- 数据信号线
  - 在设备与设备控制器之间传送数据信号
- 状态信号线
  - 传送指示设备当前状态的信号
- 控制信号线
  - 设备控制器向 I/O 设备发送控制信号用

设备与控制器之间的接口传递的信号

1. 数据信号：——双向，有缓存
2. 控制信号：控制器发给设备；要求其完成相关操作
3. 状态信号：设备发给控制器，后者“显示”；

- IO 设备控制的变化
  - 两级（CPU $\leftrightarrow$ IO 设备）
  - 三级 (CPU $\leftrightarrow$ 控制器 $\leftrightarrow$ IO 设备）
  - 四级（CPU $\leftrightarrow$ IO 通道 $\leftrightarrow$ 控制器 $\leftrightarrow$ IO 设备）

讨论：促使 IO 控制不断发展的推动因素

讨论：促使 IO 控制不断发展的推动因素

- 减少 CPU 对 IO 的干预，充分利用 CPU 的处理能力
- 缓和速度不匹配问题
- 提高 CPU 和 IO 的并行程度，使 CPU 和 IO 尽可能忙碌。

5.1.2 设备控制器

- 分类
  - 控制块设备的控制器
  - 控制字符设备的控制器
- 设备控制器的基本功能
- 设备控制器的组成

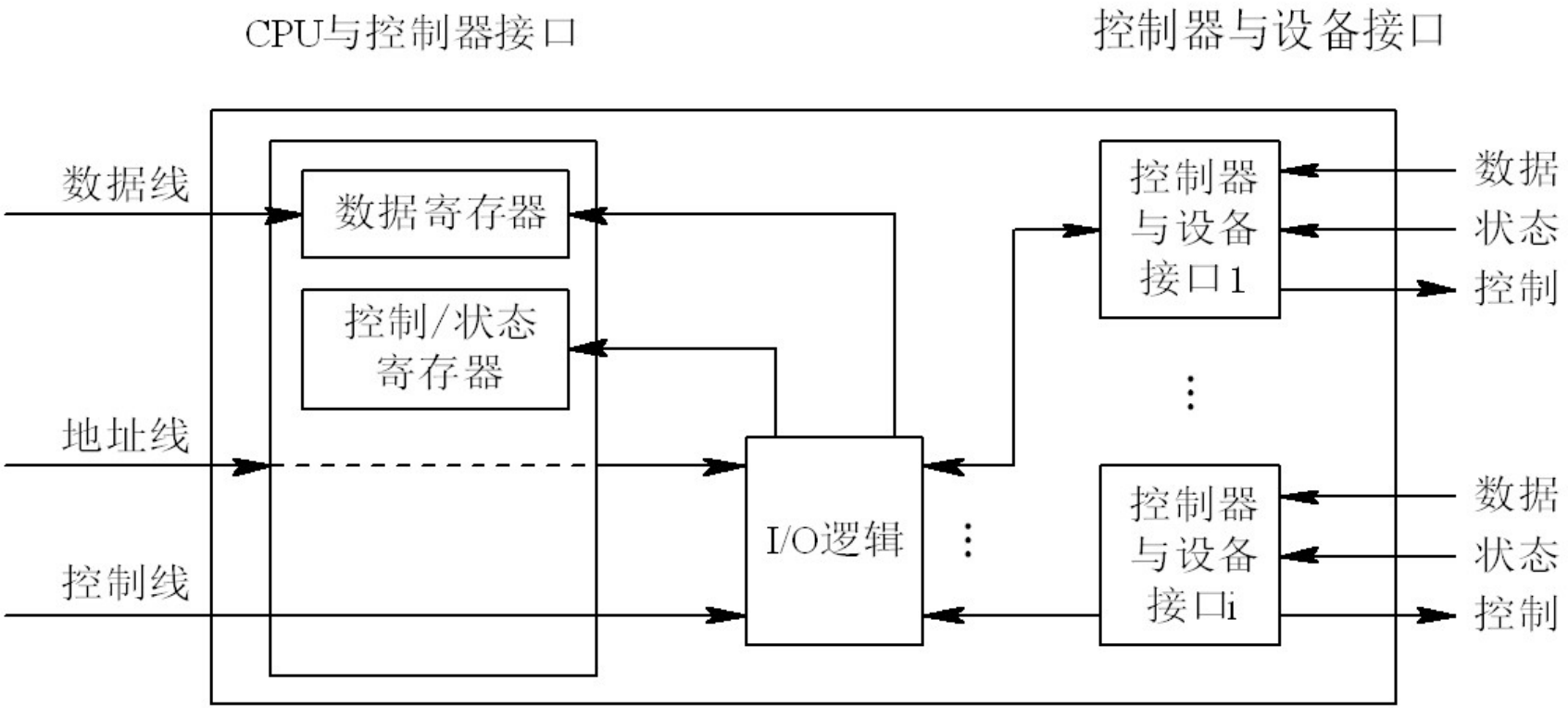
设备控制器的基本功能

- 接收 CPU 命令，控制 I/O 设备工作，解放 CPU.
- 1. 接收和识别命令。
  - 应有相应的 Register 来存放命令（“命令寄存器”）
- 2. 数据交换: CPU $\leftrightarrow$ 控制器的数据寄存器 $\leftrightarrow$ 设备
- 3. 设备状态的了解和报告
  - 设备控制器中的“状态寄存器”
- 4. 地址识别
  - CPU 通过“地址”与设备通信，设备控制器应能识别它所控制的设备地址以及其各寄存器的地址。
- 5. 数据缓冲
  - 适配高速的 CUP 和内存与低速的外设之间的问题
- 6. 差错控制
  - 对由 IO 设备传来的数据进行差错检测

设备控制器组成

- 设备控制器与处理机的接口
  - 实现 CPU 与控制器通信，共有三类信号线：数据线、地址线和控制线
  - 两类寄存器：数据寄存器、控制/状态寄存器
- 设备控制器与设备的接口
  - 一个设备控制器连接一个或多个设备，每个接口中都存有数据、控制、状态三种类型的信号
- I/O 逻辑：在其控制下完成与 CPU、设备的通信。

设备控制器的组成示意图



5.1.3 IO 通道

- 通道
  - 一种特殊的执行 I/O 指令的处理机，与 CPU 共享内存，可以有自己的总线。
- 引入目的
  - 解脱 CPU 对 I/O 的组织、管理：建立独立的 I/O 操作，不仅使数据的传送能力独立于 CPU，而且对有关对 I/O 操作的组织、管理及其结束处理也尽量独立，以保证 CPU 有更多的时间去进行数据处理。
- CPU 只需发送 I/O 命令给通道，通道通过调用内存中的相应通道程序完成任务。
- I/O 通道是一种特殊的处理机，具有执行 I/O 指令的能力，并通过执行通道 (I/O) 程序来控制 I/O 操作

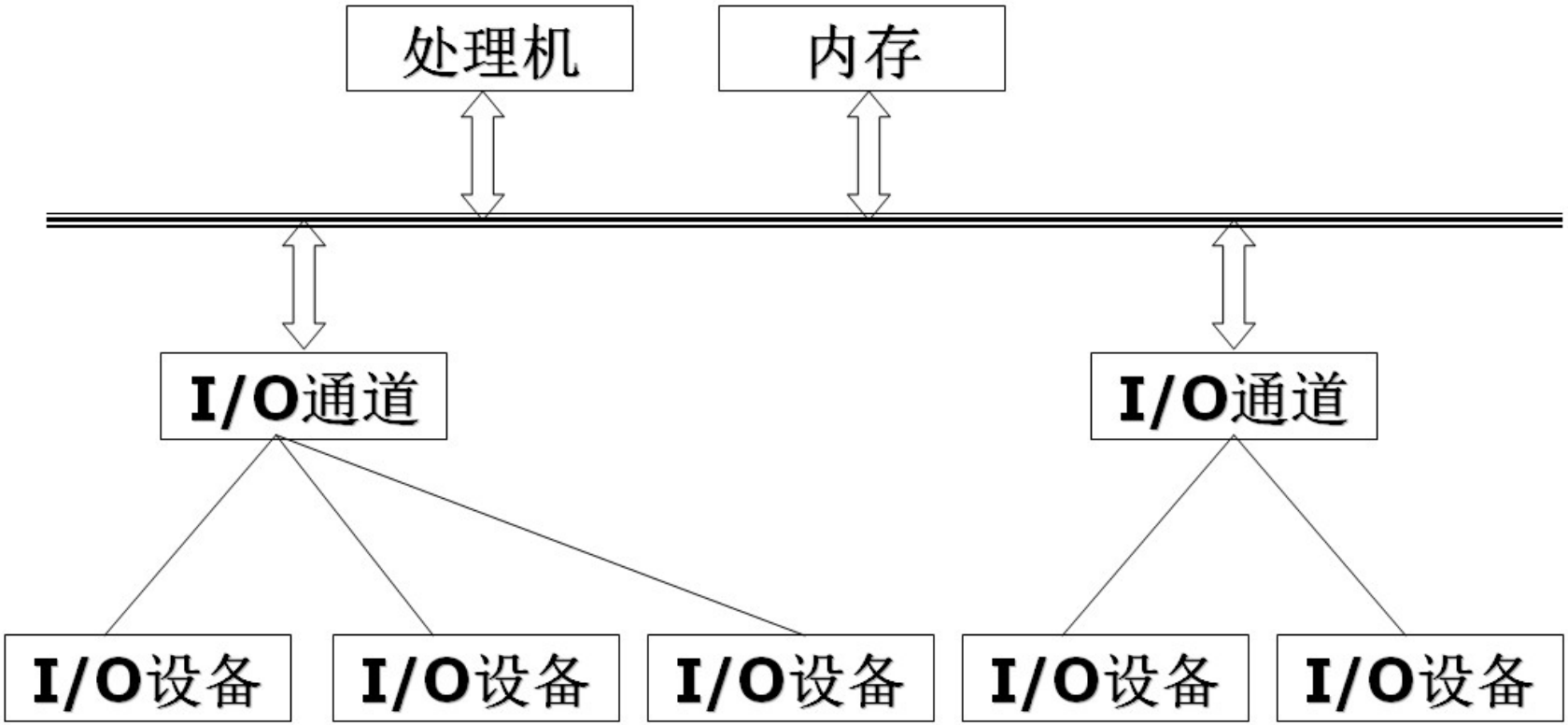
I/O 通道与一般的处理机的区别

- 指令类型单一
- 通道没有自己的内存，通道与 CPU 共享内存
- 因为简单，所以价格便宜

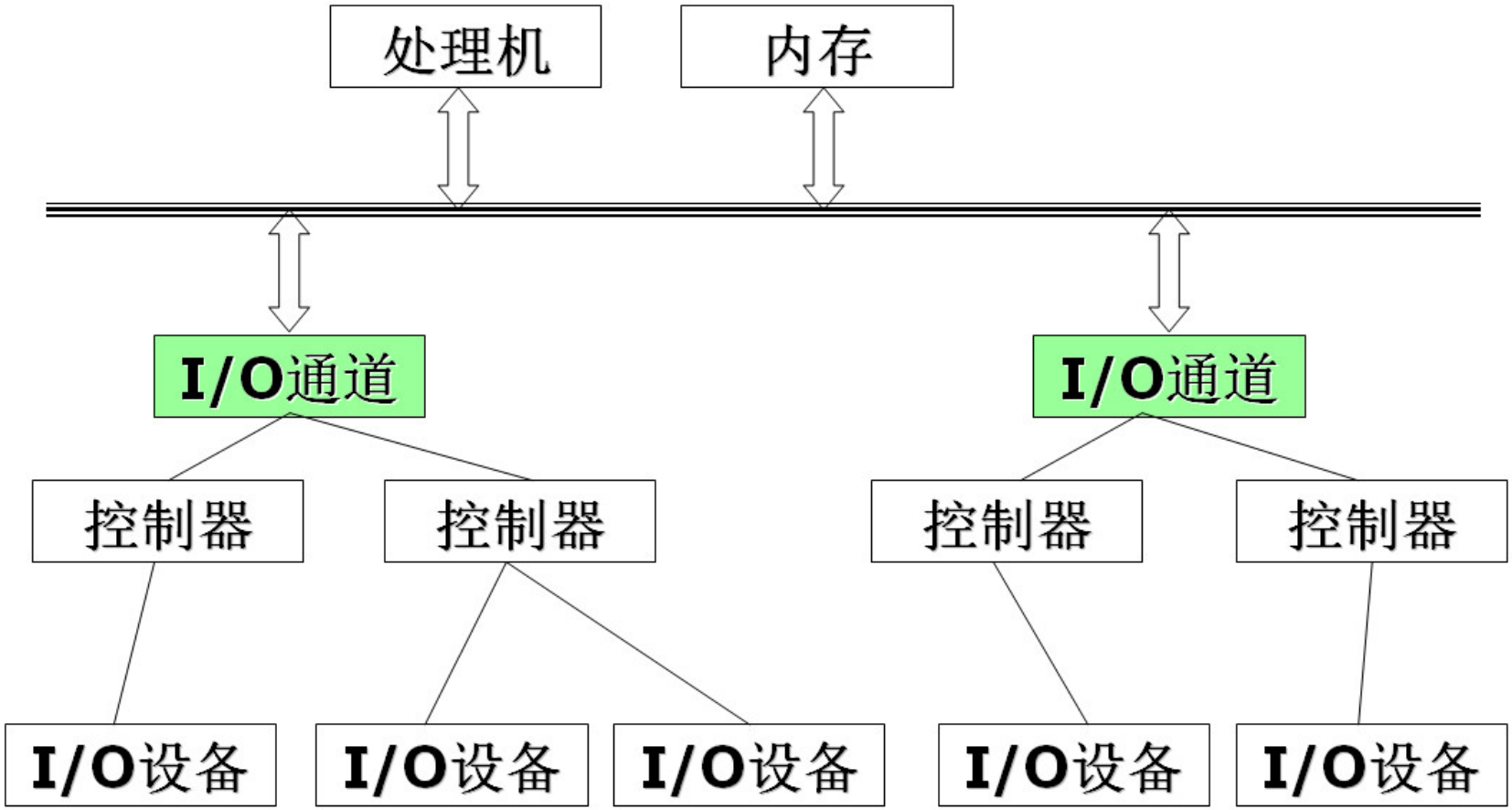
IO 通道的类型

- 1. 字节多路通道：
  - 各子通道以时间片轮转方式共享通道，适用于低、中速设备。
- 2. 数组选择通道：
  - 无子通道，仅一主通道，某时间由某设备独占，适于高速设备。
  - 但通道未共享，利用率低。
- 3. 数组多路通道：
  - 多子通道不是以时间片方式，而是“按需分配”，综合了前面 2 种通道类型的优点。

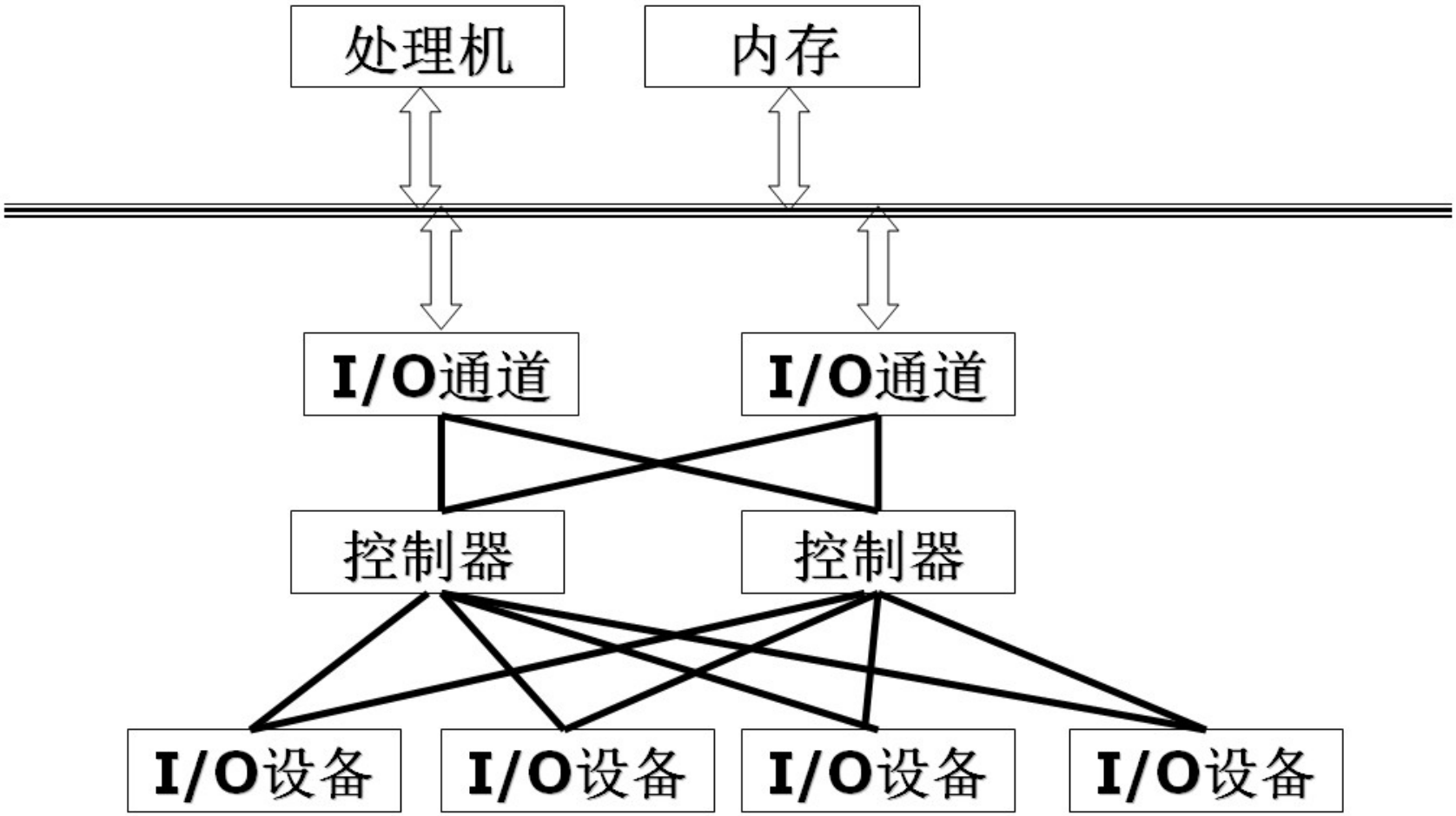
I/O 设备通道连接方式



单通路通道“瓶颈”问题

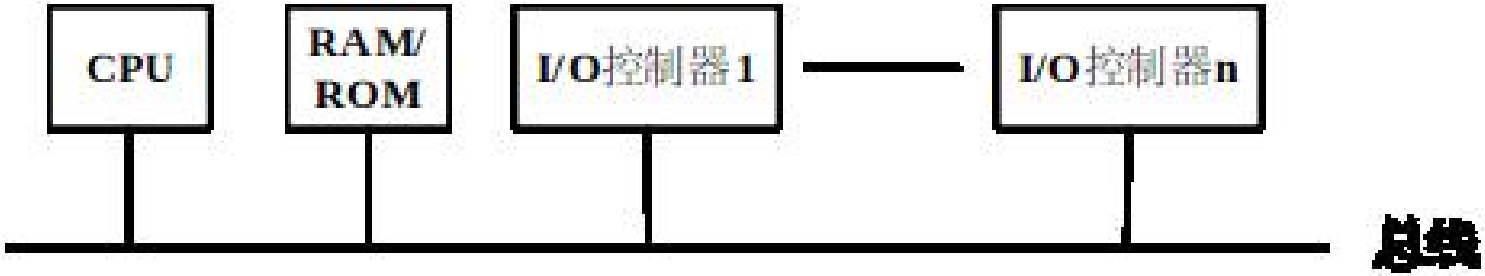


采用复联方式-多通路



5.1.4 总线系统

- 一、微机 I/O 系统



  - 处理机与 I/O 设备之间的基本连接都是通过总线实现的。即处理机连接在总线上，与设备无关。设备则根据需要连接在相应的总线上，可多可少，结构和安装均十分灵活
    - 如：磁盘设备，打印设备; 缺点：总线瓶颈，CPU 瓶颈。
  - ISA/EISA/Local BUS/VESA/PCI
- 二、主机 I/O 系统（四级结构）
  - 计算机—I/O 通道—I/O 控制器—设备
  - I/O 通道相当于对总线的扩展，即多总线方式，且通道有一定的智能性，能与 CPU 并行，解决其负担。

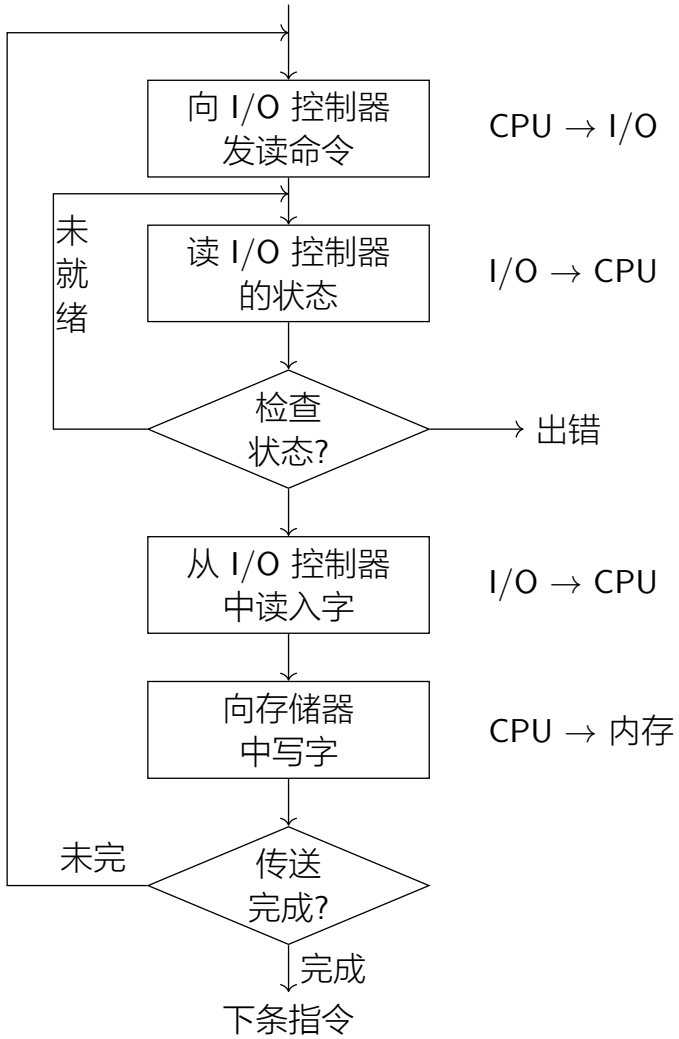
5.2 I/O 控制方式

- 四个发展阶段：
  - 程序 I/O
  - 中断 I/O
  - DMA 控制
  - 通道控制。

- 趋势：提高并行度。

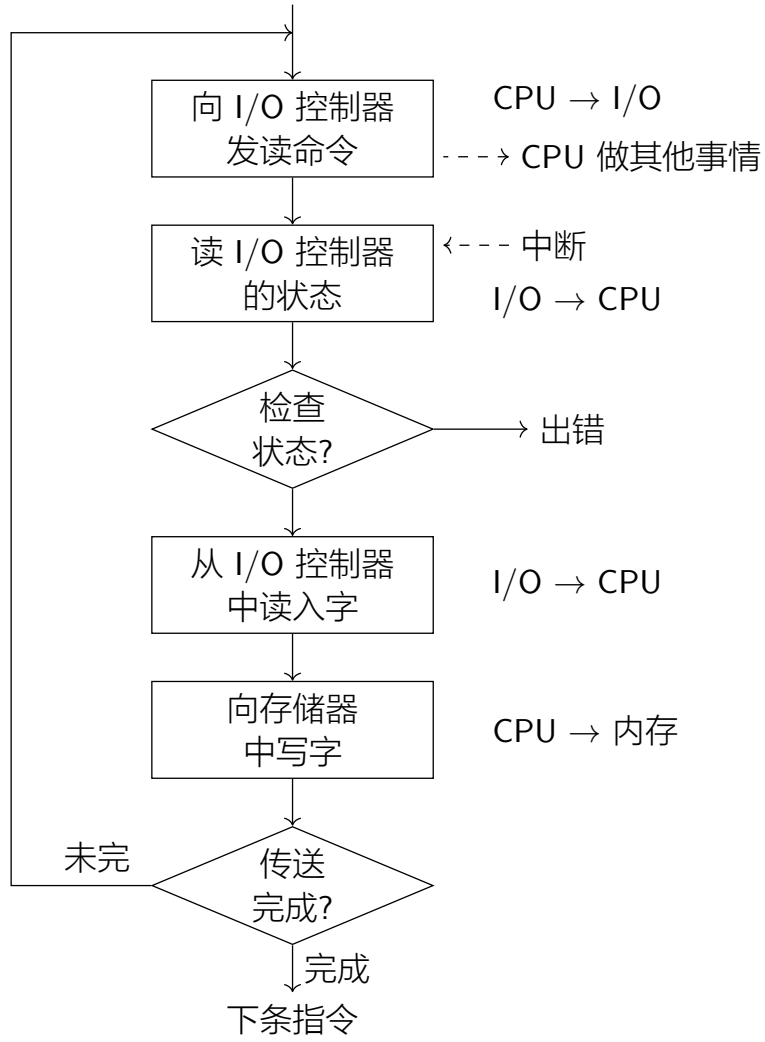
5.2.1 程序 I/O（忙—等待方式）

- 查询方式：CPU 需花代价不断查询 I/O 状态
- CPU 资源浪费极大。
- 例：99.9ms+0.1ms=100ms
- 99.9 在忙等



5.2.2 中断 I/O

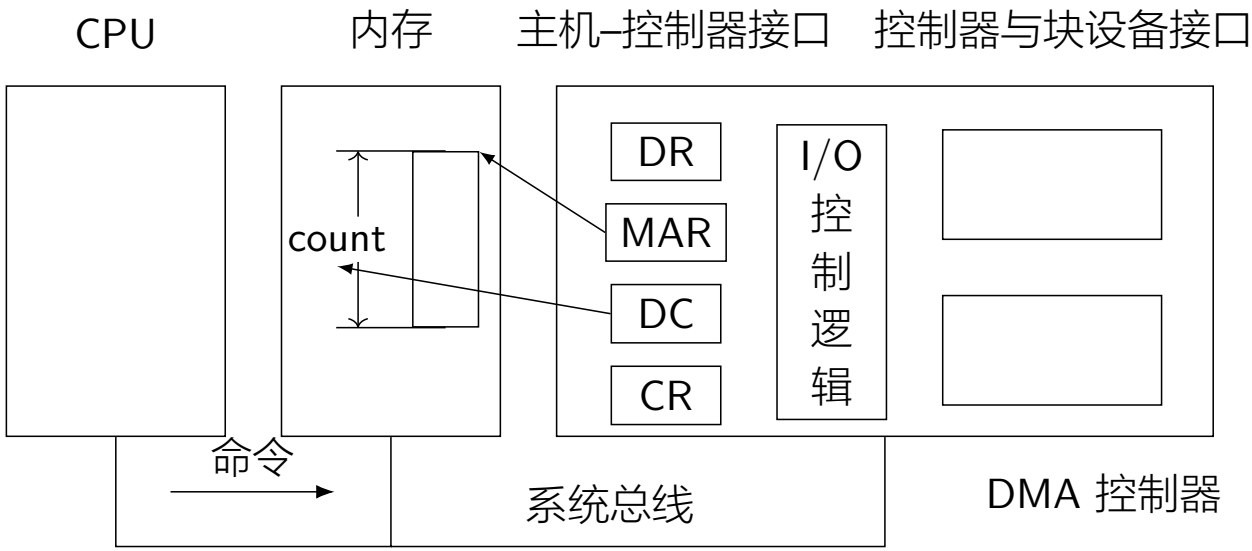
- 向 I/O 发命令 → 返回 → 执行其它任务。
- I/O 中断产生 →CPU 转相应中断处理程序。
- 如：读数据，读完后以中断方式通知 CPU，CPU 完成数据从 I/O→ 内存
- 以字（节）为单位进行干预
- CPU、设备并行工作
- 提高了系统的资源利用率和吞吐量



5.2.3 DMA 方式——用于块设备中

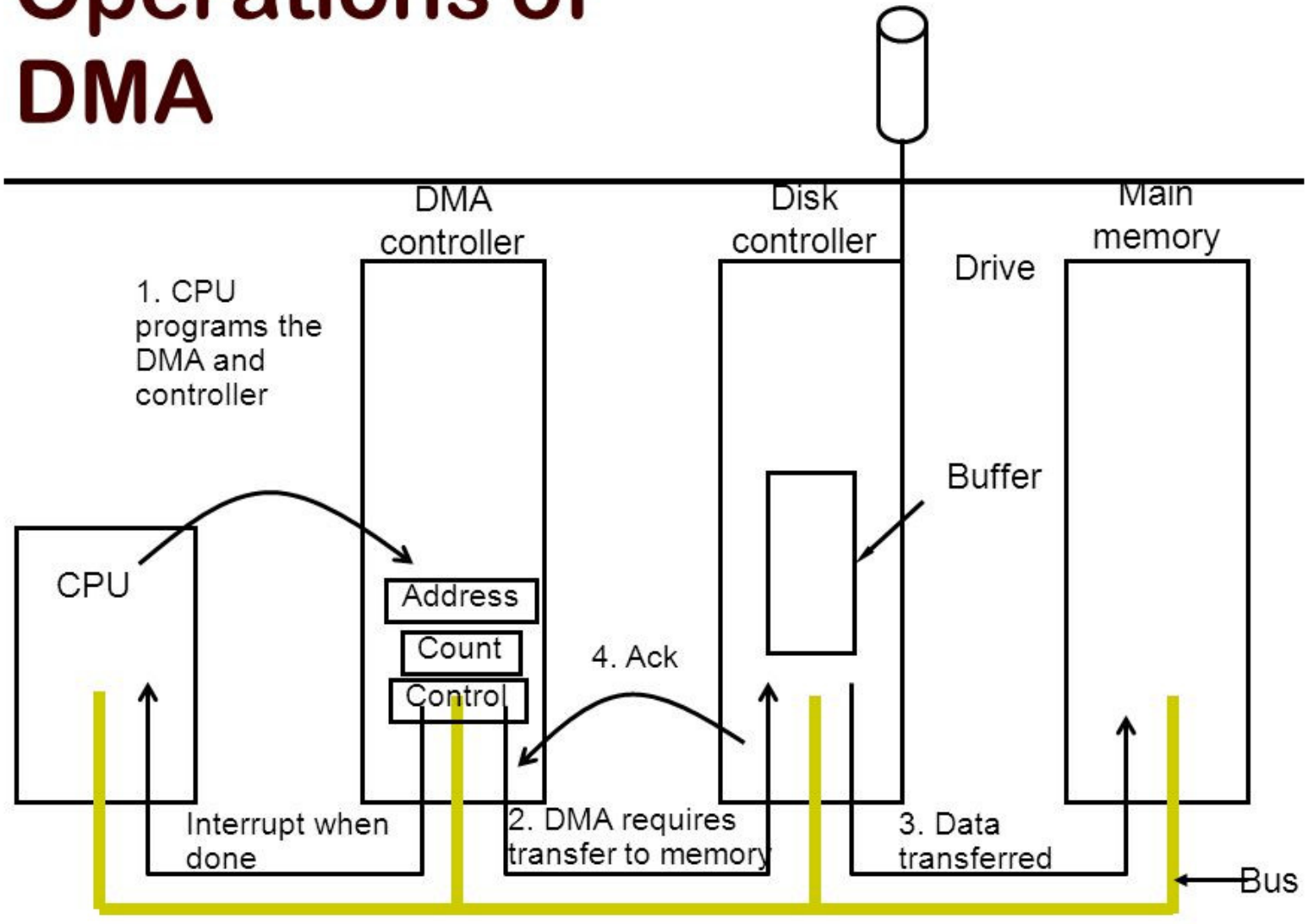
- 一、DMA(Direct Memory Access) 控制方式的引入
  - 中断 I/O，CPU 按字节干预，即每字节传送产生一次中断。
  - DMA：由 DMA 控制器直接控制总线传递数据块。DMA 控制器完成从 I/O——内存。
- 特点：
  - 数据传输的基本单位是数据块，即在 CPU 与 I/O 设备之间，每次传送至少一个数据块；
  - 所传送数据从设备直接送入内存，或者相反；
  - 仅在传送一个或多个数据块的开始和结束时，才需 CPU 干预，整块数据的传送由控制器控制完成。
- 二、组成
  - 一组寄存器 + 控制逻辑。
  - CR（命令/状态）；DR（数据）；MAR（内存地址）；DC（计数）

DMA 控制器的组成图

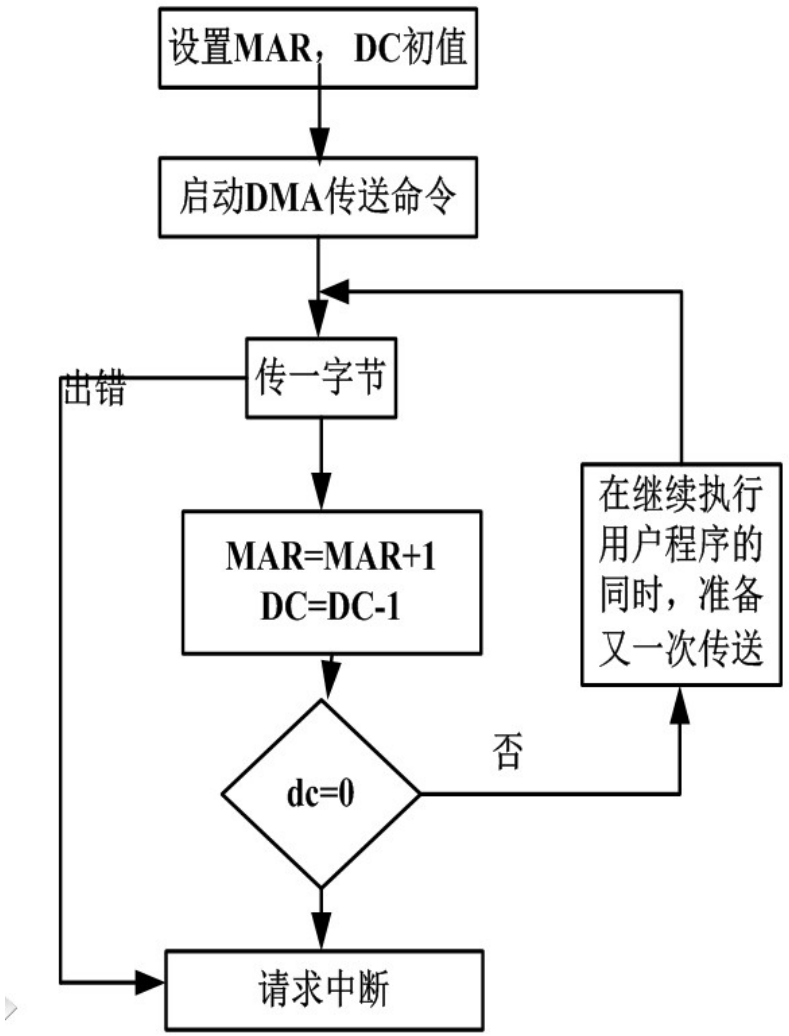


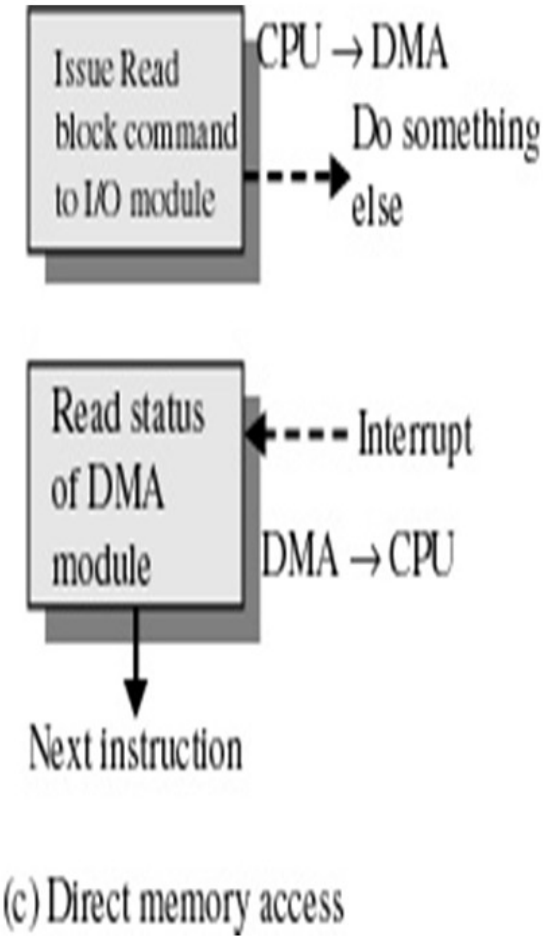
- 数据寄存器 DR: 用于暂存从设备到内存，或从内存到设备的数据
- 内存地址寄存器 MAR: 在输入时，它存放把数据从设备传送到内存的起始目标地址；在输出时，它存放由内存到设备的内存源地址
- 数据计数器 DC: 存放本次 CPU 要读或写的字 (节) 数
- 命令/状态寄存器 CR。用于接收从 CPU 发来的 I/O 命令或有关控制信息，或设备的状态

Operations of DMA



DMA 工作过程





(c) Direct memory access

讨论：中断驱动 IO 和 DMA 的区别

- 中断频率
- 数据的传送方式

5.2.4 I/O 通道控制方式 (1)

- I/O 通道控制方式的引入
  - DMA 方式：对许多离散块的读取仍需要多次中断。
  - 对一组数据块的读 (或写) 及有关的控制和管理为单位的干预
  - 实现 CPU、通道和 I/O 设备三者的并行操作，从而更有效地提高整个系统的资源利用率

5-2-4 I/O 通道控制方式 (2)

- 通道方式：CPU 只需给出
  - （1）通道程序首址。
  - （2）要访问 I/O 设备后，通道程序就可完成一组块操作

通道程序的指令信息

- （1）操作码：指令所执行的操作
- （2）内存地址：字符送入内存（读操作）或从内存取出（写操作）时的内存首址
- （3）计数：要读写的字节数
- （4）通道程序结束位 P：P=1 表示最后一条指令
- （5）记录结束标志 R，R=0，表示本指令和下一条指令处理的数据同属于一个记录。

通道程序

- (1) 操作码 (2) 内存地址
- (3) 计数 (4) 通道程序结束位 P
- (5) 记录结束标志 R

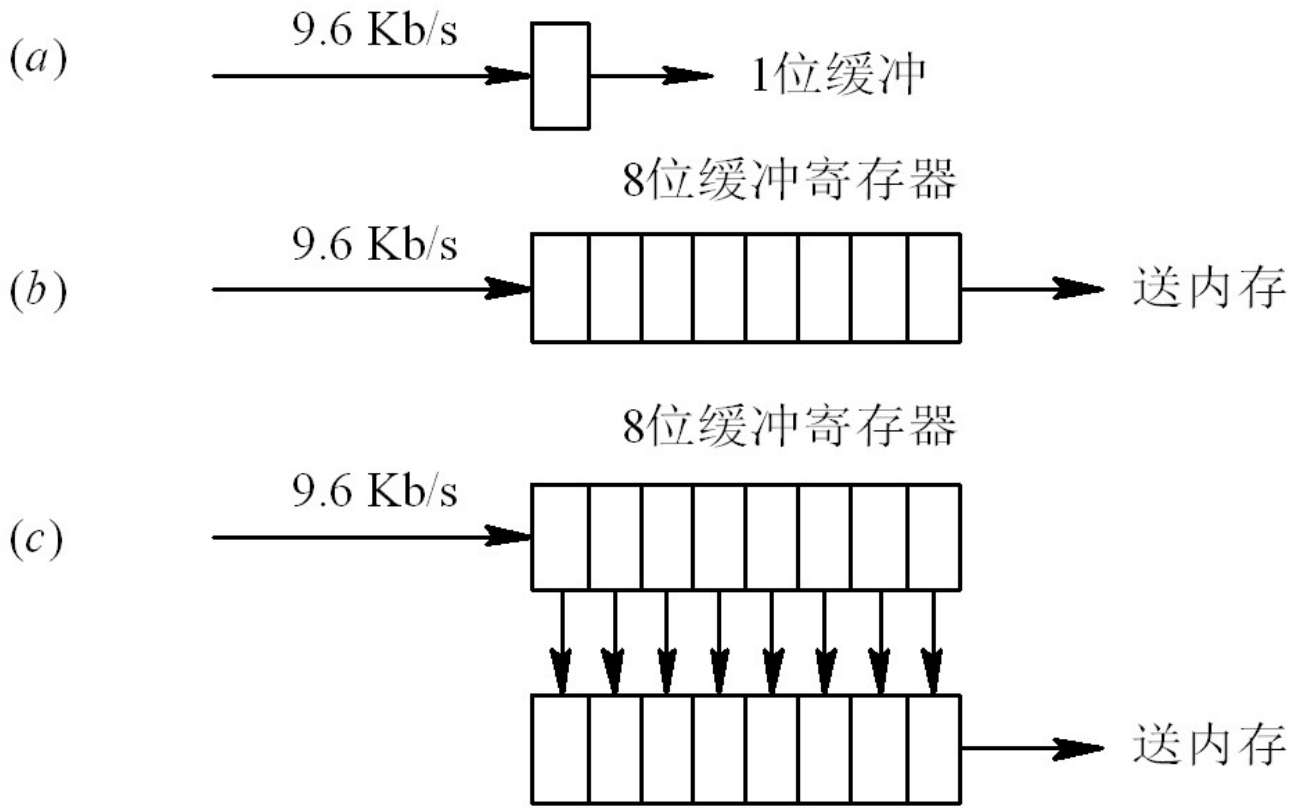
操作	P	R	计数	内存地址
WRITE	0	0	80	813
WRITE	0	0	140	1034
WRITE	0	1	60	5830
WRITE	0	1	300	2000
WRITE	0	0	250	1850
WRITE	1	1	250	720

5.3 缓冲管理

5.3.1 缓冲的引入

- 1. 缓和 CPU 和 I/O 设备间速度不匹配的矛盾。
  - 如：计算——打印 buffer——打印
- 2. 减少对 CPU 的中断频率
  - 如：buffer 越大，“buffer 满”信号发生频率越低。
- 3. 提高 CPU 和 I/O 并行性

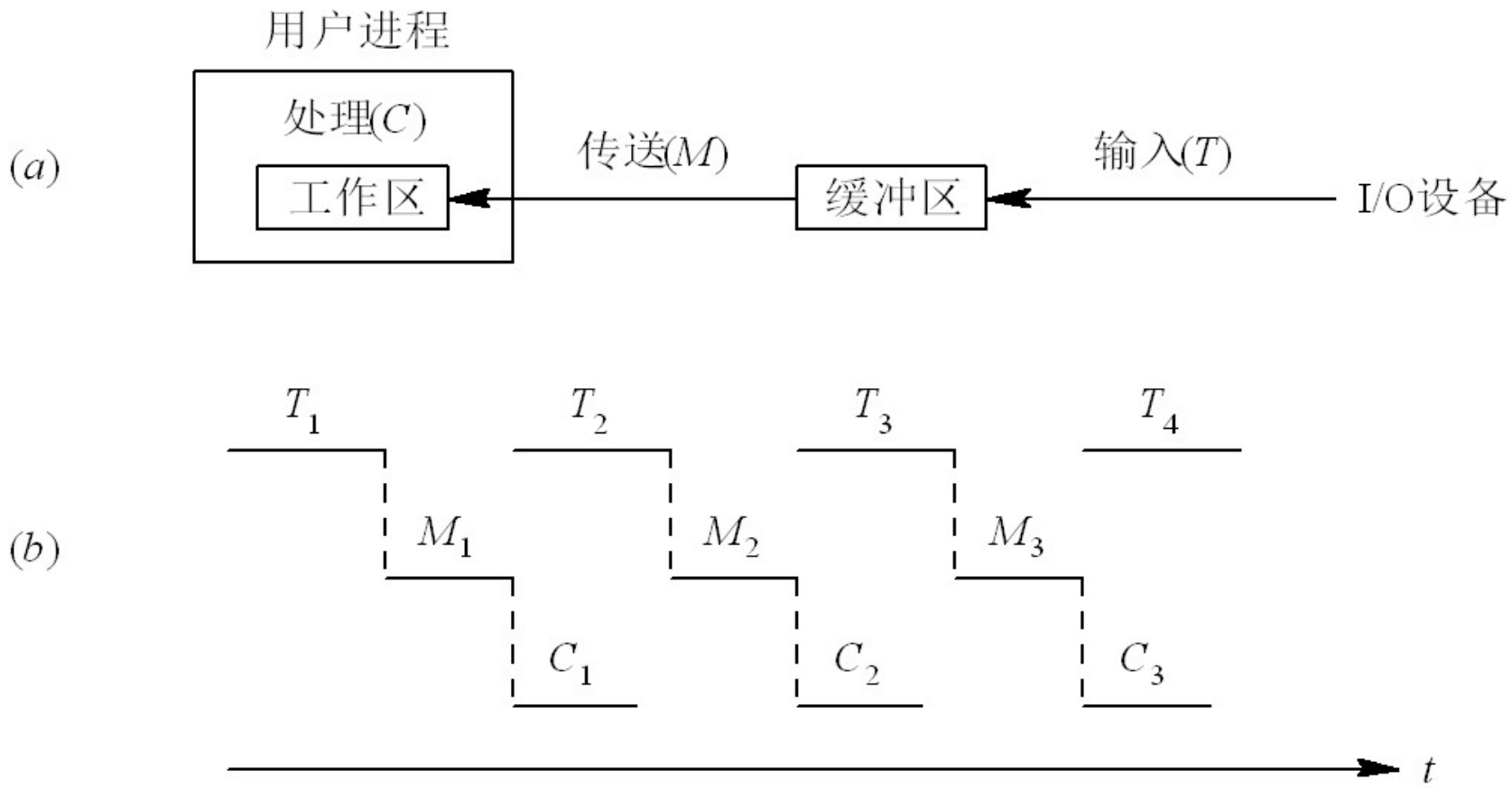
例子



- (a) CPU 中断频率：9.6Kb/s; CPU 响应时间：约 100us
- (b) CPU 中断频率：1.2Kb/s; CPU 响应时间：约 800us
- (c) CPU 中断频率：0.6Kb/s; CPU 响应时间：约 1600us

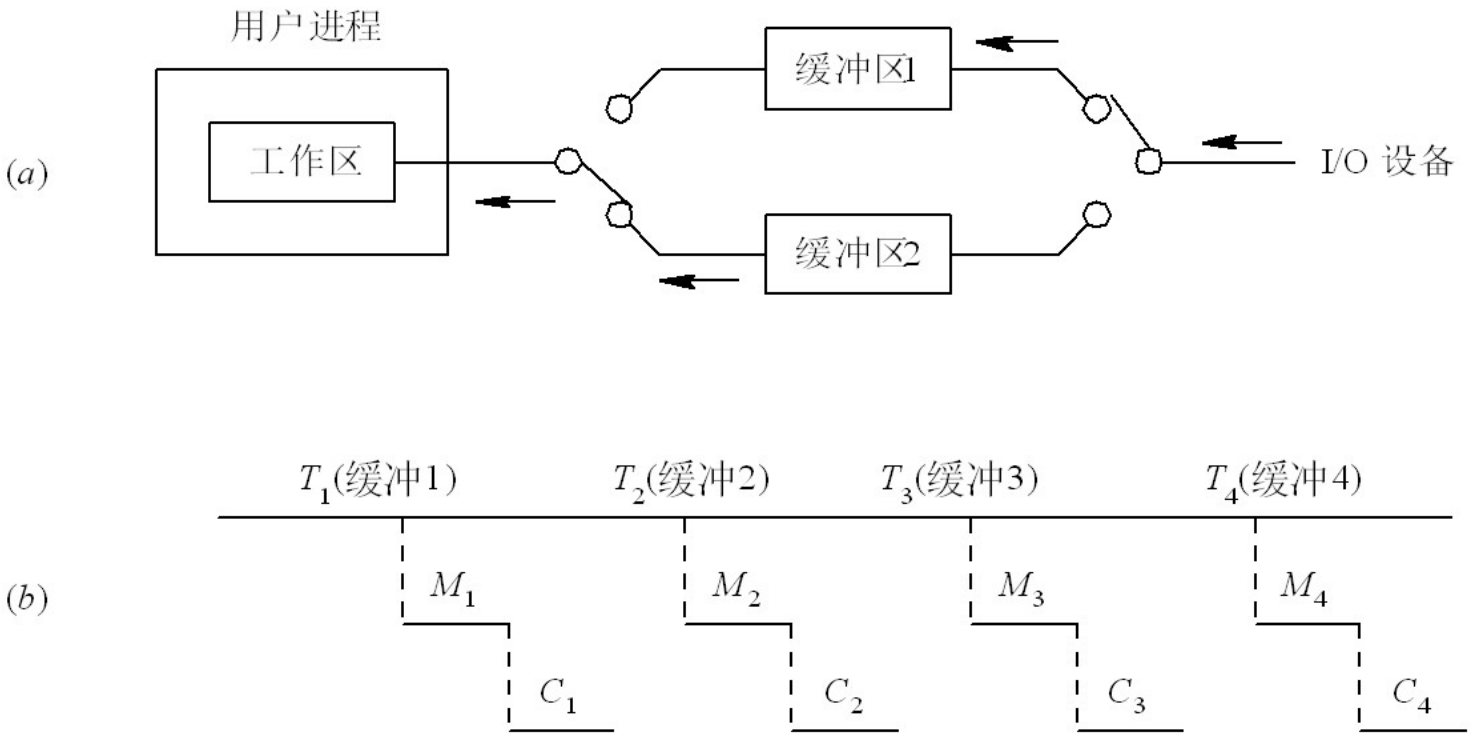
5.3.2 单缓冲和双缓冲 (1)

- 单缓冲（Single Buffer）
- 系统对数据的处理时间：Max(C,T)+M



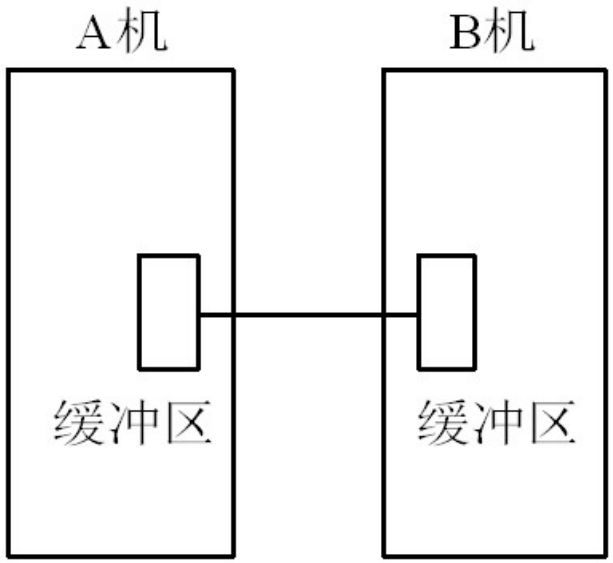
5.3.2 单缓冲和双缓冲 (2)

- 双缓冲（Double Buffer)
- 系统对数据的处理时间：$Max(C+M, T) \approx Max(C, T)$

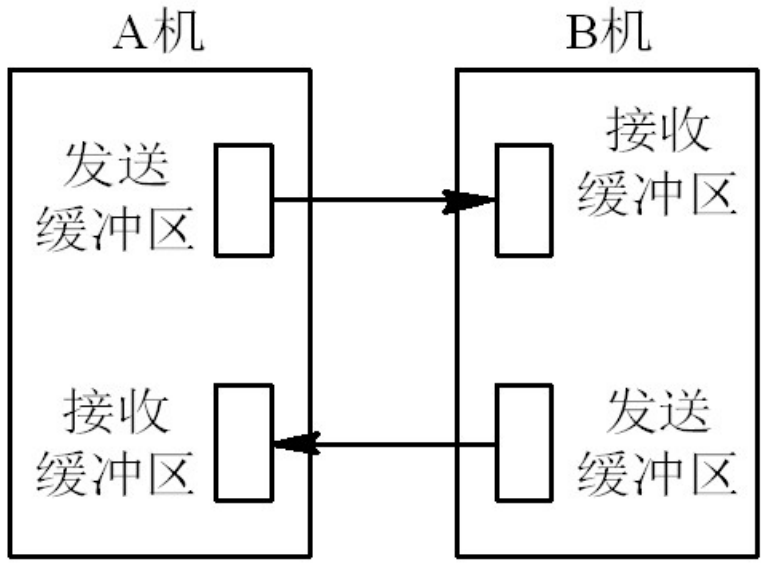


5.3.2 单缓冲和双缓冲 (3)

- 双机通信时缓冲区的设置



(a) 单缓冲

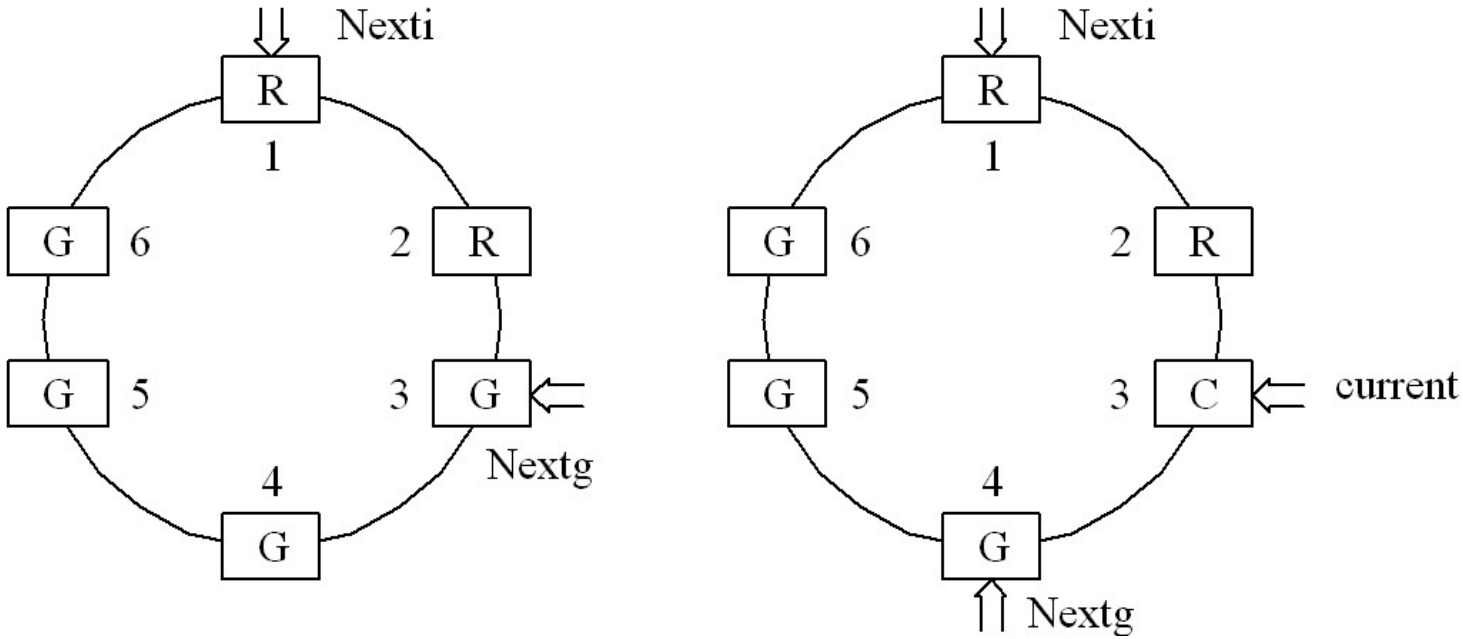


(b) 双缓冲

5.3.3 循环缓冲

- 1. 循环缓冲的组成
  - （1）多个缓冲区，三种类型
    - 用于装输入数据的空缓冲区 R
    - 已装满数据的缓冲区 G
    - 计算进程正在使用的现行工作缓冲区 C
  - (2) 多个指针
    - 指示计算进程下一个可用缓冲区 G 的指针 NextG
    - 指示输入进程下次可用的空缓冲区 R 的指针 Nexti
    - 指示计算进程正在使用的缓冲区 C 的指针 Current

循环缓冲组成示意图



- R: 空缓冲区; G: 已装满数据的缓冲区
- C: 正在使用的现行工作缓冲区
- Nextg: 指示计算进程下次可用的数据缓冲区的指针
- Nexti: 指示输入进程下次可用的空缓冲区的指针
- current: 指示计算进程正在使用的数据缓冲区的指针

循环多缓冲的使用

- nextg：指示下一个计算进程应取数据的 buf
- nexti：指示下一个空 buf 供输入进程使用.
- Getbuf:
  - 计算进程：取 nextg 对应缓冲区提供使用，将 Nextg 置为空，Nextg=（Nextg+1）Mod N
  - 输入进程：将 Nexti 对应缓冲区提供使用，将 Nexti 置为满，Nexti=（Nexti+1）Mod N
- Releasebuf:
  - 输入进程：当把缓冲区 C 装满后，则改为 G 缓冲区；
  - 计算进程：当把缓冲区 C 中的数据提取完毕后，则把 C 改为 R；

循环多缓冲的同步问题

- Nexti 追上 Nextg:
  - 表示输入速度 $>$ 输出速度，全部 buf 满，这时输入进程阻塞，系统受计算能力限制。
- Nextg 追上 Nexti:
  - 输入速度 $<$ 输出速度，全部 buf 空，这时输出进程阻塞。系统受 I/O 能力限制。

5.3.4 缓冲池

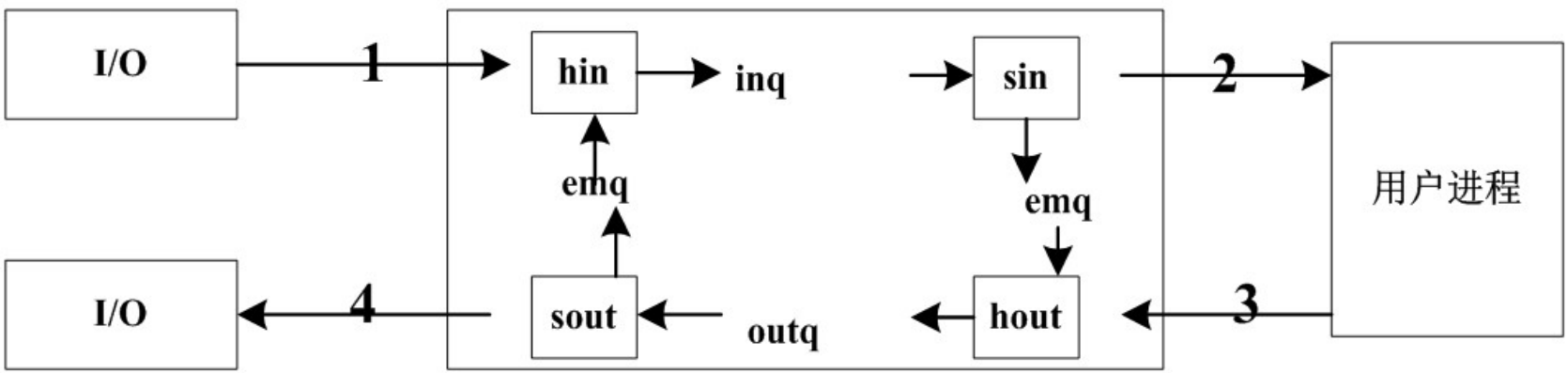
- 缓冲池：系统提供的公用缓冲
  - 前面的缓冲区仅适用于特定的 IO 进程和计算进程，属于专用缓冲。
  - 提供可供进程共享的公用缓冲，提高缓冲区利用率

1. 缓冲池的组成

- 一、组成：
  - 3 个队列：
    - 空缓冲队列 emq
    - 输入队列 inq
    - 输出队列 outq
  - 四个工作缓冲区：
    - hin：收容输入数据
    - sin：提取输入数据
    - hout：收容输出数据
    - sout：提取输出数据

2. 缓冲池的 4 种工作方式

- 1. 收容输入;
- 2. 提取输入
- 3. 收容输出;
- 4. 提取输出



工作方式

- 1. hin=getbuf(emq);
  putbuf(inq,hin)
- 2. sin=getbuf(inq);
  计算;
  putbuf(emq,sin)
- 3. hout=getbuf(emq);
  putbuf(outq, hout);
- 4. sout=getbuf(outq);
  输出;
  putbuf(emq,sout)

3. Getbuf 和 Putbuf 过程

```
Getbuf(type)
Begin
  wait(RS(type));
  wait(MS(type));
  B(number):=takebuf(type);
  signal(MS(type));
end
```

```
Putbuf(type)
Begin
  wait(MS(type));
  addbuf(type,number);
  signal(MS(type));
  signal(RS(type));
end
```

- MS(type) 为 type 类型队列的互斥信号量，保证队列的互斥访问
- RS(type) 为 type 类型队列的资源信号量，记录资源数量


RENMIN UNIVERSITY OF CHINA
1937
中國人民大學

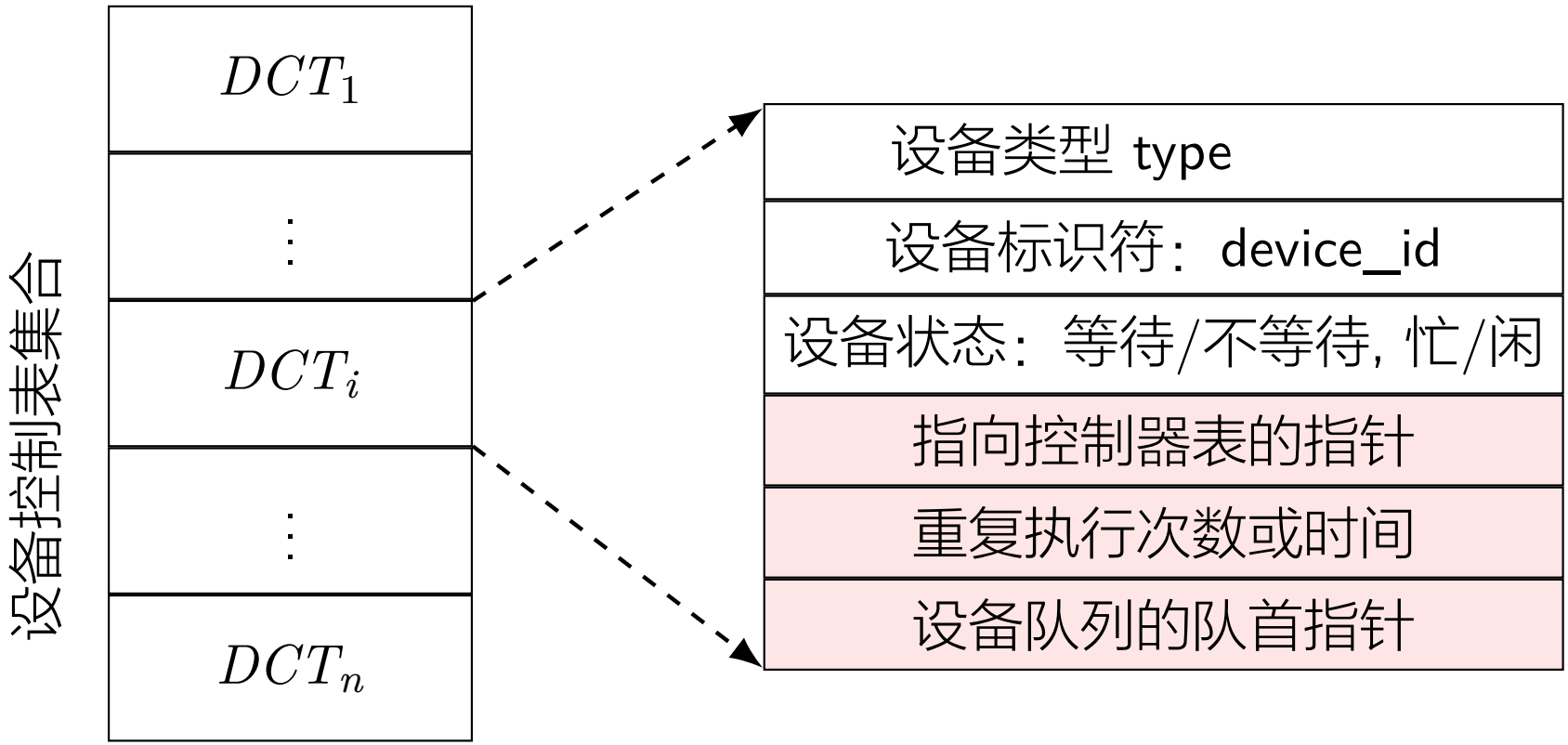
5.4 设备分配

- 多道程序环境下，设备供所有进程共享，为防止进程对系统资源的无序竞争，规定系统设备只能由系统统一分配。设备分配程序按照一定的策略，把设备分配给请求用户。
- 包括：对设备、设备控制器、通道的分配

5.4.1 设备分配的数据结构

- 一、设备控制表 DCT：
  - 每个设备一张，记录本设备的情况
- 二、控制器控制表（COCT），通道表（CHCT），系统设备表（SDT）
  - SDT: 记录了系统中全部设备及其驱动程序地址等信息。

设备控制表 DCT



- 一个设备一张设备控制表，记录本设备的情况

控制器控制表

- 一个控制器一个 COCT 表，记录本控制器情况

控制器标识符：controller_id
控制器状态：忙/闲
与控制器连接的通道表指针
控制器队列的队首指针
控制器队列的队尾指针

控制器表 COCT

通道控制表

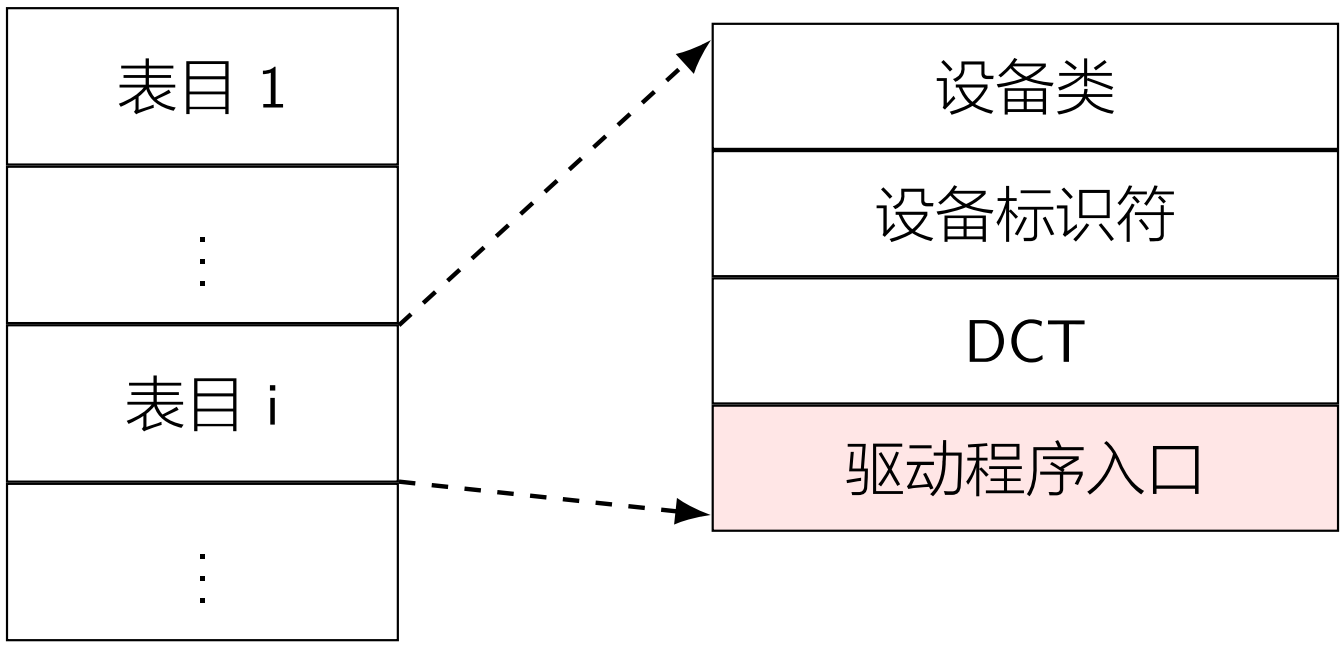
- 一个通道一张通道控制表

通道标识符：channel_id
通道状态：忙/闲
与通道连接的控制器表指针
通道队列的队首指针
通道队列的队尾指针

通道表 CHCT

系统设备表

- 记录系统中全部设备的情况



系统设备表 SDT

5.4.2 设备分配应考虑的若干因素 I

- 一、设备的固有属性：
  - (1) 独享设备：采用独享分配策略
  - (2) 共享设备：注意调度
  - (3) 虚拟设备
- 二、分配算法：
  - (1) FIFO；
  - (2) 优先权。
- 三、安全性：
  - 方式 1：安全分配 (同步)：每进程获得一 I/O 后，即 block，直到其 I/O 完成。
    - 即打破了死锁条件。
    - 缺点：CPU、I/O 对该进程是串行，进程进展缓慢。

5.4.2 设备分配应考虑的若干因素 II

- 方式 2：不安全分配（异步）：进程在发出 IO 请求后仍继续运行，可继续请求第二个 IO 需求；
  - 需进行安全性检查，进程执行效率高。
- 四、设备独立性
  - 5.4.3 内容

5.4.3 设备独立性

- 1、设备独立性概念
  - 即设备无关性，指应用程序独立于具体使用的物理设备。
    - 例：打印时的打印机选择
  - 为实现设备独立性引入逻辑设备和物理设备概念
    - 在应用程序中，使用逻辑设备名称来请求使用某类设备；而系统在实际执行时，还必须使用物理设备名称。因此，系统须具有将逻辑设备名称转换为某物理设备名称的功能，类似于存储器管理中的逻辑地址与物理地址关系。
  - 逻辑设备表（LUT：Logical Unit Table）：

逻辑设备	物理设备	Driver 入口

1、设备独立性的概念-续

- 分配流程：进程给出逻辑名 → 通过 LUT 得到物理设备及其 driver 入口。
- 优点：
  - 设备分配更灵活；
    - 逻辑设备和物理设备间可以是多—多的映射关系。提高了物理设备的共享性，以及使用的灵活性。如：
      - 某逻辑名可对应这一类设备，提高均衡性与容错性。
      - 几个逻辑名可对应某一个设备，提高共享性。
  - 易于实现 I/O 重定向。
    - 不变程序，只需改变 LUT 表的映射关系。
    - 如调式时输出到屏幕，测试成功后输出到打印机

2、设备独立性软件

- 执行所有设备的公有操作
  - 分配回收：对独立设备的分配与回收
  - 名字映射：将逻辑设备名映射为物理设备名，进一步可以找到相应物理设备的驱动程序
  - 保护：对设备进行保护，禁止用户直接访问设备
  - 缓冲管理：即对字符设备和块设备的缓冲区进行有效的管理，以提高 I/O 的效率；
  - 差错控制: 处理设备驱动程序无法处理的错误
- 向用户层软件提供统一接口
  - 无论何种设备，它们向用户所提供的接口应该是相同的，如统一的 Read 和 Write 操作

例

```
struct general_op{
    int (*read)(···)
    int (*write)(···)
};

driver1: struct  general_op dev_op={
    dev1_read,
    dev1_write
};
driver2: struct  general_op dev_op={
    dev2_read,
    dev2_write
};
Gen_read(fd,···){
    dev_op=map(fd);
    dev_op->read(···);
}
```

3、逻辑设备名到物理设备名映射的实现

- 1) 逻辑设备表：用于将应用程序中所使用的逻辑设备名映射为物理设备名
- 2) LUT 的设置问题：
  - (a) 系统中只设置一张 LUT: 所有用户之间不允许有相关的逻辑设备名
  - (b) 一个用户一张 LUT: 多用户系统中通常都配置系统设备表，故只需给出系统设备表的指针即可

逻辑设备名	物理设备名	驱动程序入口地址
/dev/tty	3	1024
/dev/printer	5	2046
...	...	...

(a)

逻辑设备名	系统设备表指针
/dev/tty	3
/dev/printer	5
...	...

(b)

5.4.4 独占设备的分配程序 I

- 1. 基本的设备分配程序
  - 1) 分配设备
  - 2) 分配控制器
  - 3) 分配通道
  - 只有在设备、控制器和通道三者都分配成功时，此次设备分配才算成功

5.4.4 独占设备的分配程序 II

- 2. 设备分配程序的改进
  - 1) 增加设备的独立性：使用逻辑设备名请求 I/O
    - 系统首先从 SDT 中找出第一个该类设备的 DCT，如忙，则找下一个，仅当所有该类设备都忙时，才把进程挂在该类设备的等待队列上。
  - 2) 考虑多通路情况
    - 设备（控制器）所连接的第一个控制器（通道）忙时，则查看所连接的第二个控制器（通道），只有都忙时，才把进程挂在控制器（通道）的等待队列上

分配程序示例 I

- 进程 n 请求设备：

```
search (sdt, phdevice);

if not busy (phdevice) then
  begin
    compute(safe); //对独占设备
    if safe then
       alloc (n, phdevice);
    else begin
       insert (DL(phdevice), n); //将n插入设备等待队列DL上
       return;
    end;
  end;
else begin //设备忙
    insert (DL (phdevice), n);
```

分配程序示例 II

```
    return;
end;

//device分配成功

controllerid=controllerid (COCT ptr(dct));
if not busy (COCT (controllerid)) then
    alloc (n, controllerid);
else begin
   insert (col, n);
   return;
end;

//控制器分配成功

channeled=channeled(chatptr (controllerid));
```

分配程序示例 III

```
if not busy (chct (channelid)) then
    allocation (n, channelid);
else begin
   insert (chl, n)
   return;
 end;
```

- 优化：
  - 1）增加设备的独立性
  - 2）考虑多通路情况

5.4.5 SPOOLing 技术

虚拟性：单一物理 CPU 被虚拟成多台逻辑 CPU，同样可以想法把单一物理设备虚拟为多台逻辑设备

- 1. SPOOLling 的基本概念
- 2. SPOOLing 组成
- 3. 共享打印机
- 4. SPOOLing 的特点

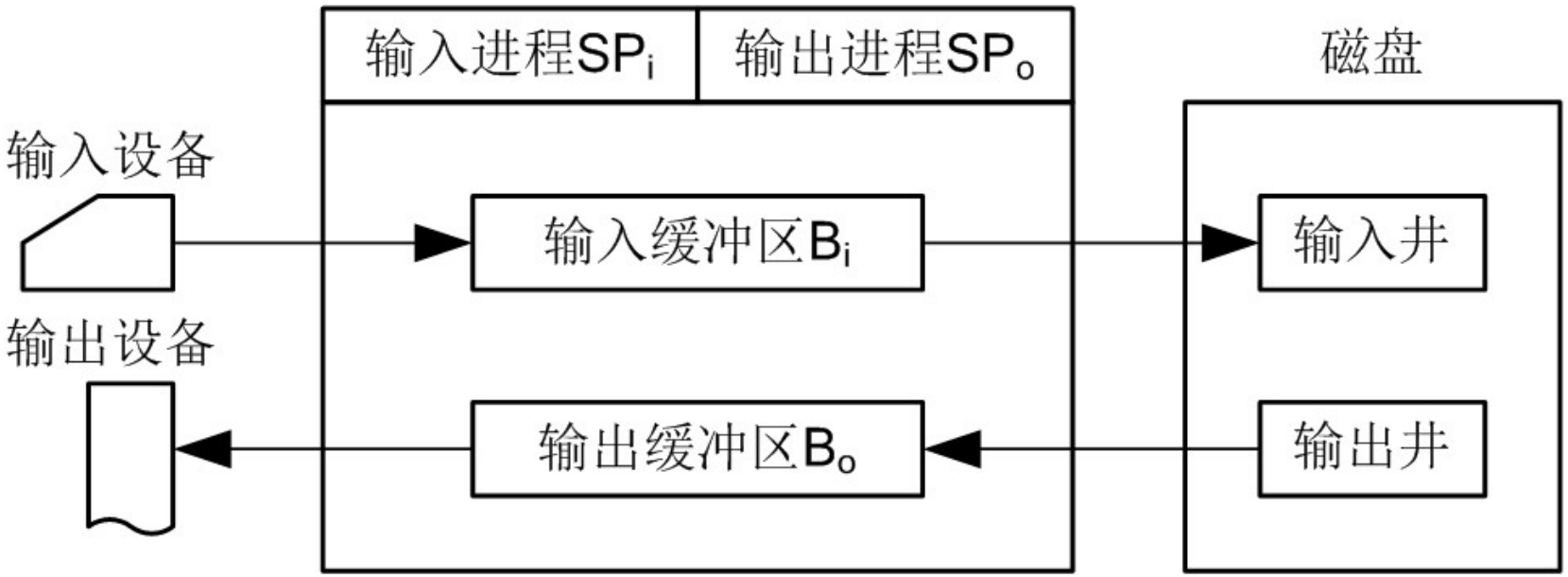
1. SPOOLing 的基本概念

- 把在联机情况下实现的同时外围操作称为 SPOOLing (Simultaneaus Periphernal Operating On-Line)，或称为假脱机操作。
- 作用:
  - 通过缓冲方式，将独占设备改造为共享设备

2. SPOOLing 组成

- 1. 输入井和输出井：
  - 在磁盘上开辟的 2 个大存储空间，模拟输入和输出设备。
- 2. 输入 buf 和输出 buf（内存中）
  - (1) 输入设备 $\rightarrow$ 输入 buf $\rightarrow$ 输入井 $\rightarrow$ 用户区
  - (2) 用户区 $\rightarrow$ 输出井 $\rightarrow$ 输出 buf $\rightarrow$ 设备
- 3. 输入 SP_i 和输出 SP_o 进程。
  - 分别控制 (1), (2) 的动作。
  - SP_i 相当于脱机输入控制器。
  - SP_o 相当于脱机输出控制器。

SPOOLing 系统的组成示意图



3. 共享打印机

- 共享打印机技术已被广泛地用于多用户系统和局域网络中。当用户进程请求打印输出时，SPOOLing 系统同意为它打印输出，但并不真正立即把打印机分配给该用户进程，而只为它做两件事：
  - (1) 由输出进程在输出井中为之申请一个空闲磁盘块区，并将要打印的数据送入其中
  - (2) 输出进程再为用户进程申请一张空白的用户请求打印表，并将用户的打印要求填入其中，再将该表挂到请求打印队列上

4. SPOOLing 的特点

- 1. 提高 I/O 速度:
  - 对低速设备操作 $\rightarrow$ 变为对输入/输出井操作。
- 2. 将独占设备改造为共享设备
  - 分配设备的实质是分配输入/出井
- 3. 实现了虚拟设备功能
  - 对于独占设备，用户都感到是自己独占了该设备。

讨论：SPOOLing 和缓冲的区别

讨论：SPOOLing 和缓冲的区别

- 目的不同：
  - SPOOLing 解决的是独占 I/O 设备如何共享使用的问题
  - 缓冲解决的是 I/O 设备和 CPU 的速度不匹配的问题。
- 数据存放的位置
  - SPOOLing 在磁盘上开辟输入井和输出井
  - 缓冲在内存中设置缓冲区
- 管理
  - SPOOLing 由井管理程序负责
  - 缓冲由缓冲区管理软件负责

5.5 设备处理

- 设备处理程序即是设备驱动程序
  - 设备处理程序用于实现 I/O 进程与设备控制器之间的通信，由于常以进程形式存在，故可简称为设备驱动进程
  - 负责接收上层软件发来的抽象要求，再转换为具体要求后，发送给设备控制器，启动设备执行；或者将设备控制器发来的信号传送给上层软件。

5.5.1 设备驱动程序的功能和特点

- 1. 设备驱动程序的功能：
  - (1) 接收由 I/O 进程发来的命令和参数，并将命令中的抽象要求转换为具体要求
  - (2) 检查用户 I/O 请求的合法性，了解 I/O 设备状态，传递有关参数，设置设备的工作方式
  - (3) 发出 I/O 命令，如果设备空闲，便立即启动 I/O 设备去完成指定的 I/O 操作；如果设备处于忙碌状态，则将请求者的请求块挂在设备队列上等待。
  - (4) 及时响应由控制器或通道发来的中断请求，并根据其中断类型调用相应的中断处理程序进行处理。
  - (5) 对于设置有通道的计算机系统，驱动程序还应能够根据用户的 I/O 请求，自动地构成通道程序。

5.5.1 设备驱动程序的功能和特点-II

- 2. 设备处理的三类方式
  - (1) 为每一类设备设置一个进程，专门用于执行这类设备的 I/O 操作.
  - (2) 在整个系统中设置一个 I/O 进程，专门用于执行系统中所有各类设备的 I/O 操作。或者设置一个输入进程和一个输出进程，处理系统中所有设备的输入和输出操作。
  - (3) 不设置专门的设备处理进程，而只为各类设备设置相应的设备处理程序 (模块)，供用户进程或系统进程调用。

5.5.1 设备驱动程序的功能和特点-III

- 3. 设备驱动程序的特点：属于低级的系统例程
  - (1) 驱动程序主要是指在请求 I/O 的进程与设备控制器之间的一个通信和转换程序。
  - (2) 驱动程序与设备控制器和 I/O 设备的硬件特性紧密相关，因而对不同类型的设备应配置不同的驱动程序。
  - (3) 驱动程序与 I/O 设备所采用的 I/O 控制方式紧密相关。如中断驱动或 DMA 方式
  - (4) 由于驱动程序与硬件紧密相关，因而其中的一部分必须用汇编语言书写。许多驱动固化在 ROM 中

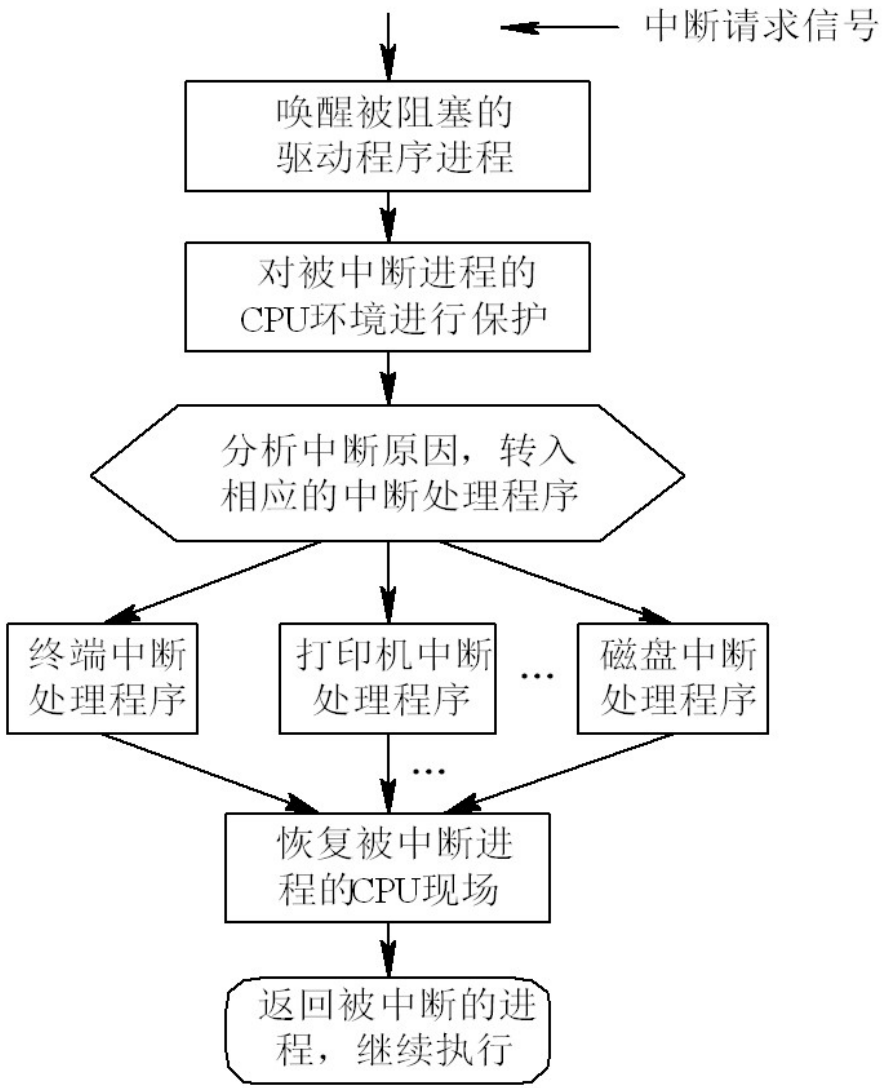
5.5.2 设备驱动程序处理过程

- 包括
  - 启动过程
  - 中断处理过程
- 启动过程
  - (1) 将抽象要求转化为具体要求，如抽象的盘块号转换为盘面、磁道及扇区号。
  - (2) 检查 I/O 请求合法性，如试图从打印机输入数据
  - (3) 读出和检查设备状态，如只能在就绪时写入数据
  - (4) 传送必要的参数，如块设备需要的字节数参数
  - (5) 设置工作方式
  - (6) 启动 I/O 设备，向控制器中的命令寄存器发控制命令

5.5.3 中断处理程序

- 流程
  - 设备启动 $\rightarrow$ I/O 完成 $\rightarrow$ 发送中断 $\rightarrow$ CPU 调用中断处理过程
- 中断处理过程
  - (1) 唤醒被阻塞的驱动程序进程
  - (2) 保护被中断进程环境
  - (3) 转入相应的设备处理程序
  - (4) 中断处理
  - (5) 恢复被中断进程的现场

中断处理流程


中断请求信号
唤醒被阻塞的
驱动程序进程
对被中断进程的
CPU环境进行保护
分析中断原因，转入
相应的中断处理程序
终端中断
处理程序
打印机中断
处理程序
...
磁盘中断
处理程序
...
恢复被中断进
程的CPU现场
返回被中断的进
程，继续执行


RENMIN UNIVERSITY OF CHINA
1937
中國人民大學

5.6 磁盘存储器管理

- 磁盘存储容量巨大，速度快，支持随机存取，因此现代计算机都配置了磁盘存储器。改善磁盘性能，是现代操作系统的重要任务之一。
- 日常问题
  - 磁盘擦写次数
  -

5.6 磁盘存储器管理

- 5.6.0 硬盘的发展历史
- 5.6.1 磁盘性能简述
- 5.6.2 磁盘调度
- 5.6.3 磁盘高速缓存
- 5.6.4 提高磁盘 I/O 速度的其他方法
- 5.6.5 独立磁盘冗余阵列

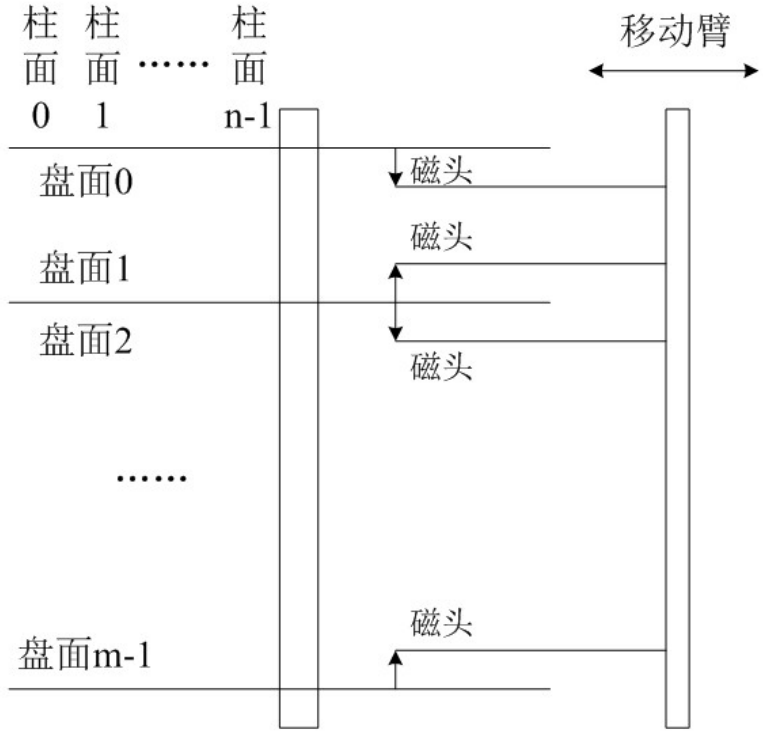
硬盘的发展历史 I

硬盘的发展历史 II

1956 年，IBM 发明了第一块硬盘 RAMAC 350（Random Access Method of Accounting and Control），支持随机读取，硬盘比冰箱大，容量是 5MB

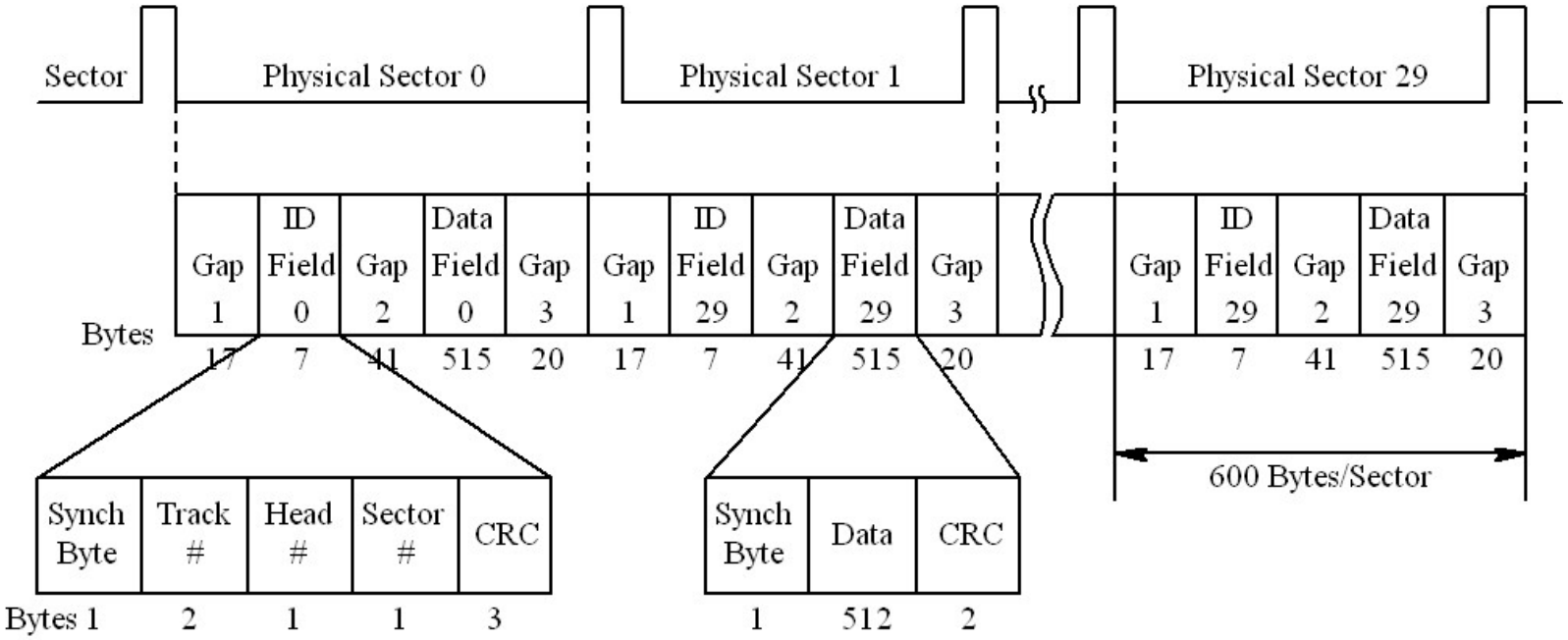
硬盘的发展历史 III

5.6.1 磁盘性能简述



- 1. 物理结构
  - 包括一或多个盘片，每个盘片分两面
  - 每个盘面分若干磁道，各盘面上序号相同的磁道构成一个柱面

2. 磁盘格式化


Sector
Physical Sector 0
Physical Sector 1
Physical Sector 29
Gap 1
ID Field
Gap 2
Data Field
Gap 3
Bytes
17
7
41
515
20
Synch Byte
Track #
Head #
Sector #
CRC
Bytes 1
2
1
1
3
Synch Byte
Data
CRC
1
512
2
600 Bytes/Sector

格式化的处理

- 格式化就是把一张空白的盘划分成一个个小的区域，并编号，供计算机储存，读取数据。没有这个工作的话，计算机就不知道在哪写，从哪读。

3. 磁盘的类型

- 1) 固定头磁盘
  - 每条磁道上都有一个读写磁头，实现并行读/写，有效地提高了磁盘的 I/O 速度。主要用于大容量磁盘上
- 2) 移动头磁盘
  - 每个盘面配有一个磁头，为访问磁盘上的所有磁道，磁头必须能移动以寻道。
  - 串行方式读/写，致使其 I/O 速度较慢
  - 结构简单，广泛应用于中小型磁盘设备中

4. 磁盘访问时间 I

- 寻道时间 + 旋转延迟时间 + 传输时间
- 1) 寻道时间 T_s (seek time)
  - 这是指把磁臂 (磁头) 移动到指定磁道上所经历的时间。该时间是启动磁臂的时间 s 与磁头移动 n 条磁道所花费的时间之和，即

$$T_s = m \times n + s$$

  - 其中，m 是一常数，与磁盘驱动器的速度有关，对一般磁盘，m=0.2；对高速磁盘，$m \leq 0.1$m, 磁臂的启动时间约为 2 ms。这样，对一般的温盘，其寻道时间将随寻道距离的增加而增大，大体上是 5–30 ms。

4. 磁盘访问时间 II

- 2) 旋转延迟时间 T_r (rotational delay)
  - 这是指定扇区移动到磁头下面所经历的时间
  - 平均旋转延迟时间:

$$E(T_r)\ \frac{1}{2r}$$

  - r: 磁盘转速
  - 典型的旋转速度为 5400r/min, 即每转需要 11.1ms，平均旋转延迟为 5.55ms

4. 磁盘访问时间 III

- 3) 传输时间 T_t (transfer time)
  - 这是指把数据从磁盘读出或向磁盘写入数据所经历的时间。Tt 的大小与每次所读/写的字节数 b 和旋转速度有关：

$$T_t = \frac{b}{rN}$$

  - 其中，r 为磁盘每秒钟的转数；N 为一条磁道上的字节数，当一次读/写的字节数相当于半条磁道上的字节数时，T_t 与 T_r 相同

例子

- 由于特定磁盘，只有集中放数据，集中读写（读写字节数 b 大）才能更好提高传输效率，例：
  - 寻道时间：20ms
  - 磁盘通道传输速率：1MB/s
  - 转速 r=3600rpm
  - 每扇区 512 字节
  - 每磁道 32 扇区
  - 目标：读 128k 数据

Question

- 每转所需要的时间是多少?
- 计算平均旋转延迟时间?
- 每一条磁道上的字节数是多少?
- 读取每个扇区数据的传输时间为多少?
- 128K 数据需要存放多少个扇区?
- 128K 数据需要存放多少个磁道?

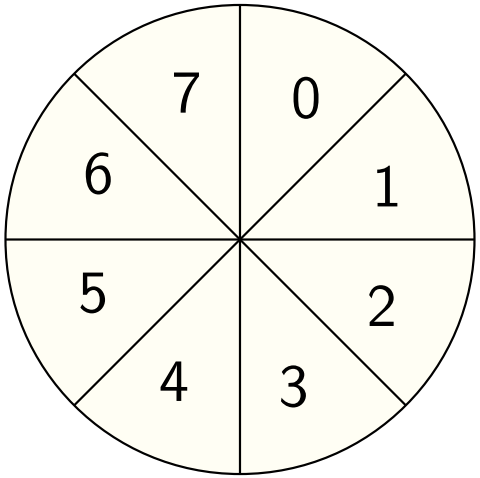
Answer

- 每转所需要的时间为：60*1000/3600=16.7ms
- 平均旋转延迟时间为：60*1000/3600/2=8.3ms
- 一条磁道上的字节数为：512*32=16384 字节，即 16K
- 读取每个扇区数据的传输时间：0.5K/16K*(每转的时间)=(1/32)*(60*1000/3600)ms=0.521ms
- 128K 数据需要存放多少个扇区：128/(512/1024)=256
- 128K 数据需要存放多少个磁道：256/32=8

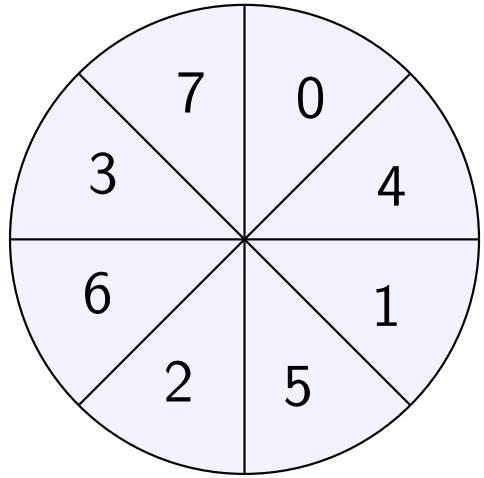
时间比较

- 顺序组织
  - $20+(8.3\ +\ 16.7)\times 8\ =\ 220(\text{ms})$
- 随机组织
  - $(20\ +\ 8.3\ +\ 0.5)\times 256\ =\ 7373(\text{ms})$

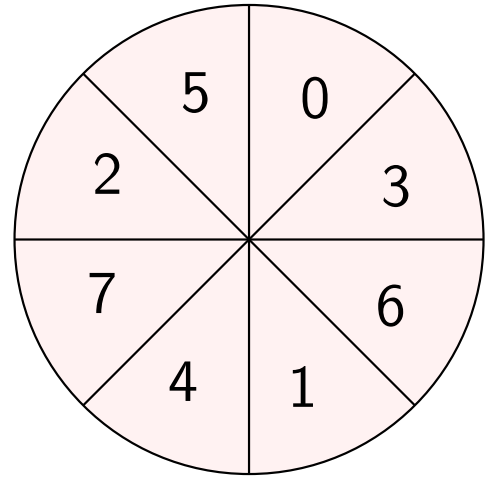
磁盘交叉编址



无交叉编址



单交叉编址



双交叉编址

练习

- 假定磁盘转速为 20ms/圈，磁盘格式化时每个磁道被划分成 10 个扇区，今有 10 个逻辑记录（每个记录的大小刚好和扇区的大小相等）存放在同一磁道上，处理程序每次从磁盘读出一个记录后要花 4ms 进行处理，现要求顺序处理这 10 个记录，若磁头现在正处在首个逻辑记录的始点位置，请问：
  - 1. 按逆时针方向安排 10 个逻辑记录（磁盘顺时针方向转），处理程序处理完这 10 个记录所花费的时间是多少?
  - 2. 按最优化分布重新安排这 10 个逻辑记录，写出记录的安排，并计算出所需要处理的时间。

5.6.2 磁盘调度

目标: 减少寻道时间

在多道程序环境下，OS 为每个 I/O 设备维护一条请求队列，对一个磁盘，队列中可能有来自多个进程的许多 I/O 请求，如果随机地从队列中选择一个进程，则磁道访问完全随机，性能很差，因此需要更好的调度策略。

5.6.2 磁盘调度

- 一、FCFS（Fisrt Come, First Served）
  - 也可以称为 FIFO
  - 特点：简单，寻道时间长，相当于随机访问模式。
  - 另一种较好的调度策略—LIFO
- 二、SSTF（最短寻道优先）

练习

假设当前时刻先后需要访问的磁道编号分别为：55, 58, 39, 18, 90, 160, 150, 38, 184，假设磁头位于磁道 100 位置
分别计算 FCFS 和 SSTF 的平均寻道长度

FSFS vs. SSTF

Table: FCFS 调度算法

下一个访问磁道	移动距离
55	45
58	3
39	19
18	21
90	72
160	70
150	10
38	112
184	146

平均寻道长度：55.3

Table: SSTF 调度算法

下一个访问磁道	移动距离
90	10
58	32
55	3
39	16
38	1
18	20
150	132
160	10
184	24

平均寻道长度：27.5

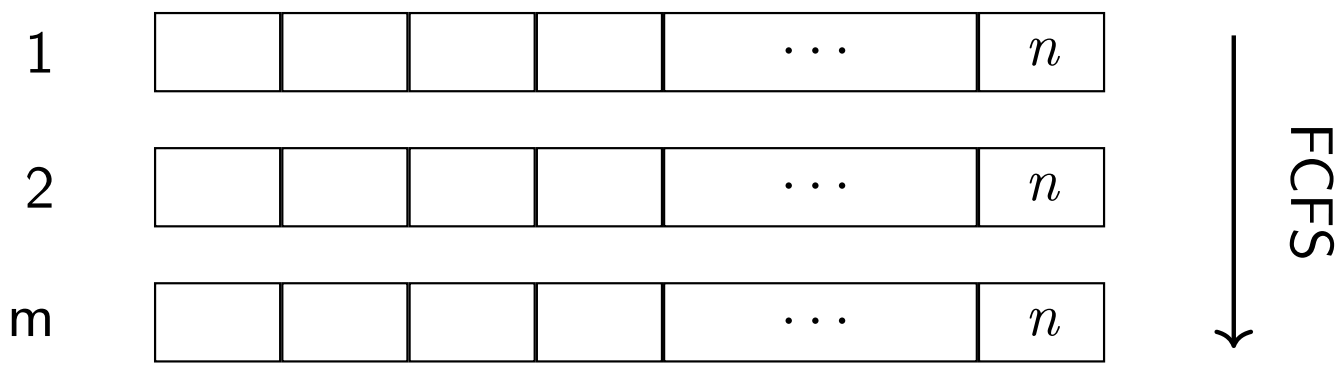
假设均从 100 磁道开始

5.6.2 磁盘调度 - cont.

- 三、扫描算法。
  - 1. 进程“饥饿现象”
    - SSTF 存在。
  - 2.SCAN 算法 (电梯调度算法):
    - 在移动方向固定的情况下采用了 SSTF，以避免饥饿现象

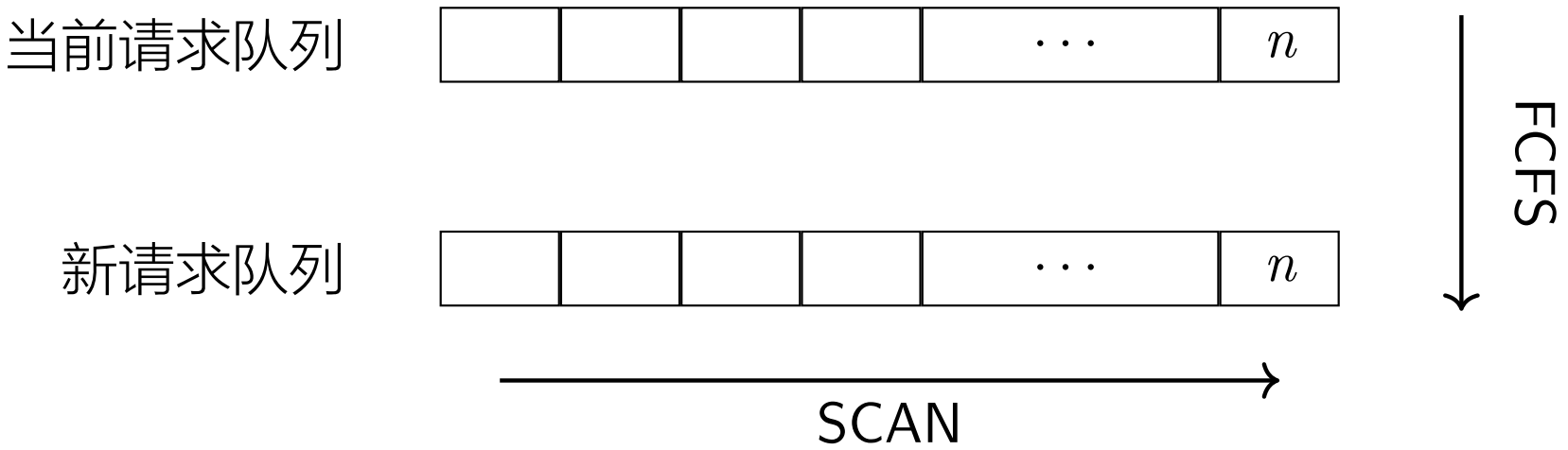
5.6.2 磁盘调度 - cont.

- 四、循环扫描 CSCAN（图 9-5）
  - 一个方向读完，不是象 SCAN 那样回头，而是循环。
  - 最迟访问时间：2T xx T+Smax
- 五、N—Step—SCAN 和 FSCAN 算法。
  - 1. N—Step—SCAN
    - 粘臂：由于连续对某磁道访问引起的垄断访问，将磁盘请求队列分为长为 N 的子队列 m 个，如下图处理。当 N=1 时，为 FCFS。当 N 取值很大时，为 SCAN.



5.6.2 磁盘调度 - cont.

* 2. FSCAN



FSFS vs. SSTF

- 假设当前时刻先后需要访问的磁道编号分别为：55,58,39，18,90,160,150,38,184，假设磁头位于磁道 100 位置
  - 分别计算 SCAN 和 CSCAN 的平均寻道长度 (磁头向增加方向移动)

SCAN vs. CSCAN

Table: SCAN 调度算法

下一个访问磁道	移动距离
150	50
160	10
184	24
90	94
58	32
55	3
39	16
38	1
18	20

平均寻道长度：27.8

Table: CSCAN 调度算法

下一个访问磁道	移动距离
150	50
160	10
184	24
18	166
38	20
39	1
55	16
58	3
90	32

平均寻道长度：35.8

5.6.3 磁盘高速缓存 I

- 形式
  - 逻辑上是磁盘、物理上是驻留在内存中的盘块
  - 固定大小和可变大小
- 数据交付方式
  - 数据交付指将磁盘高速缓存中的数据传送给请求者进程
  - 步骤：先查缓存、后查磁盘并更新缓存
  - 方式：
    - 数据交付
    - 指针交付：只指向高速缓存中某区域的指针

5.6.3 磁盘高速缓存 II

- 置换算法
  - 最近最久
  - 访问频率
  - 可预见性
  - 数据一致性：将需要一致性的块放在替换队列的头部，优先回写。
- 周期性回写磁盘
  - 例：
    - Unix 周期性调用 SYNC
    - ms – dos 采用写穿透方式

5.6.4 提高磁盘 I/O 速度的其它方法

- 提前读
- 延迟写
  - 访问频率高的磁盘块放在替换队列的尾部，减少回写次数
- 优化物理块的分布
  - 目的是减小磁头移动距离
  - 簇分配方式：一个簇为多个连续的块
- 虚拟盘（RAM 盘）
  - 和磁盘高速缓存区别：虚拟盘由用户控制；磁盘高速缓存由系统控制。

5.6.5 独立磁盘冗余阵列

- 辅存性能的提高速度远远低于处理器和内存的提高速度，使得磁盘存储系统称为提高计算机整体性能的主要问题
- 如单个组件性能提升有限，可采用多个组件并行的方式
- 加州大学伯克利分校的研究小组于 1988 年首次提出 RAID 术语
  - Redundant Array of Independent Disks: 独立磁盘冗余阵列
- 思路
  - RAID 是一组物理磁盘驱动器，OS 把他们看做是一个单独的逻辑驱动器
  - 数据分布在物理驱动器阵列中
  - 使用冗余的磁盘容量保存校验信息，从而保证当一个磁盘失效时，数据具有可恢复性。
- RAID 共有 7 个级别，从 0 到 6，这些级别并不隐含一种层次关系

RAID 的特点

- 并行交叉存取（条化存取）
- 冗余存取
- 校验存取
- 优点
  - 可靠性高
  - 磁盘 I/O 速度高
  - 性价比高

RAID5

- 容错性：有　冗余类型：奇偶校验
- 热备盘选项：有　读性能：高
- 随机写性能：低　连续写性能：低
- 需要的磁盘数：三个或更多
- 可用容量：（n-1）/n 的总磁盘容量（n 为磁盘数）
- 典型应用：随机数据传输要求安全性高，如金融、税务等。

本章实验

- 调查：硬盘的发展历史
- 实现 SSTF 算法和 SCAN 算法
  - 要求
    - 给出任意的输入流、计算平均寻道长度。
    - 输入流长度、磁头移动方向可定制。
    - 测试：设有 100 各磁道，访问序列如下：
      - 23，5，98，14，66，25，78，34，66，74，56，87，12，39，71，49，58
      - 当前磁头在 50 道，上次访问的磁道是 18 道，SCAN 算法由内到外移动

END

致谢

本讲义的内容来自于参考教材及互联网上的部分讲义和公开资料，包括但不限于：

计算机操作系统、深入理解计算机系统、操作系统精髓、操作系统之哲学原理、带你逛西雅图活电脑博物馆...

遗漏之处，请留言联系以便补充。