

计算机组成 (2022秋)

计算机组成课程组

(刘旭东、高小鹏、肖利民、栾钟治、万寒)

北京航空航天大学计算机学院中德所

栾钟治

习题6——流水线处理器设计

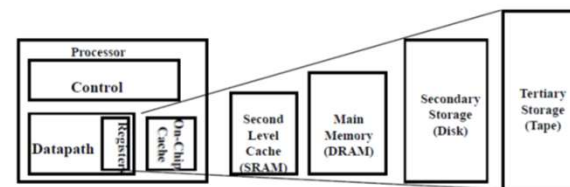
- ❖ 已发布
 - Spoc平台
- ❖ 12月02日截止
 - 23:55
- ❖ 在sopc提交
 - 电子版，可手写

习题7——Cache与虚存

- ❖ 已发布
 - Spoc平台
- ❖ 12月09日截止
 - 23:55
- ❖ 在sopc提交
 - 电子版，可手写

回顾：辅助存储器

- ❖ 辅助存储器
 - 主存的后援设备：磁表面存储器、光介质存储器
 - 磁表面存储原理
 - 磁记录编码方式



回顾：硬磁盘存储器

- ❖ 硬磁盘存储器的基本结构
- ❖ 数据结构和性能参数
- ❖ 磁盘类型

1.3 磁盘的类型 —— 硬盘

❖ IDE (Integrated Drive Electronics) 磁盘

- 80年代出现, 最初为AT结构的PC设计, 又称ATA (Advanced Technology Attachment) 接口, 属低价位磁盘, 由系统BIOS (Basic Input Output System) 处理磁盘的读写等操作
- 早期可能是BIOS程序员的失误, IDE磁盘的地址被定义为: Head # (4位, 从0开始), Cylinder# (10位, 从0开始), Sector# (6位, 从1开始), 所以磁盘最大容量限制: $16 \times 63 \times 1024 \times 512 \text{ Bytes}$ (528MB)
- 后出现了EIDE (Extended IDE) Hard Disk, 支持LBA (Large Block Address) 地址模式, 扇区地址可从0到 $2^{24}-1$
- IDE接口用一根40芯或80芯的扁平电缆连接硬盘与主板, 每条线最多连接2/4个IDE设备。Ultra DMA/133其数据传输率为133 MB/s, 对CPU的占用率从92%降至52%

1.3 磁盘的类型 —— 硬盘

❖ SCSI (Small Computer System Interface) 磁盘: 数据结构和磁盘结构与IDE类似。但有不同的接口和更高的数据传输率

- 50 wires cable (8-bit): GND (25 wires), Data (8 wires), Parity (1 wire), Control (9 wires), Power (Others)
- SCSI总线是共享的, 所有SCSI设备 (不一定是磁盘) 可以同时操作, 这是与IDE/EIDE最大的不同之处
- SCSI接口速度可达320MB/s, 硬盘容量可达300GB

Name	Data(bits)	Bus(Mhz)	MB/Sec
SCSI-1	8	5	5
SCSI-2	8	5	5
Fast SCSI-2	8	10	10
Fast & Wide SCSI-2	16	10	20
Ultra SCSI	16(32)	20	40
Ultra2 Wide SCSI	16		80
Ultra-160m/Ultra-320m	16		160/320

1.3 磁盘的类型 —— 硬盘

❖ SATA (Serial-ATA) 磁盘: IDE属Parallel-ATA, SATA具有更快的外部接口传输速度, 数据校验措施更为完善

- 改用线路相互间干扰较小的串行线路进行信号传输, 相比原来的并行总线, SATA的工作频率得以大大提升
- SATA具有更简洁方便的布局连线方式, 在有限机箱内, 更有利于散热, 使内部电磁干扰降低很多
- SATA 1.0速率可达150MB/s, 硬盘容量可达400GB。SATA 2.0/3.0可提升到300至600MB/s
- SATA是点对点的, 但SCSI总线是共享的

1.3 磁盘的类型 —— 硬盘

❖ SAS (Serial Attached SCSI) 即串行连接SCSI, 是新一代SCSI技术, SAS改善了存储系统的效能、可用性和扩充性

- 与SATA硬盘相同, 都采用串行技术以获得更高的传输速度, 并通过减少连结线改善内部空间等
- 由于采用串行线缆, 可实现更长的连接距离, 还能提高抗干扰能力, 且可显著改善机箱内部的散热情况
- SAS起步速度可达300MB/s, 600MB/s甚至更多
- SAS是点对点的, SAS的接口技术可向下兼容SATA

1.3 磁盘的类型 —— RAID

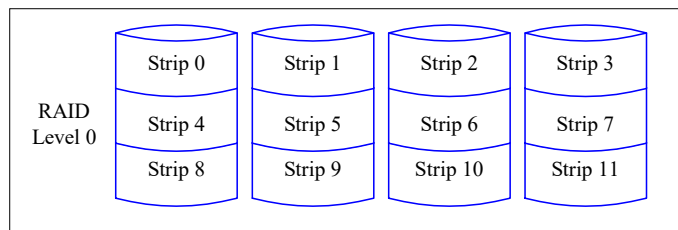
❖ RAID

- Redundant Array of Inexpensive Disks (廉价磁盘冗余阵列)
 - RAID由多个物理磁盘构成, 但被操作系统当成一个逻辑磁盘, 数据分布在不同的物理磁盘上, 冗余磁盘用于保存数据校验信息, 校验信息保证在出现磁盘损坏时能够有效地恢复数据
- RAID特点
 - 通过把多个磁盘组织在一起作为一个逻辑卷提供磁盘跨越功能
 - 通过把数据分成多个数据块 (Block) 并行写入/读出多个磁盘以提高访问磁盘的速度
 - 通过镜像或校验操作提供容错能力
- 不同模式的RAID
 - RAID 0, RAID1, RAID2, RAID3, RAID4, RAID 5.....

1.3 磁盘的类型 —— RAID

❖ RAID 0: 无差错控制的带区组

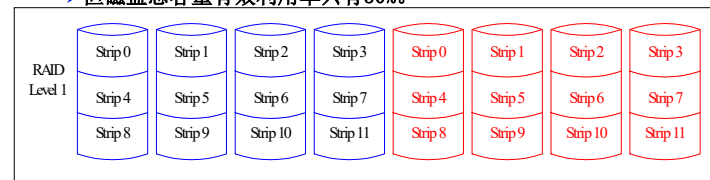
- 实际上不应属于RAID家族成员, 完全没有冗余;
- 数据条带化 (Strip) 地分布在不同的物理磁盘上。Strip可以是物理磁盘上的一块存储区 (扇区或其他单位)。
- 磁盘组中每一个磁盘同一位置的磁盘区构成一个逻辑上的条带, 所以一个条带分布在多个磁盘上。
- 单个I/O 操作访问的数据分布在一个条带上时, 可实现I/O操作的并行处理, 改善数据传输性能。



1.3 磁盘的类型 —— RAID

❖ RAID 1: 镜像结构

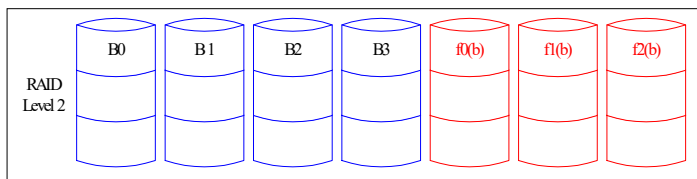
- 简单镜像磁盘冗余方案, 成本太高;
- 与RAID 0类似, 用户数据和系统数据条带化 (Strip) 地分布在不同的物理磁盘上 (包括镜像磁盘)。
- 读操作同时在两组磁盘中进行, 数据从访问时间小的磁盘组中获得, 所以, 读操作性能得到改善。
- 写操作同时在两组磁盘中进行, 写操作的访问时间以速度慢的为准, 所以, 写操作性能指标不高。
- 出现磁盘损坏时, 数据恢复简单。
- 但磁盘总容量有效利用率只有50%。



1.3 磁盘的类型 —— RAID

❖ RAID 2: 带海明校验

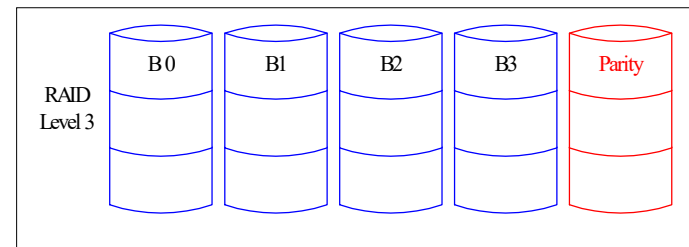
- 采用完整的并行访问技术，所有磁盘在任何时刻都并行地响应I/O 请求；磁盘组中物理磁盘处于完全同步状态，以保证任何时刻，所有磁盘的磁头都处于相同位置。
- 数据按较小的条带（一个字或一个字节）分布在不同的磁盘上。
- 根据磁盘数据计算错误校验码（比如海明码），校验码按位分布在冗余磁盘对应位置上。
- 数据传输率高；访问效率高；
- 成本比较高（比RAID1稍低）



1.3 磁盘的类型 —— RAID

❖ RAID 3: 带奇偶校验码的并行传送

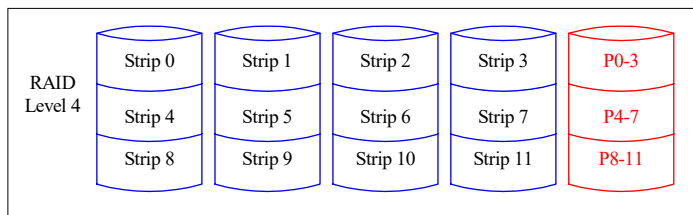
- 与RAID2一样，采用并行访问技术；
- 数据按较小的条带（一个字或一个字节）分布在不同的磁盘上；
- 校验码是简单的奇偶校验码（1位），保存在独立的冗余磁盘对应位置上；
- 一个磁盘损坏，可以方便地实现数据恢复；
- 数据传输率高，访问效率高。



1.3 磁盘的类型 —— RAID

❖ RAID 4: 带奇偶校验码的独立磁盘结构

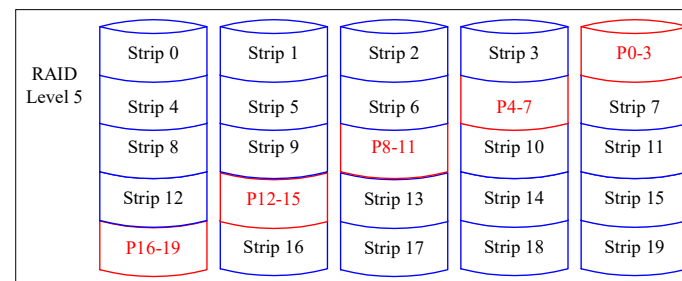
- 采用独立访问技术，每个磁盘独立工作，分散的I/O请求将得到很好的并行处理；
- 数据按较大的条带分布在不同的磁盘上；
- 校验码是奇偶校验码，保存在独立的冗余磁盘对应位置上；
- 一个磁盘损坏，可以方便地实现数据恢复；
- 写操作效率较低，需计算奇偶校验位，磁盘组中一个磁盘写操作，均需要读取原检验信息，重新计算校验信息，再写校验信息。



1.3 磁盘的类型 —— RAID

❖ RAID 5: 分布式奇偶校验的独立磁盘结构

- 与RAID 4的差别仅在于校验信息的保存位置；数据校验码作为条带的一部分保存在磁盘组不同的磁盘上



第八讲：虚拟存储系统

一. 辅助存储器

1. 磁记录方式
2. 硬磁盘存储器
3. 磁盘的类型
4. 光盘存储器

二. 虚拟存储器

1.4 光盘存储器 —— CD-ROM

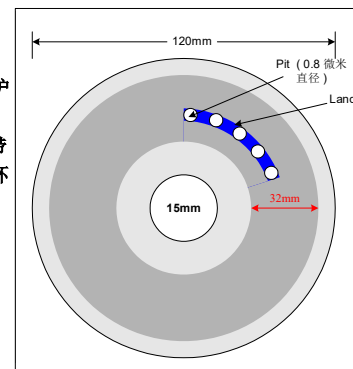
■ CD-ROM

- 规格：直径120mm，厚1.2mm，中心孔径 15mm
- 结构：树脂片基，铝反射层，保护膜，印刷层
- 数据记录区：32mm宽环形记录带
 - 等线速度方式：一个螺旋环环绕22188次（600环/mm，总长度约 5.6km长）
 - 等角速度方式

■ 数据记录

- 凹点（Pit）表示 0，Land 表示 1
- 制作过程：母板压模

- 读机制：0.78微米波长红外激光，根据反射光的强度判断是0还是1



1.4 光盘存储器 —— CD-ROM

❖ CD-ROM的数据格式

12 Bytes SYNCH				
00	FF x 10	00	4 Bytes ID	2048 Bytes Data
288 Bytes ECC				

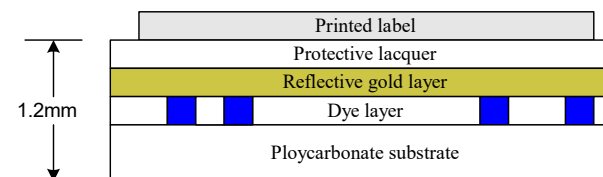
Sector Format

- Symbol: 14位，8位数据，6位海明校验位(看成一个Bytes);
- Frame: 42个连续Symbol (588bits)，其中192位（24字节）存储数据，其余396位用于错误纠正与控制
- Sector: 98个frame构成一个Sector（总计2352Bytes）
- 总容量：650MB
- 等线速度旋转时：单速：120cm/s（最内圈530RPM，最外圈200RPM），75 Sectors/Sec（150KB/S）

1.4 光盘存储器 —— CD-R

❖ CD-R (Recordables)

- 在片基（树脂）与反射层（金）中增加了一层染料层作为数据记录层，初始状态下，染料层透明，在写入状态时，高能量（8-16mw）使照射处的染料变色，变成不透明点，不可再恢复成透明状态。读出状态下(0.5mw)，根据透明不透明判断是0还是1



1.4 光盘存储器 —— CD-RW

❖ CD-RW (Rewritables)

- 与CD-R的差别是采用合金层代替染料层。一般采用银、铜、锑、碲合金。该合金具有两种稳定状态：透明状态（晶体结构）和不透明状态（无序结构），初始时为晶体结构。
- CD-RW工作时采用三种不同功率的激光：
 - 大功率（写）：合金熔化，由晶体结构变为无序结构
 - 中等功率（擦除）：合金熔化，由无序结构变为晶体结构
 - 小功率（读）

1.4 光盘存储器 —— DVD

❖ DVD (Digital Video Disk)

与CD-ROM的差别：

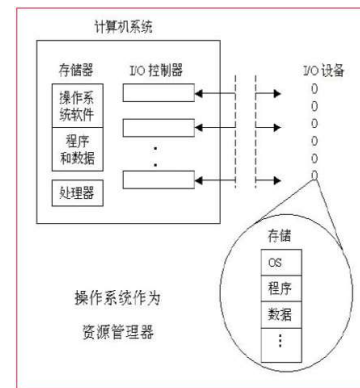
- Pit直径更小（0.4微米）
- 环绕密度更高（0.74微米，CDROM是1.6微米）
- 0.65微米波长红色激光（CDROM是0.78微米的红外激光）
- 容量：单面单层4.7GB，单面双层8.5GB，双面单层9.4GB，双面双层17GB
- 数据传输率：单速DVD 1.4M Bytes/Sec

第八讲：虚拟存储系统

- 一. 辅助存储器
- 二. 虚拟存储器
 1. 虚拟存储器概述
 2. 页式虚拟存储器

2.1 虚拟存储器概述

- 存储器管理：操作系统的功能
- 操作系统：合理地管理、调度计算机的硬件资源。存储器作为一种空间资源也由OS来管理；
- CPU执行的程序：总是在操作系统和用户程序之间切换。主存中同时要存储OS和用户程序。磁盘中也存储OS和用户程序；
- CPU中的存储器管理部件MMU协助OS完成存储器访问。



2.1 虚拟存储器概述

■ 一个典型程序的转换处理过程

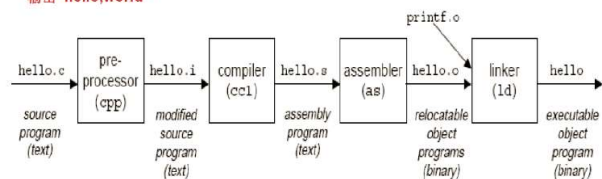
经典的“hello.c”C-源程序

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main()
4 {
5     printf("hello, world\n");
6 }
```

程序的功能是：
输出“hello,world”

hello.c的ASCII文本表示

```
# i n c l u d e < s t d i o .
35 105 110 99 108 117 100 101 32 60 115 116 100 105 111 46
h > \n \n i n t < s p > m a i n ( ) \n {
104 62 10 10 105 110 116 32 109 97 105 110 40 41 10 123
\n < s p > < s p > < s p > p r i n t f ( " h e l
10 32 32 32 112 114 105 110 116 102 40 34 104 101 108
l o , < s p > w o r l d \n " ) ; \n }
108 111 44 32 119 111 114 108 100 92 110 34 41 59 10 125
```



2.1 虚拟存储器概述

■ 操作系统在程序执行过程中的作用

■ Hello执行过程中，其本身没有直接访问键盘、显示器、磁盘和主存储器这些硬件资源，而是依靠操作系统提供的服务来间接访问。

■ 操作系统的两个主要的作用：

■ 硬件资源管理

■ 为用户使用系统提供一个操作接口

■ 操作系统通过三个基本的抽象概念（进程、虚拟存储器、文件）实现硬件资源管理

■ 文件（files）是对I/O设备的抽象表示

■ 虚拟存储器（Virtual Memory）是对主存和磁盘I/O的抽象表示

■ 进程（processes）是处理器、主存和I/O设备的一种抽象表示，实际上是对运行程序的抽象表示

2.1 虚拟存储器概述

■ 虚拟存储器的动机

➢ 多道程序（进程）同时运行时如何共享存储器？

- 同时运行的程序对内存的需求之和可能超过计算机实际内存容量
- 单个程序对内存的需求也有可能超过机器实际内容容量

➢ 如何消除小的主存容量对编程的限制？

- 编写编译程序时，不知道程序运行时将和哪些其他程序共享内存
- 我们希望把每个程序编译在它自己的地址空间中

■ 解决之道

- 程序运行时，内存管理采用交换机制（硬件和操作系统实现），进程保存在辅存中，进程执行时，只将其活跃部分调入内存（局部性原理）。此时主存可以视为辅存的“高速缓存”
- 这样一种把主存当做辅助存储器的高速缓存的技术，称为虚拟存储器（virtual memory）技术

2.1 虚拟存储器概述

■ 虚拟存储器小知识

1. 虚拟存储器源自于英国ATLAS计算机（1962年，英国曼彻斯特大学）的一级存储器概念。这种系统的主存为16千字的磁芯存储器，但中央处理器可用20位逻辑地址对主存寻址。成为现在广为采用的虚拟存储器的雏形。
2. 1970年，美国RCA公司研究成功虚拟存储器系统
3. 1972年，IBM公司于在IBM370系统上全面采用了虚拟存储技术
4. 当前，虚拟存储器已成为计算机系统中非常重要的部分

2.1 虚拟存储器概述

■ 虚存空间与物理空间

- 用户编程空间：用户编制程序时使用的地址称为**虚地址或逻辑地址**，其对应的存储空间称为**虚存空间**或逻辑地址空间。虚存空间的用户程序按照虚地址编程并存放在辅存中。
- 物理内存空间：计算机物理内存的访问地址称为**实地址或物理地址**，其对应的存储空间称为**物理空间**或主存空间。

■ 虚拟存储器要解决的问题

- 虚存空间与物理空间之间的数据交换：交换哪些数据？每次交换多少？
- 虚地址与实地址的转换问题：虚地址格式、实地址格式、怎么判断当前访问的虚地址对应的数据是不是在物理空间中，如何把虚地址转换为实地址？如何加速这种判断和转换？
- 缺失处理和替换策略：访问的内容不在物理空间中怎么处理？

2.1 虚拟存储器概述

■ 虚拟存储系统的特征

- 程序员在比实际主存空间大得多的逻辑地址空间中编写程序
- 程序执行时，把当前需要的程序段和相应的数据块调入主存，其他暂不用的部分存放在磁盘上
- 指令执行时，通过硬件（MMU）将逻辑地址（也称虚拟地址或虚地址）转化为物理地址（也称主存地址或实地址）
- 在发生程序或数据访问失效时，由操作系统进行主存和磁盘之间的信息交换。

虚拟存储器机制由硬件与操作系统共同协作实现，涉及到操作系统中的许多概念，如进程、进程的上下文切换、存储器分配、虚拟地址空间、缺页处理等。

2.1 虚拟存储器概述

■ 虚拟存储器的调度方式

- **页式调度**：将虚存空间和物理地址空间都分成固定大小的页。主存按页顺序编号；每个独立编址的程序空间也按自己的页顺序编号。虚存空间和物理空间按页进行交换。
- **段式调度**：按程序的逻辑结构将程序空间划分为若干段，段的长度是随意的，虚存空间和物理空间按段进行交换。
- **段页式调度**：两种方法的结合。在段页式调度中把物理空间分成页，程序按模块分段，每个段再分成与物理空间页同样大小的页面。虚存空间和物理空间按页进行交换。

第八讲：虚拟存储系统

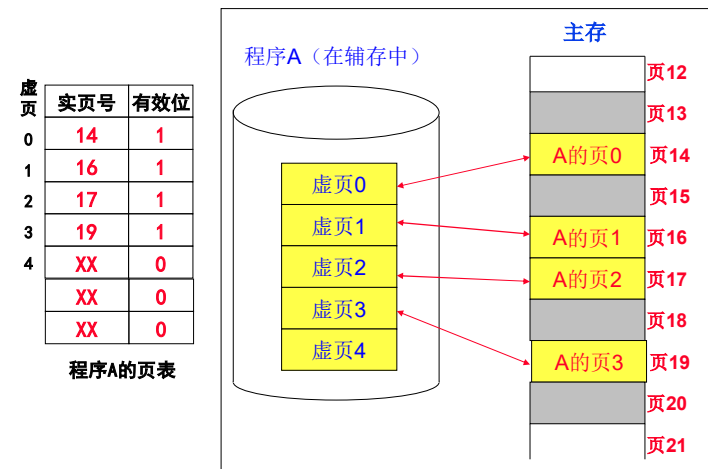
- 一. 辅助存储器
- 二. 虚拟存储器
 1. 虚拟存储器概述
 2. 页式虚拟存储器

2.2 页式虚拟存储器

■ 页式虚拟存储器

- 虚存空间和主存空间按固定大小分成若干页，虚存页称为**虚页**，主存页称为**实页**。辅存中的程序按页调入内存
- 虚地址格式（逻辑地址格式）：**虚页号 + 页内地址**
- 实地址格式（物理地址格式）：**实页号 + 页内地址**
- **页表**：记录虚页与实页的映射关系，实现虚实地址的转换，页表建立在内存中，操作系统为每道程序建立一个页表。页表用虚页号作为索引，页表项包括虚页对应的**实页号**和**有效位**
- **页表寄存器**：保存页表在内存中的首地址。

2.2 页式虚拟存储器



2.2 页式虚拟存储器

❖ 举例

某计算机虚拟地址32位，物理内存128MB，页大小4KB。

- (1) 程序虚拟空间最多可有多少页？
- (2) 页表项共有多少位？
- (3) 每个页表占多少内存空间？

❖ 解答

虚地址32位：虚页号（20位）+ 页内偏移（12位）

实地址27为：实页号（15位）+ 页内偏移（12位）

每个程序虚拟空间最多可有： 2^{20} 个虚页

每个页表项：1位（有效位）+ 15位（实页号）= 16位

每个页表所占空间： $2^{20} \times 16 = 16\text{Mb} = 2\text{MB}$

多道程序运行时，所有程序的页表都在内存中，页表占用内存空间不可忽视，极端情况下，页表有可能消耗所有内存空间。