三、存储器管理

任课教师：姜博
联系方式：gongbell@gmail.com
北京航空航天大学计算机学院
2018年3月15日

内容提要

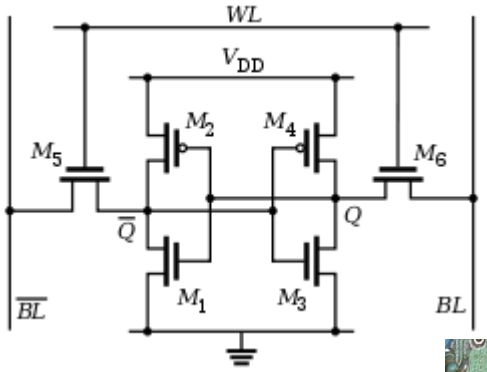
- 存储管理基础
- 页式内存管理
- 段式内存管理
- 虚拟存储管理
- 存储管理实例

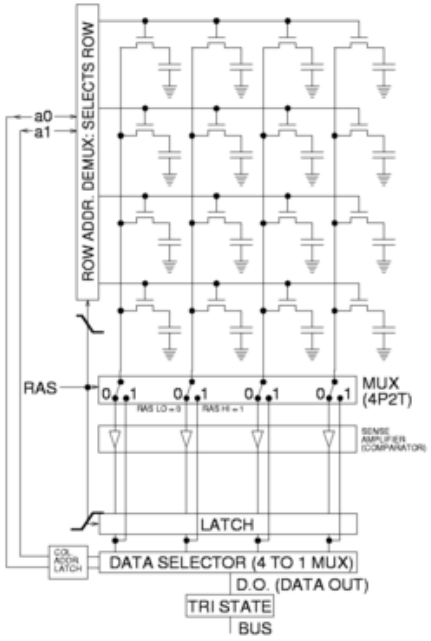
内容提要

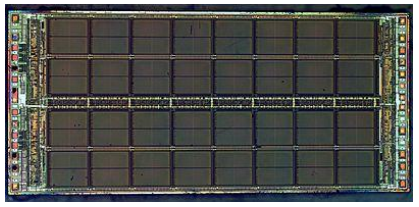
- 存储管理基础
  - 存储器硬件发展
  - 存储管理的功能
    - C程序实例分析(MIPS)
  - 存储器分配方法
    - 单一连续
    - 分区管理：固定分区、可变分区
    - 覆盖、交换
- 页式内存管理
- 段式内存管理
- 虚拟存储管理
- 存储管理实例

存储器硬件

- 存储器的功能：保存数据，存储器的发展方向是高速、大容量和小体积。
  - DDR4理论上每根DIMM模块能达到512GiB的容量
  - DDR4-3200带宽可达51.2GB/s







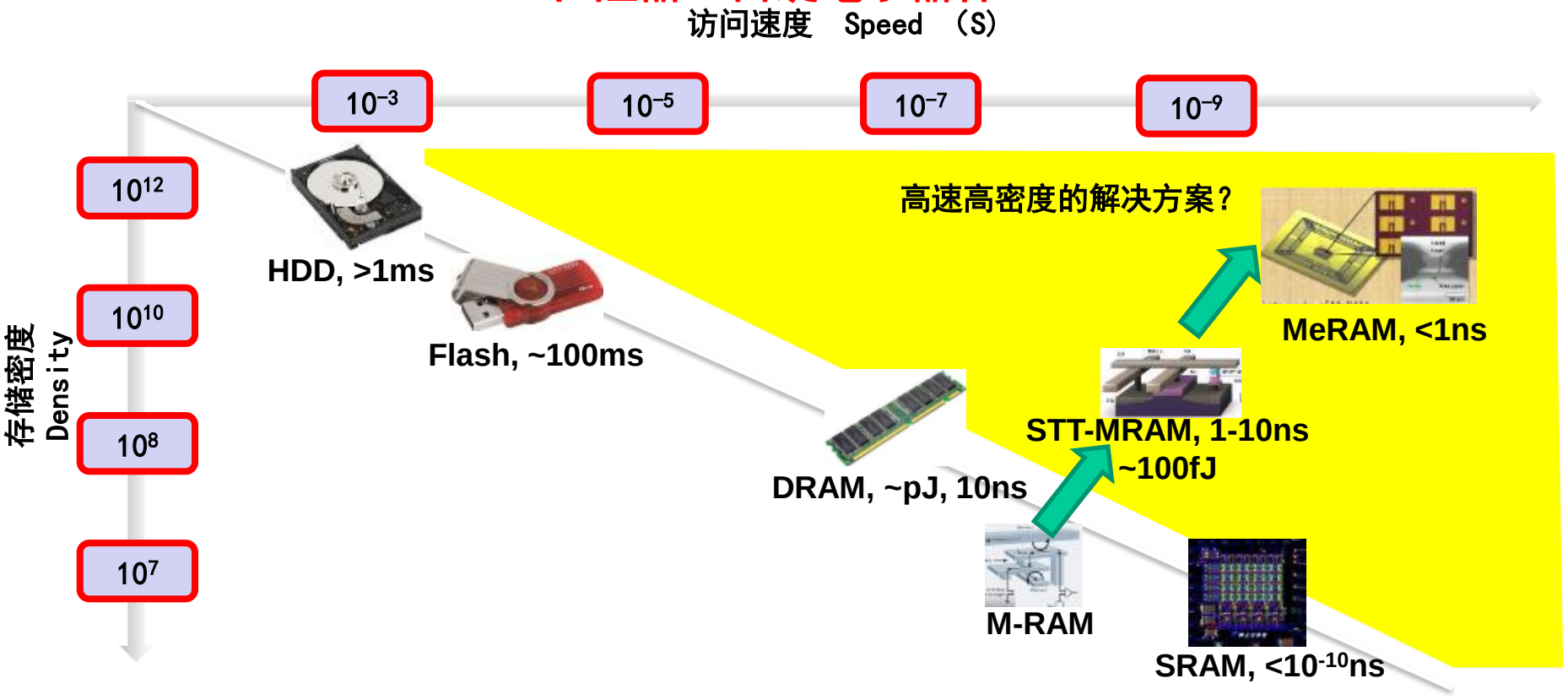
存储器硬件

- 静态存储器（SRAM）：读写速度快，生产成本高，多用于容量较小的高速缓冲存储器。- 用于做Cache
- 动态存储器（DRAM）：读写速度较慢，集成度高，生产成本低，多用于容量较大的主存储器。

	SRAM	DRAM
存储信息方式	触发器（RS）	电容
破坏性读出	否	是
定期刷新	不需要	需要
送地址方式	行列同时送	行列分两次送
运行速度	快	慢
发热量	大	小
存储成本	高	低
集成度	低	高

蕴含巨大的挑战

- 访问速度和存储密度不可兼得
- 非易失性存储器件（NVM）的发展是否有突破的机会？
- SSD（Flash）、PCM、忆阻器、自旋电子器件



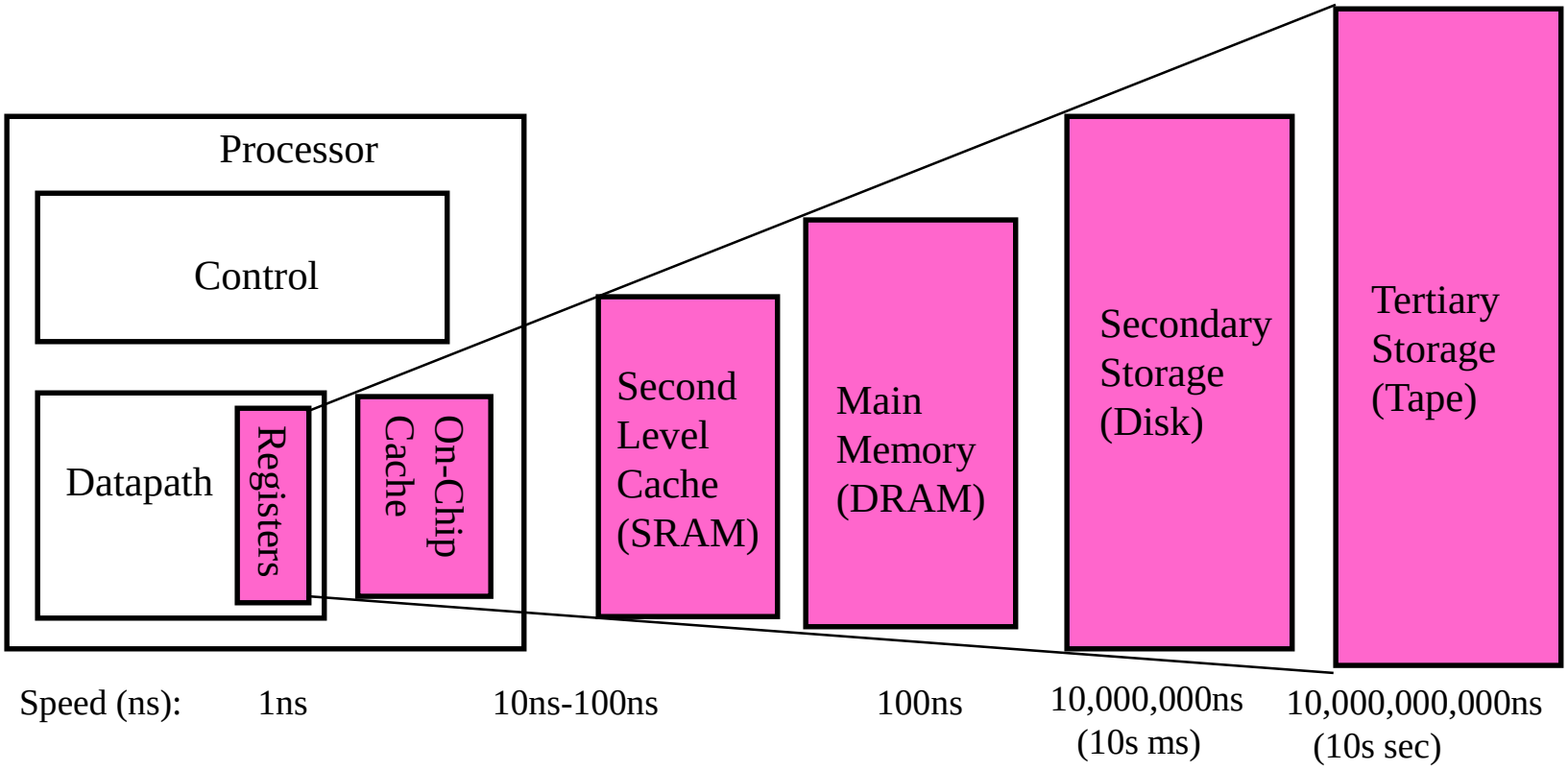
K.L.Wang, Spin orbit interaction engineering of magnetic memory for energy efficient electronics systems. NVMTS 2015

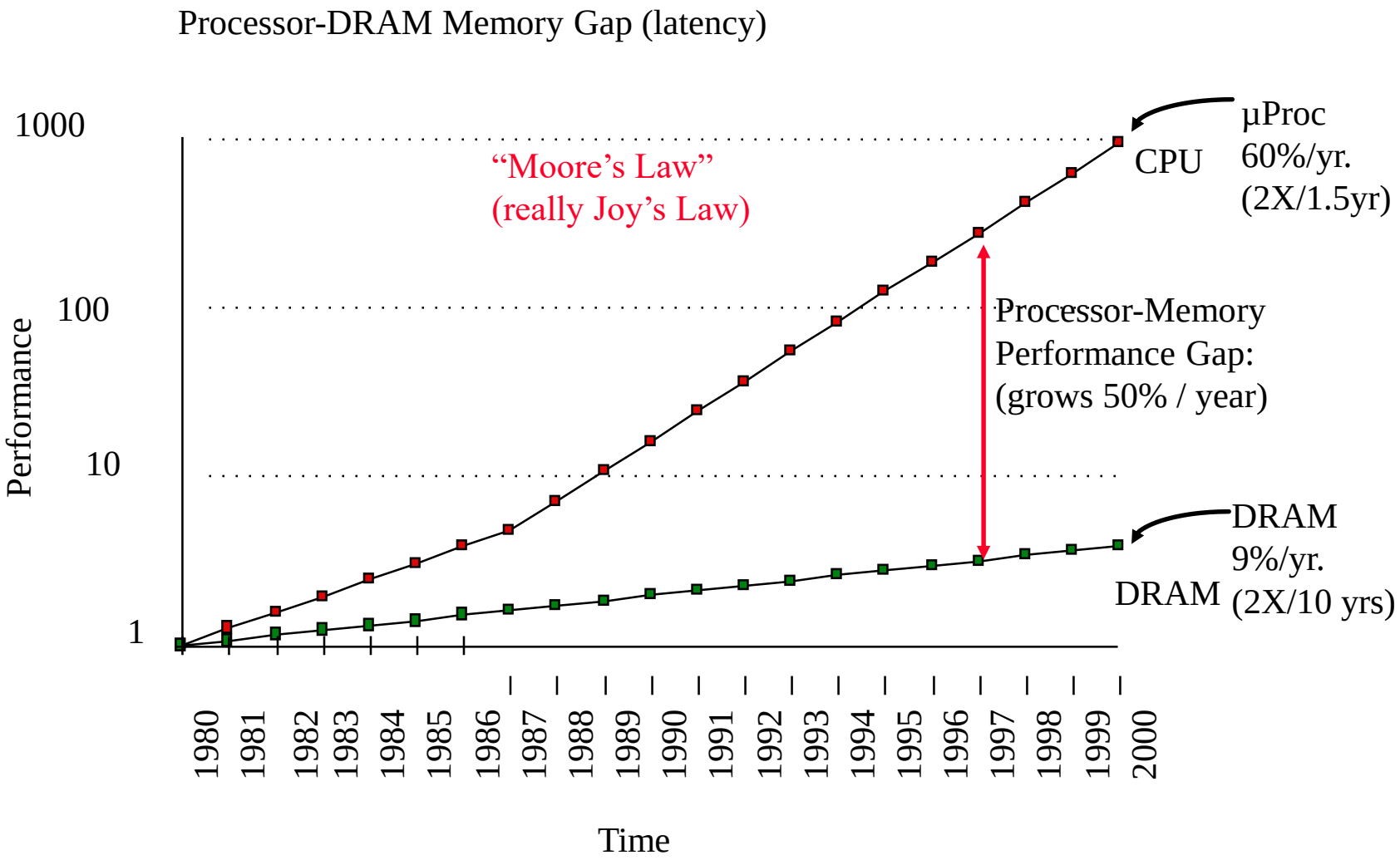
存储组织

- 存储组织的功能是在存储技术和CPU寻址技术许可的范围内组织合理的存储结构，其依据是访问速度匹配关系、容量要求和价格。
  - “寄存器-内存-外存”结构和“寄存器-缓存-内存-外存”结构；
- 现在微机中的存储层次组织：访问速度越来越慢，容量越来越大，价格越来越便宜；
- 最佳状态应是各层次的存储器都处于均衡的繁忙状态（如：缓存命中率正好使主存读写保持繁忙）；

存储层次结构


寄存器(register)
快速缓存(cache)
主存(primary storage)
外存(secondary storage)


Processor
Control
Datapath
Registers
On-Chip Cache
Second Level Cache (SRAM)
Main Memory (DRAM)
Secondary Storage (Disk)
Tertiary Storage (Tape)
Speed (ns):
1ns
10ns-100ns
100ns
10,000,000ns (10s ms)
10,000,000,000ns (10s sec)
Size (bytes):
100s
Ks-Ms
Ms
Gs
Ts


Processor-DRAM Memory Gap (latency)
1000
100
10
1
Performance
"Moore's Law"
(really Joy's Law)
µProc
60%/yr.
(2X/1.5yr)
CPU
Processor-Memory
Performance Gap:
(grows 50% / year)
DRAM
9%/yr.
(2X/10 yrs)
DRAM
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
Time

两个基本概念

- 1. 地址空间：源程序经过编译后得到的目标程序，存在于它所限定的地址范围内，这个范围称为地址空间。简言之，地址空间是逻辑地址的集合。
- 2. 存储空间：存储空间是指主存中一系列存储信息的物理单元的集合，这些单元的编号称为物理地址或绝对地址。简言之，存储空间是物理地址的集合。

为什么进行存储管理

- 重要的资源
- 帕金森定律(Parkinson)：
  - 一个人做一件事所耗费的时间差别如此之大：他可以在10分钟内看完一份报纸，也可以看半天；一个忙人20分钟可以寄出一叠明信片，但一个无所事事的老太太为了给远方的外甥女寄张明信片，可以足足花一整天：找明信片一个钟头，寻眼镜一个钟头，查地址半个钟头，写问候的话一个钟头零一刻钟……
  - 特别是在工作中，工作会自动地膨胀，占满一个人所有可用的时间，如果时间充裕，他就会放慢工作节奏或是增添其他项目以便用掉所有的时间。
  - 帕金森定律表明：只要还有时间，工作就会不断扩展，直到用完所有的时间。

为什么进行存储管理

- 软件对存储的要求也类似：
  - 存储器有多大，程序对存储的需要更大。
  - 如果物理存储没有管理，软件会无节制的占用所有资源
  - PC机的内存：256M→16G
  - 手机的内存：256M→16G
  - 还是不够用。。。

存储管理的需求

- 支持多道程序和多用户系统：
  - 针对多个应用，将内存划分多个区域
- 充分利用内存：为多道程序并发执行打基础
- 方便用户使用：OS自动加载程序，用户透明
- 较大的逻辑运行空间：不局限于物理内存大小
- 存储保护与共享

存储管理的功能

- 存储分配和回收：是存储管理的主要内容。讨论其算法和相应的数据结构。
- 存储共享和保护：代码和数据共享，对地址空间的访问权限控制（读、写、执行）。
- 存储器扩充：
  - 由应用程序控制的方案：覆盖；
  - 由OS控制的方案：交换（整个进程空间），请求调入和预调入（部分进程空间）

存储管理的功能-分配和回收

- 当用户请求内存时，及时响应，分配内存
- 当用户不需要时及时回收内存，让其他用户使用
- 这就要求：
  - 用数据结构，记住内存分配状态
  - 分配：用户请求，分配内存，修改数据结构
  - 回收：用户释放内存，修改数据结构

存储管理的功能-扩充容量

- OS要方便用户使用-用户编程不需要考虑内存的容量
  - 需要扩充内存容量，用户可以用更大的空间
- 解决方案
  - 在MMU内存管理单元的控制下
    - 把内存和外存统一使用，扩充内存
    - 交换技术
    - 虚拟存储技术

存储管理的功能-共享

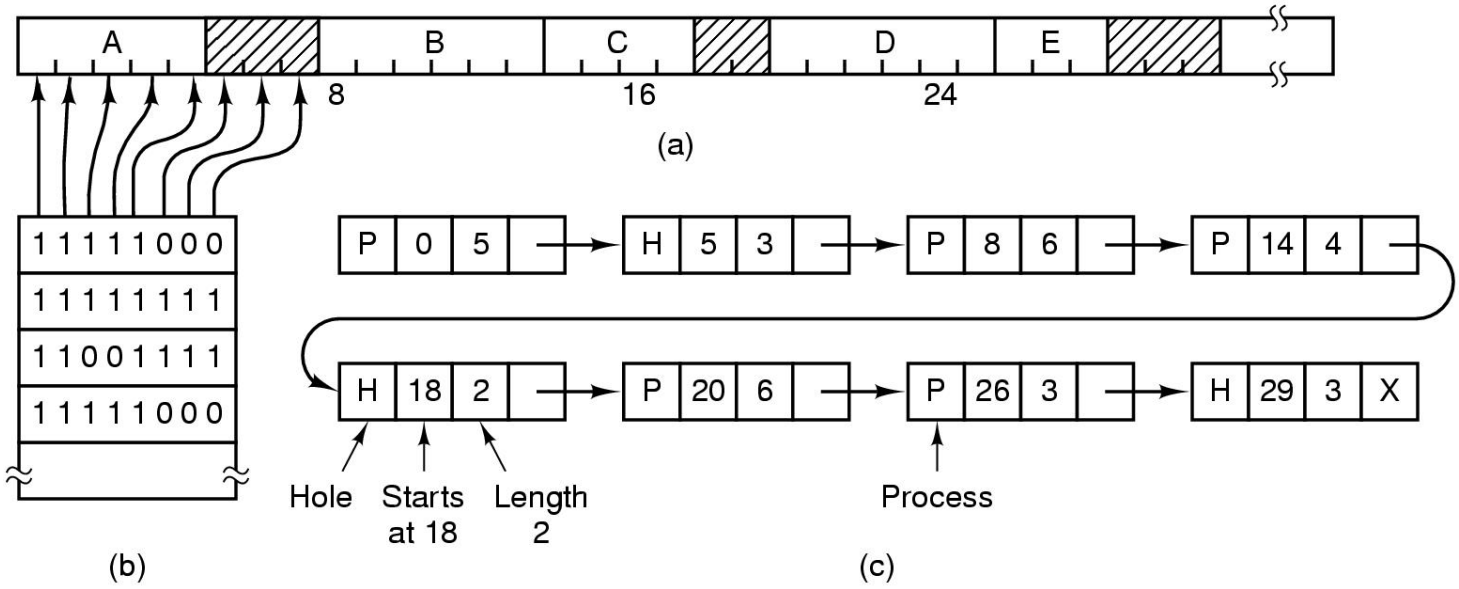
- 让多个进程共用内存中的相同区域
- 代码共享
  - 节省内存空间
- 数据共享
  - 实现进程的通讯

存储管理的功能-保护

- 让OS，多道程序同时运行又不互相干扰
  - 一个程序只能访问自己的区域
  - 一个程序错误不影响其他程序，防止破坏系统
- 存储保护的内容
  - 地址越界保护
    - 进行地址越界可能会影响其他程序或者OS
    - 越界→产生中断，交给OS处理
  - 权限保护
    - 共享区域，权限不同
    - 读写权限保护

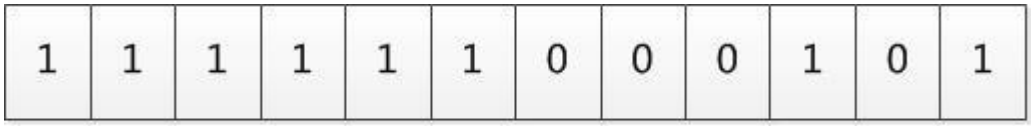
闲置空间的管理-数据结构

- 在管理内存的时候，OS需要知道内存空间有多少空闲？这就必须跟踪内存的使用，跟踪的办法有两种：位图表示法（分区表）和链表表示法（分区链表）



位图表示法

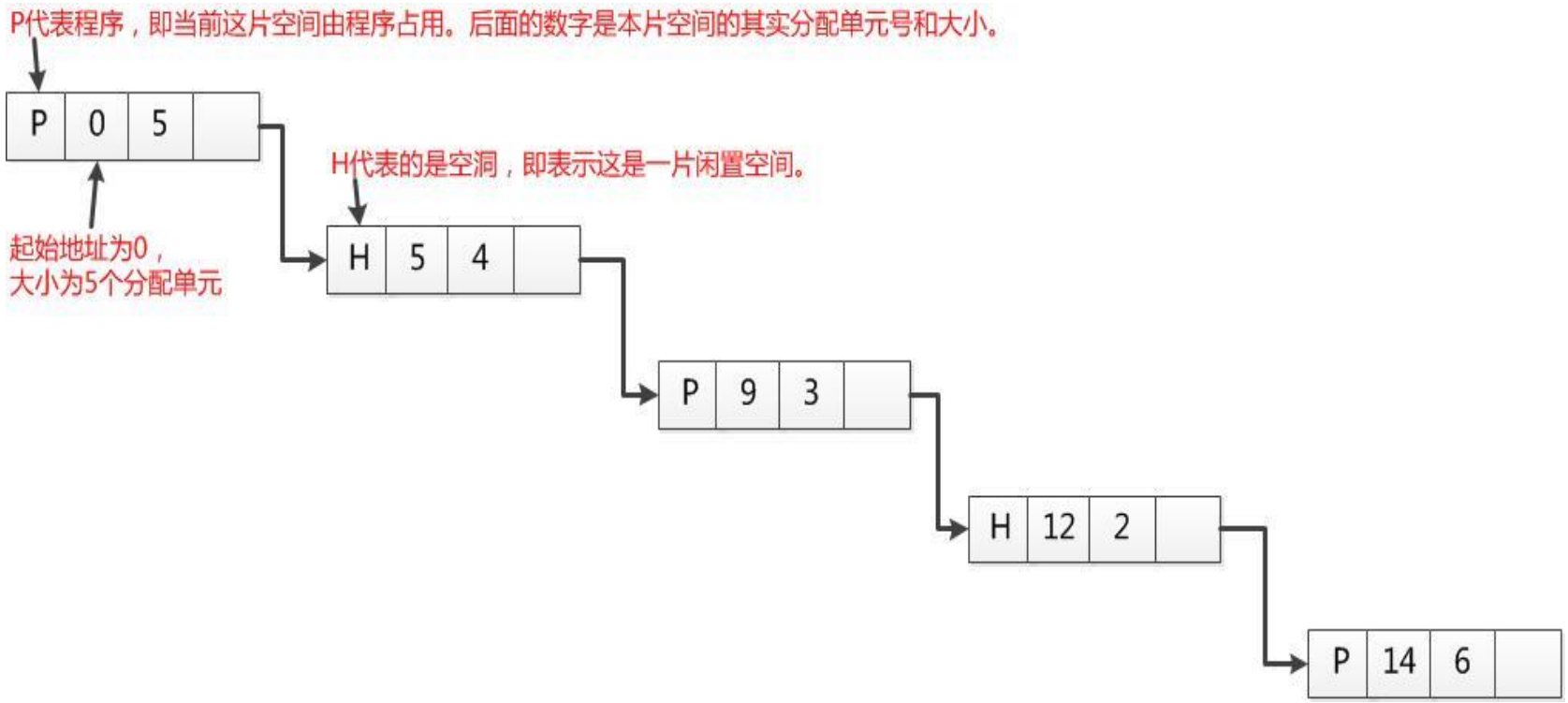
- 给每个分配单元赋予一个字位，用来记录该分配单元是否闲置。例如，字位取值为0表示单元闲置，取值为1则表示已被占用，这种表示方法就是位图表示法。



内存分配位图表示

链表表示法

- 将分配单元按照是否闲置链接起来，这种方法称为链表表示法。如上图所示的的位图所表示的内存分配状态，使用链表来表示的话则会如下图所示



两种方法的特点

- 位图表示法：
  - 空间成本固定：不依赖于内存中的程序数量。
  - 时间成本低：操作简单，直接修改其位图值即可。
  - 没有容错能力：如果一个分配单元为1，不能肯定应该为1还是因错误变成1。
- 链表表示法：
  - 空间成本：取决于程序的数量。
  - 时间成本：链表扫描通常速度较慢，还要进行链表项的插入、删除和修改。
  - 有一定容错能力：因为链表有被占空间和闲置空间的表项，可以相互验证。

练习：比较位图和链表的存储

- 128-MB的内存，以n个字节为单位进行分配。对于链表表示法，假设内存包含着交替的数据区和空闲区，每个区均为64K。假设链表的每个结点需要32位的内存地址，16位的长度和16位的指向下一个节点的指针。对于每种方法，分别需要多少存储空间？那种方法更好?

练习：比较位图和链表的存储

- 对于位图来说，每个内存分配单元需要1位。128MB $= 2^{27}$, n 个字节为一个内存分配单元，那么128M对应着2^{27}/n个内存分配单元。所以位图需要2^{27}/n位，等于2^{24}/n字节。

练习：比较位图和链表的存储

- 对于位图来说，每个内存分配单元需要1位。128MB $= 2^{27}$, n 个字节为一个内存分配单元，那么128M对应着2^{27}/n个内存分配单元。所以位图需要2^{27}/n位，等于2^{24}/n字节。
- 对于链表来说，需要128M/64K= 2^{27}/ 2^{16}= 2^{11}个节点。每个节点64位，也就是8个字节。所以需要2^{11}* $2^3 = 2^{14}$字节。

练习：比较位图和链表的存储

- 对于位图来说，每个内存分配单元需要1位。128MB $= 2^{27}$, n 个字节为一个内存分配单元，那么128M对应着2^{27}/n个内存分配单元。所以位图需要2^{27}/n位，等于2^{24}/n字节。
- 对于链表来说，需要128M/64K= 2^{27}/ 2^{16}= 2^{11}个节点。每个节点64位，也就是8个字节。所以需要2^{11}* $2^3 = 2^{14}$字节。
- 所以是比较2^{24}/n 和2^{14}
- 当n比较小，链表更加节省空间。当n比较大，位图更好。n取值的平衡点是2^{10}. 也就是1 KB. 所以，当 n 小于 1 KB, 链表更好。反之，位图更好。同时，n <= 64 KB，因为数据和空闲区是 64 KB.

存储分配的三种方式

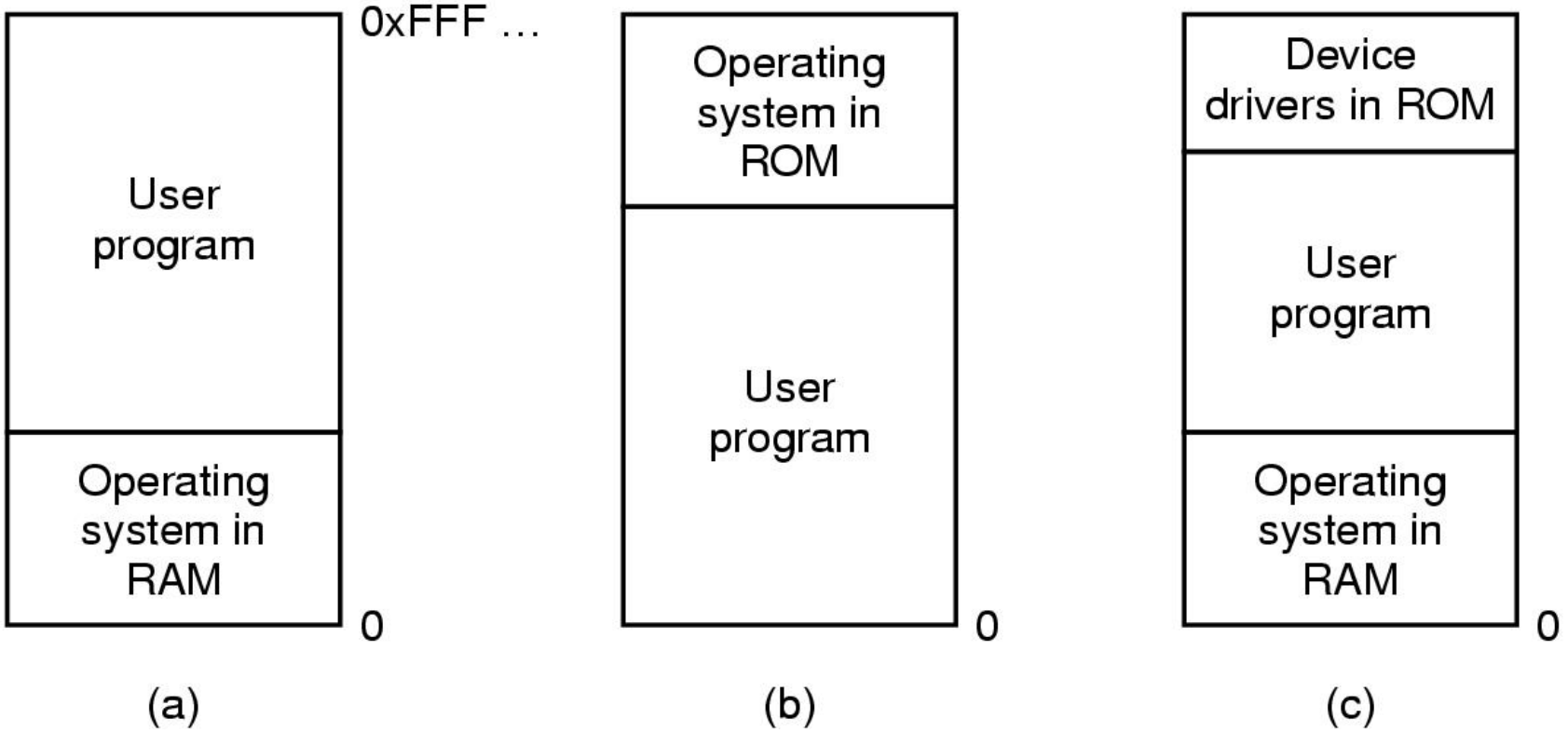
- 1.直接指定方式：程序员在编程序时,或编译程序(汇编程序)对源程序进行编译(汇编)时,所用的是实际地址。
- 2.静态分配(Static Allocation)：程序员编程时,或由编译程序产生的目的程序,均可从其地址空间的零地址开始；当装配程序对其进行连接装入时才确定它们在主存中的地址。
- 3.动态分配(Dynamic Allocation)：编程采用逻辑地址空间，从0地址开始。作业在存储空间中的位置,在其装入时确定,在其执行过程中可动态申请或释放空间。

连续分配存储管理方式

- 单一连续分配方式
- 分区分配方式
  - 固定分区
  - 动态分区

单一连续区存储管理

- 内存分为两个区域：系统区，用户区。应用程序装入到用户区，可使用用户区全部空间。
- 最简单，适用于单用户、单任务的OS。CP/M和DOS
- 优点：易于管理。
- 缺点：对要求内存空间少的程序，造成内存浪费；程序全部装入，很少使用的程序部分也占用内存。


0xFFF ...
User program
Operating system in RAM
0
(a)
Operating system in ROM
User program
0
(b)
Device drivers in ROM
User program
Operating system in RAM
0
(c)

多用户系统存储器管理----分区式分配

- 把内存分为一些大小相等或不等的分区(partition)，每个应用程序占用一个或几个分区。操作系统占用其中一个分区。
- 适用于多道程序系统和分时系统，支持多个程序并发执行，但难以进行内存分区的共享。
  - 进程属于不同分区

多用户系统存储器管理----分区式分配

- 分区式分配的问题：内碎片和外碎片
  - 内碎片：分区内部难以利用的空间
  - 外碎片：分区之间难以利用的空间
- 分区式管理的方法：
  - 数据结构：分区表或者分区链表
  - OS维护数据结构

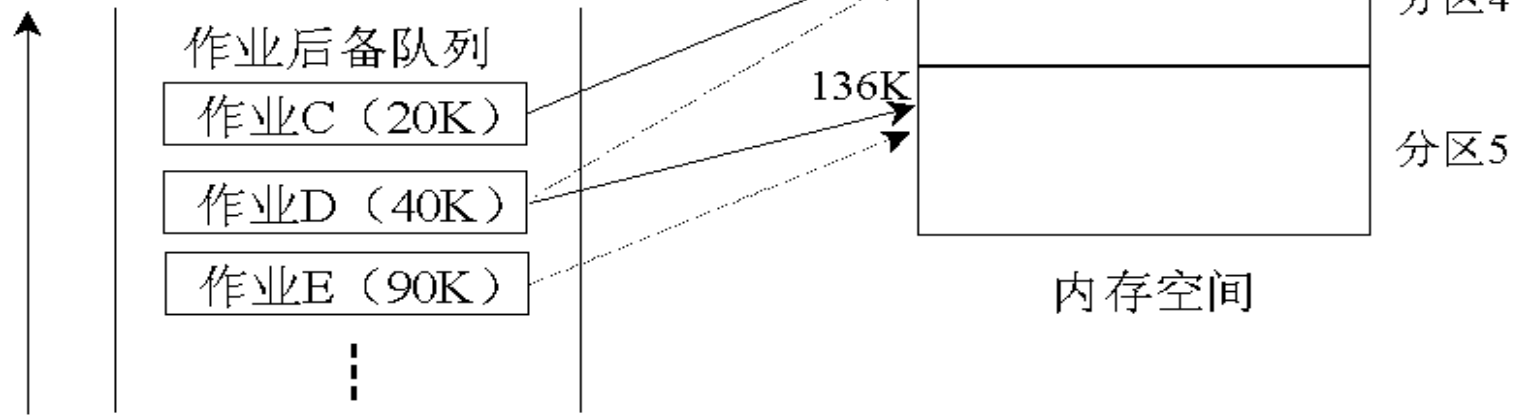
固定式分区

- 固定式分区（静态存储区域）：当系统初始化时，把存储空间划分成若干个任意大小的区域；然后，把这些区域分配给每个用户作业。
- 把内存划分为若干个固定大小的连续分区。
  - 分区大小相等：只适合于多个相似程序的并发执行（处理多个类型相同的对象）。
  - 分区大小不等：多个小分区、适量的中等分区、少量的大分区。根据程序的大小，分配当前空闲的、适当大小的分区。

固定式分区

分区说明表

区号	大小	起始地址	状态
1	8K	16K	占用
2	16K	24K	空闲
3	32K	40K	占用
4	64K	72K	空闲
5	120K	136K	占用

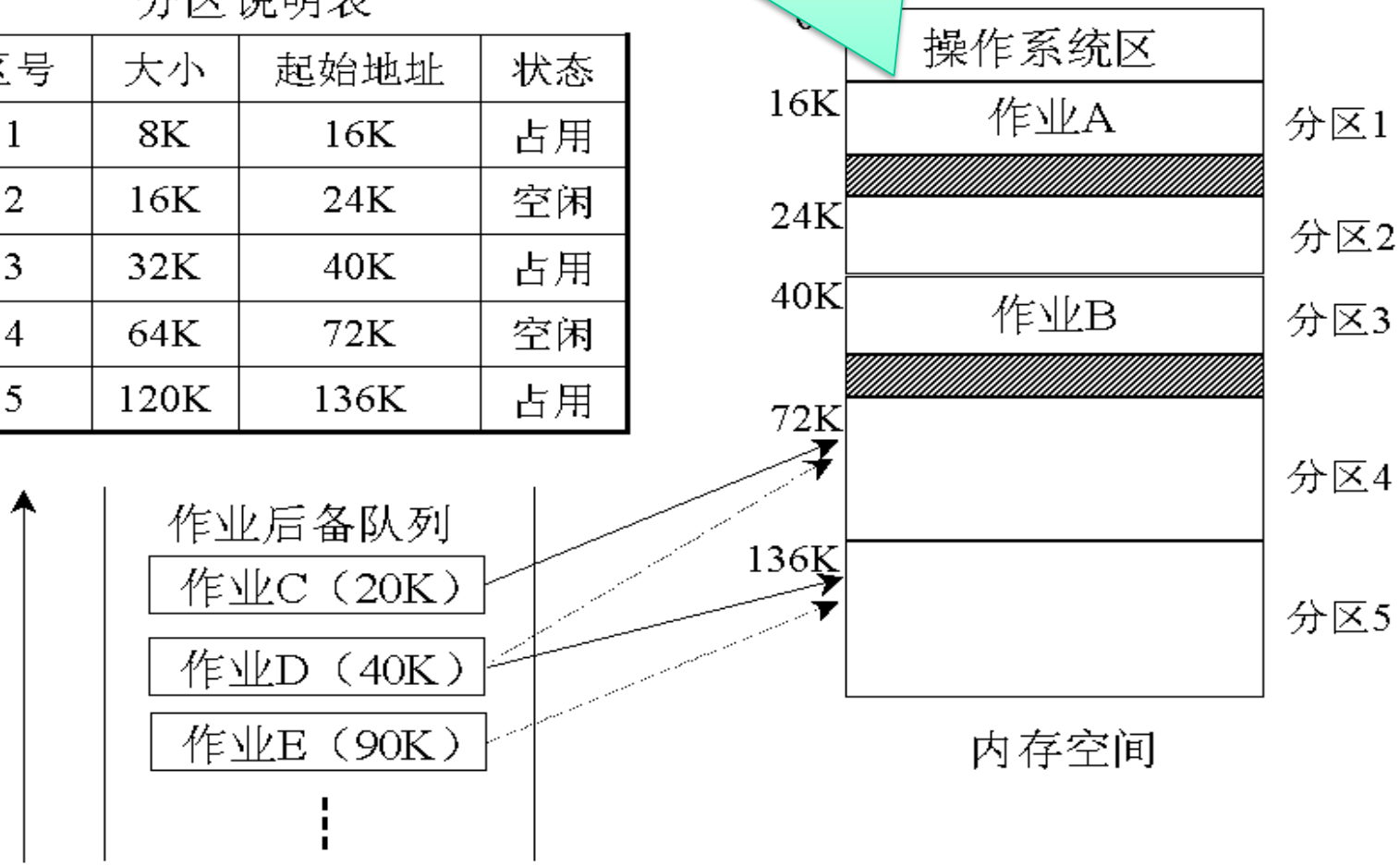


固定式分区

作业A小于分区1大小8K
产生内碎片

分区说明表

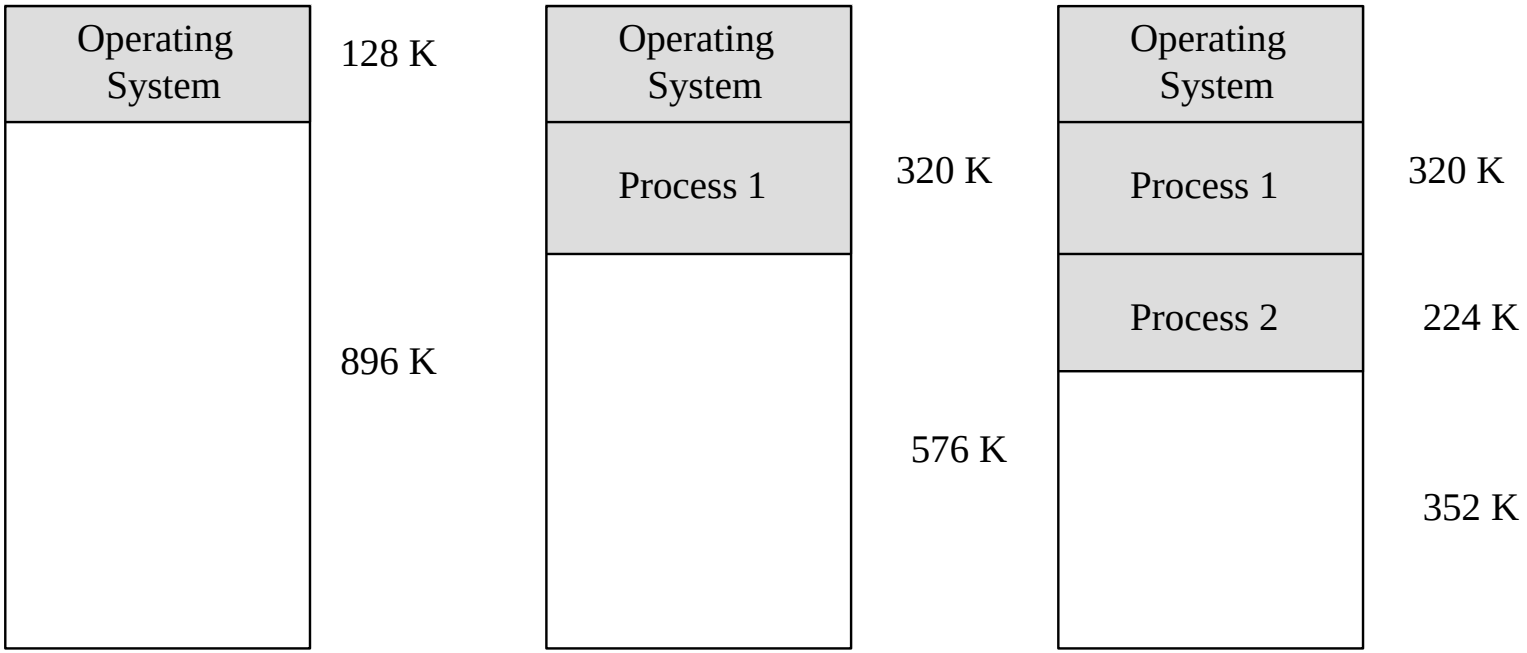
区号	大小	起始地址	状态
1	8K	16K	占用
2	16K	24K	空闲
3	32K	40K	占用
4	64K	72K	空闲
5	120K	136K	占用

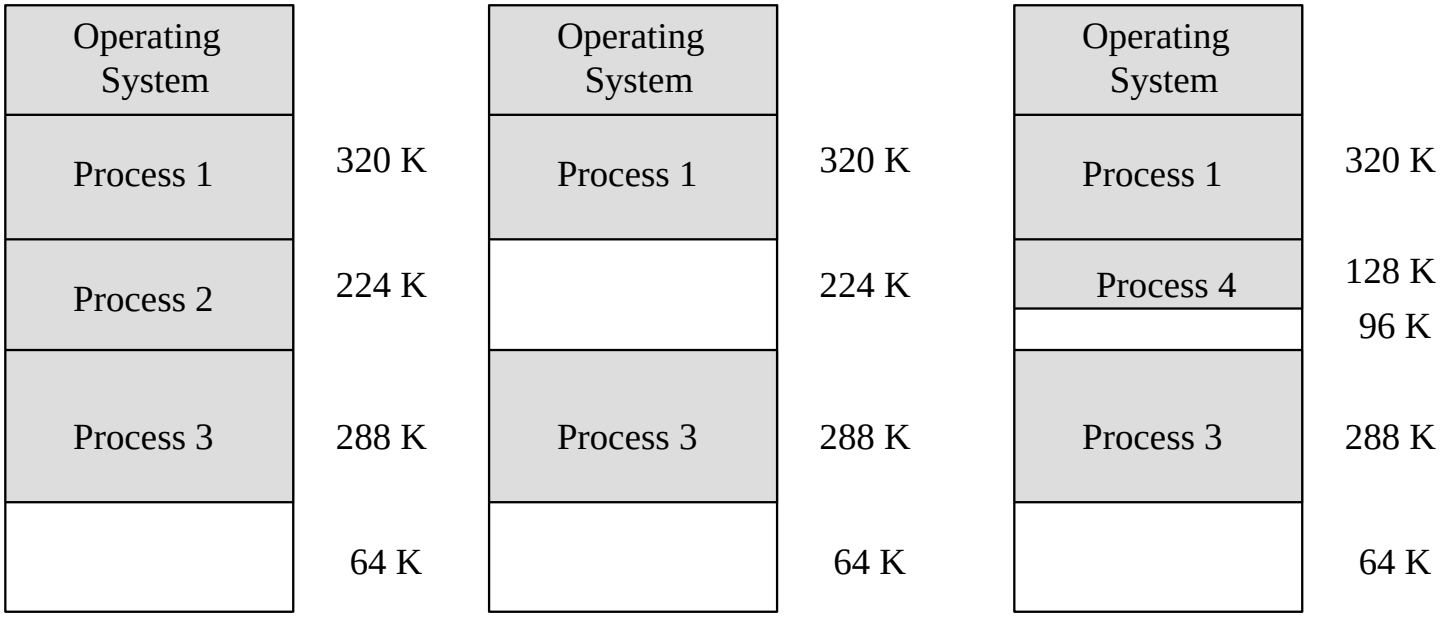


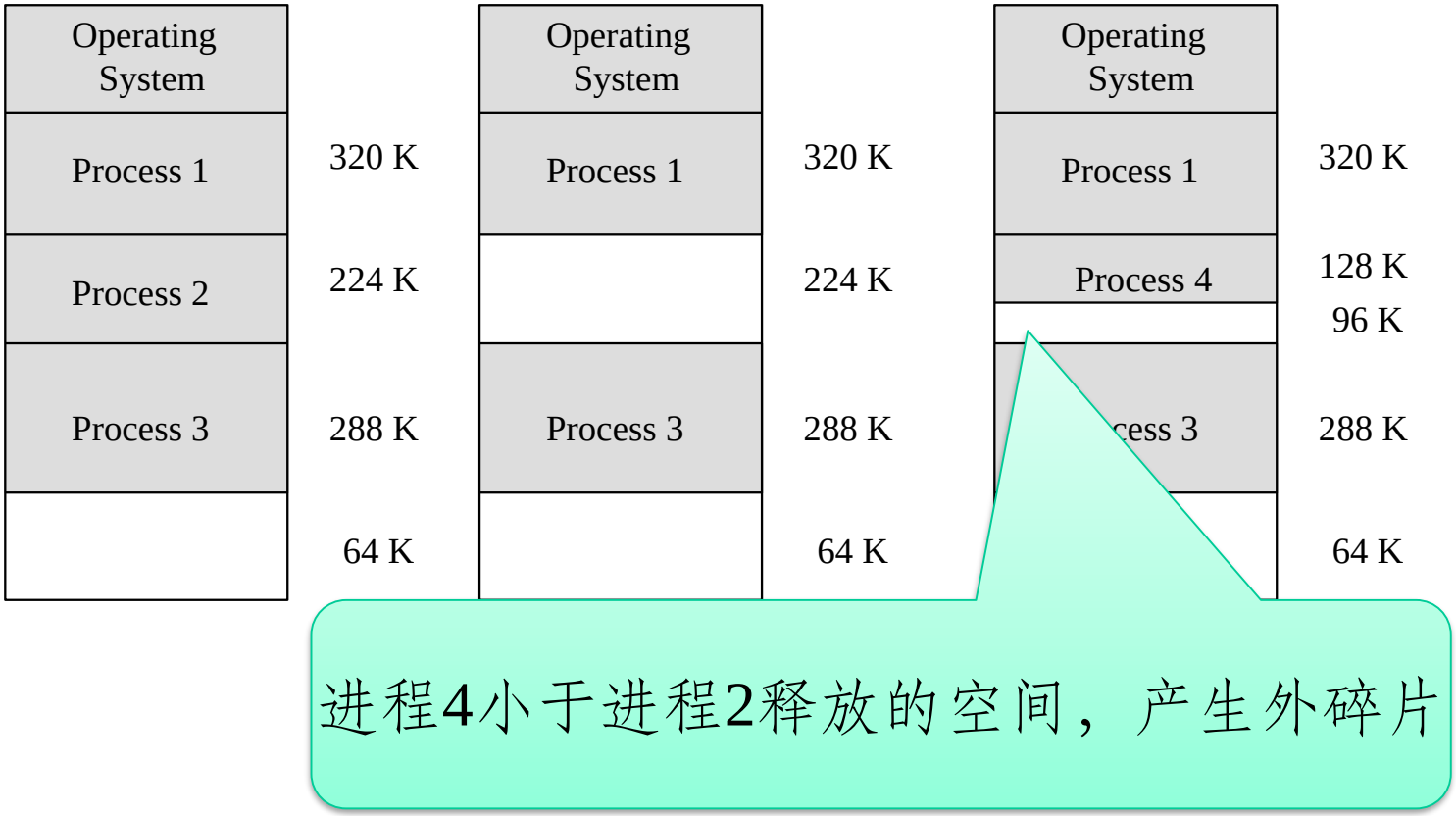
- 优点：易于实现，开销小。
- 缺点：
  - 内碎片造成浪费；
  - 分区总数固定，限制了并发执行的程序数目；
  - 灵活性差，接受程序大小受分区大小限制
- 采用的数据结构：分区表——记录分区的大小和使用情况

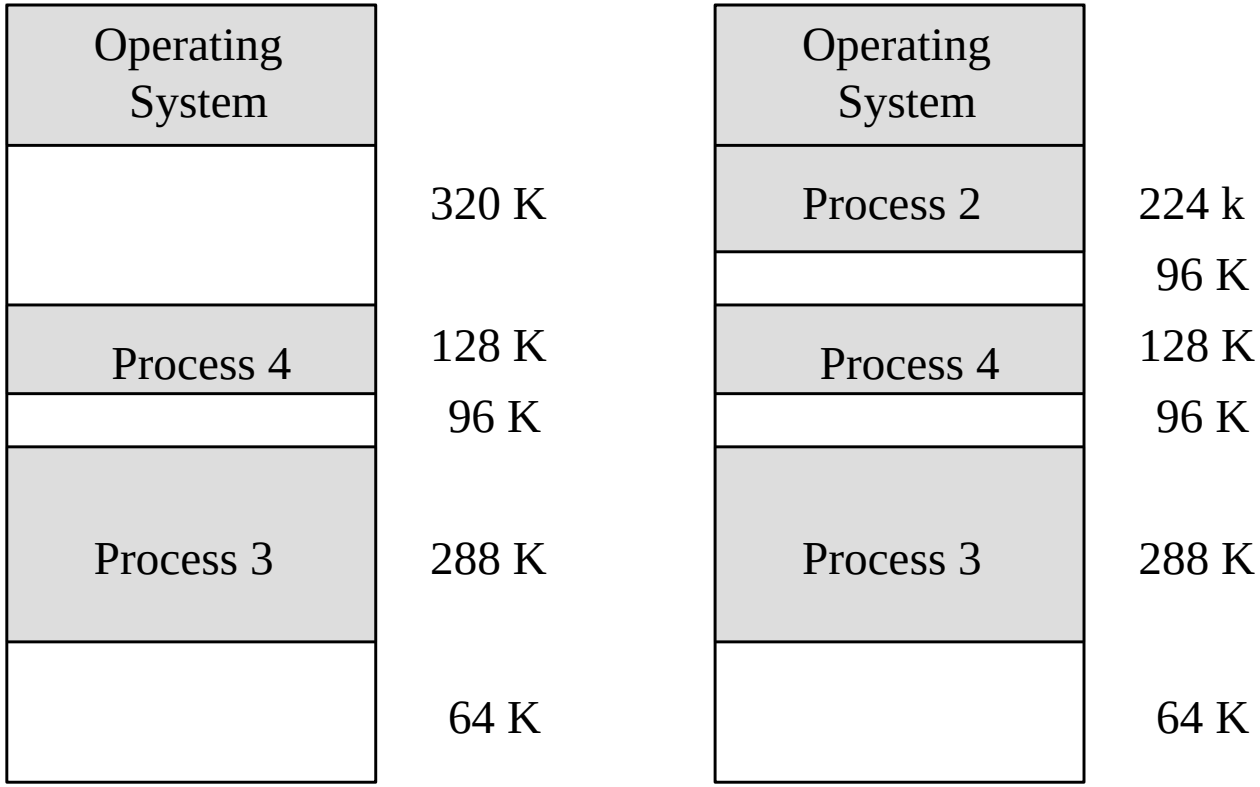
可变式分区：

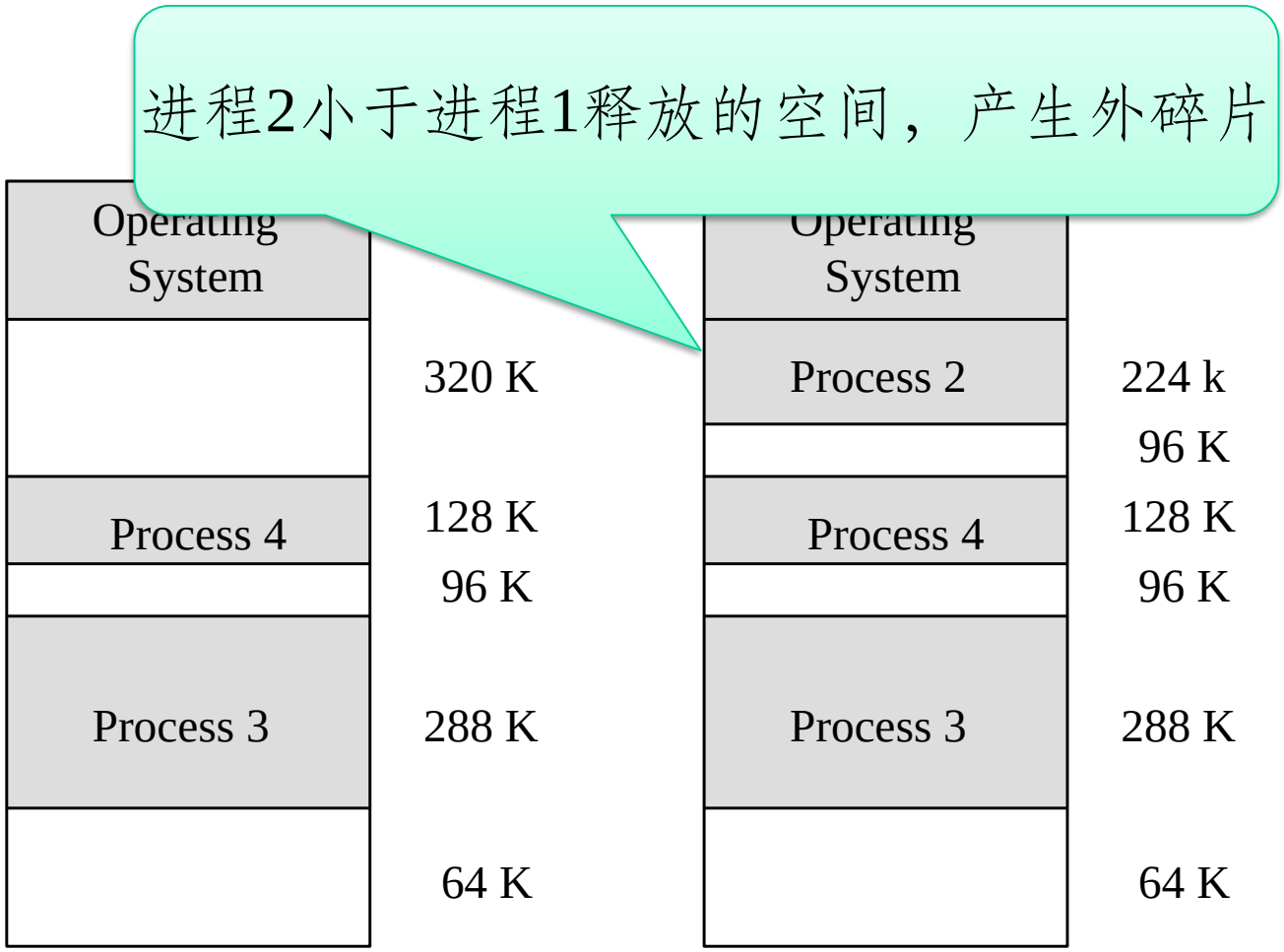
- 可变式分区：分区的边界可以移动，即分区的大小可变。
- 分区大小在程序装入时大小动态确定，量身定制
  - 也可以通过系统调用改变分区大小
- 优点：没有内碎片。
- 缺点：随着多次分配和回收，产生外碎片。


Operating System
128 K
896 K
Operating System
Process 1
320 K
576 K
Operating System
Process 1
320 K
Process 2
224 K
352 K


Operating System
Process 1
Process 2
Process 3
320 K
224 K
288 K
64 K
Operating System
Process 1
Process 3
320 K
224 K
288 K
64 K
Operating System
Process 1
Process 4
Process 3
320 K
128 K
96 K
288 K
64 K


Operating System
Process 1
Process 2
Process 3
320 K
224 K
288 K
64 K
Operating System
Process 1
Process 3
320 K
224 K
288 K
64 K
Operating System
Process 1
Process 4
320 K
128 K
96 K
288 K
64 K
进程4小于进程2释放的空间，产生外碎片


Operating System
320 K
Process 4
128 K
96 K
Process 3
288 K
64 K
Operating System
Process 2
224 k
96 K
Process 4
128 K
96 K
Process 3
288 K
64 K


进程2小于进程1释放的空间，产生外碎片
Operating System
320 K
Process 4
128 K
96 K
Process 3
288 K
64 K
Operating System
Process 2
224 k
96 K
Process 4
128 K
96 K
Process 3
288 K
64 K

可变分区管理的数据结构

- 需要设置数据结构记录内存分配情况：
- 内存分配表
  - 已分配区表
  - 空闲区表

动态分区的数据结构

起始地址	长度	标志
500	800	P1
1500	400	P2
		空
	⋮	

已分配区表

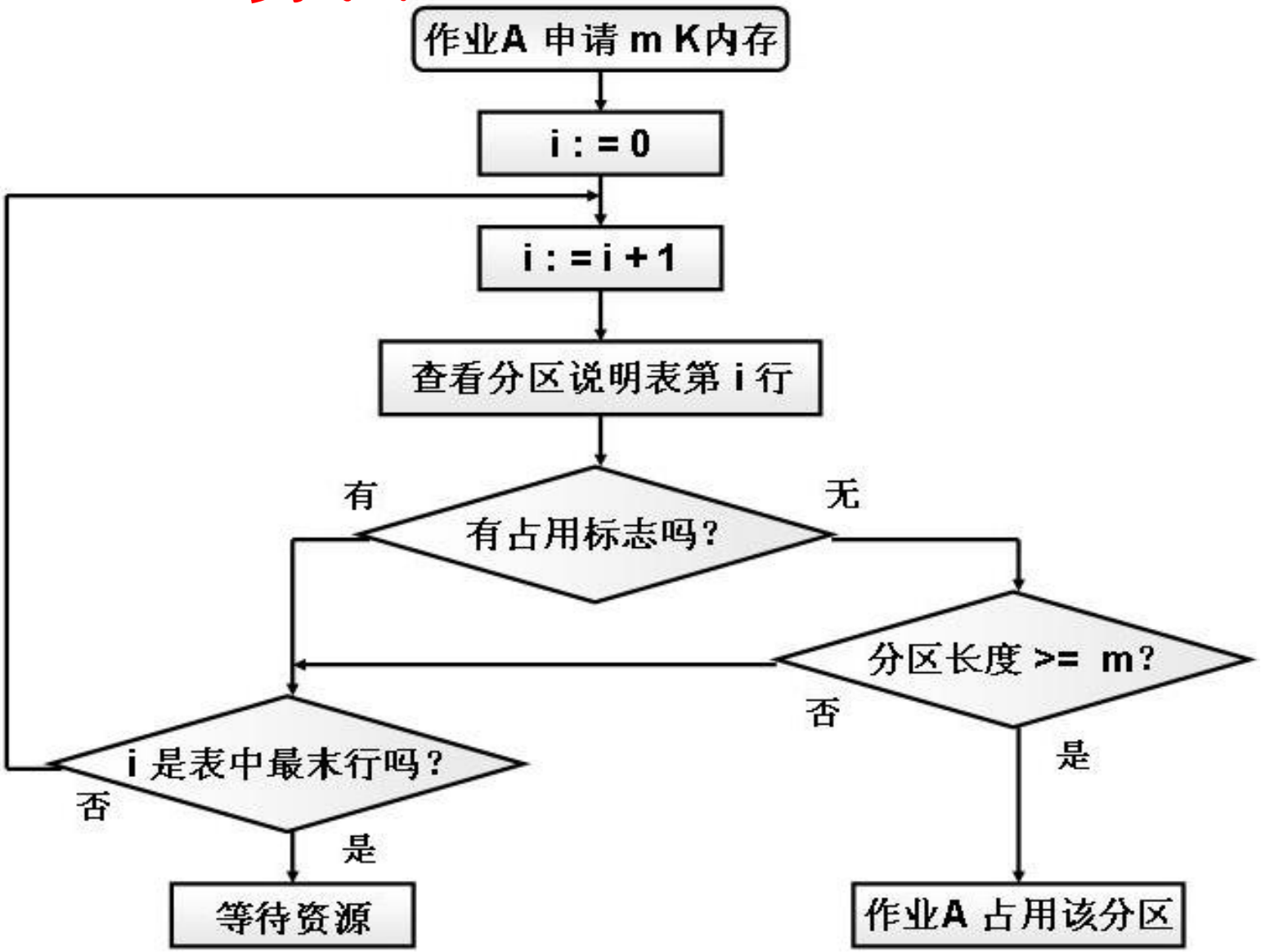
起始地址	长度	标志
1300	200	未分配
1900	650	未分配
		空
	⋮	

空闲区表

可变式分区的内存分配策略：

- (1)最佳适应算法（Best Fit）：为一个作业选择分区时，总是寻找其大小最接近于作业所要求的存储区域。
- (2)最坏适应算法（Worst Fit）：为作业选择存储区域时，总是寻找最大的空白区。
- (3)首次适应算法（First Fit）：每个空白区按其在存储空间中地址递增的顺序连在一起，在为作业分配存储区域时，从这个空白区域链的始端开始查找，选择第一个足以满足请求的空白块。
- (4)下次适应算法（Next Fit）：把存储空间中空白区构成一个循环链，每次为存储请求查找合适的分区时，总是从上次查找结束的地方开始，只要找到一个足够大的空白区，就将它划分后分配出去。

FirstFit算法


作业A 申请 m K内存
i : = 0
i : = i + 1
查看分区说明表第 i 行
有
有占用标志吗?
无
分区长度 >= m?
否
是
i 是表中最末行吗?
否
是
等待资源
作业A 占用该分区

FirstFit算法

- 优点：
  - 分配和释放的时间性能较好
  - 较大的空闲分区保留在内存的高端
- 缺点：随着低端内存被不断分配，会产生很多小分区，开销会增大。

算法举例

- 例：系统中的空闲分区表如下表示，现有三个作业分配申请内存空间100K、30K及7K，给出按首次适应算法、下次适应算法、最佳适应算法和最坏适应算法的内存分配情况及分配后空闲分区表。

区号	大小	起止	状态
1	32K	20K	未分配
2	8K	52K	未分配
3	120K	60K	未分配
4	331K	180K	未分配

首次适应算法

- 申请作业 100k，分配 3 号分区，剩下分区为 20k，起始地址 160K 。

区号	大小	起止	状态
1	32K	20K	未分配
2	8K	52K	未分配
3	20K	160K	未分配
4	331K	180K	未分配

首次适应算法

- 申请作业 30K，分配 1 号分区，剩下分区为 2K，起始地址 50K 。

区号	大小	起止	状态
1	2K	50K	未分配
2	8K	52K	未分配
3	20K	160K	未分配
4	331K	180K	未分配

首次适应算法

- 申请作业 7K，分配 2 号分区，剩下分区为 1K，起始地址59K。

区号	大小	起止	状态
1	2K	50K	未分配
2	1K	59K	未分配
3	20K	160K	未分配
4	331K	180K	未分配

下次适应算法

- 按下次适应算法，申请作业100k，分配3号分区，剩下分区为20k，起始地址160K；

区号	大小	起止	状态
1	32K	20K	未分配
2	8K	52K	未分配
3	20K	160K	未分配
4	331K	180K	未分配

下次适应算法

- 按下次适应算法，申请作业 30K，分配 4 号分区，剩下分区为301K;

区号	大小	起止	状态
1	32K	20K	未分配
2	8K	52K	未分配
3	20K	160K	未分配
4	301K	210K	未分配

下次适应算法

- 按下次适应算法，申请作业 7k，分配 1 号分区

区号	大小	起止	状态
1	25K	27K	未分配
2	8K	52K	未分配
3	20K	160K	未分配
4	301K	210K	未分配

最佳适应算法

按容量大小递增的次序排列

分配前的空闲分区表

区号	大小	起址
1	8k	52k
2	32k	20k
3	120k	60k
4	331k	180k

作业30K分配后

区号	大小	起址
2	2k	50k
1	8k	52k
3	20k	160k
4	331k	180k

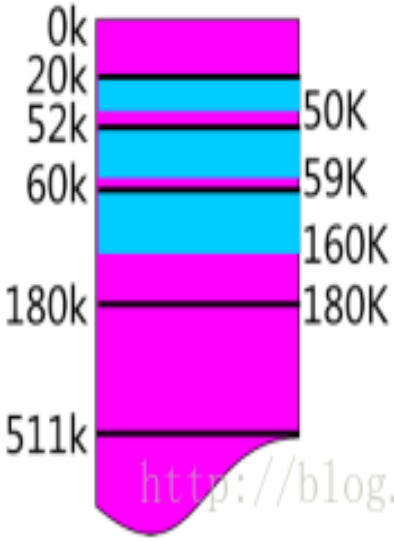
按容量递增的次序重新排列

作业100K分配后

区号	大小	起址
1	8k	52k
3	20k	160k
2	32k	20k
4	331k	180k

作业7K分配后

区号	大小	起址
1	1k	59k
2	2k	50k
3	20k	160k
4	331k	180k



区号	大小	起址
1	1k	59k
2	2k	50k
3	20k	160k
4	331k	180k

最坏适应算法

按容量大小递减的次序排列

分配前的空闲分区表

区号	大小	起址
1	331k	180k
2	120k	60k
3	32k	20k
4	8k	52k

作业30K分配后

区号	大小	起址
1	201k	310k
2	120k	60k
3	32k	20k
4	8k	52k

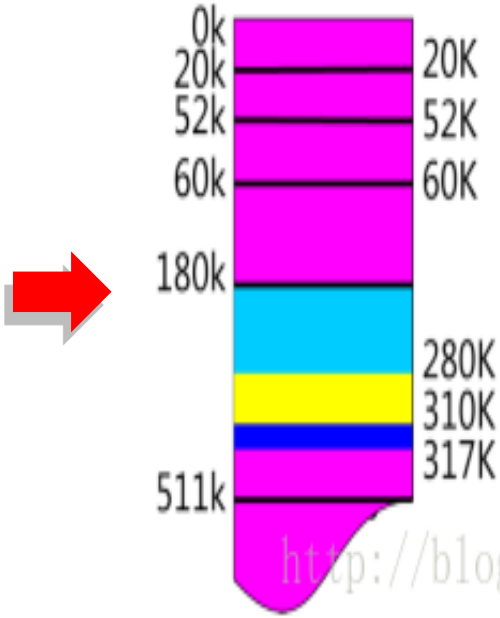
按容量递减的次序重新排列

作业100K分配后

区号	大小	起址
1	231k	280k
2	120k	60k
3	32k	20k
4	8k	52k

作业7K分配后

区号	大小	起址
1	194k	317k
2	120k	60k
3	32k	20k
4	8k	52k



区号	大小	起址
1	194k	317k
2	120k	60k
3	32k	20k
4	8k	52k

算法特点

- 首次适应：优先利用内存低地址部分的空闲分区。但由于低地址部分不断被划分，留下许多难以利用的很小的空闲分区（碎片或零头），而每次查找又都是从低地址部分开始，增加了查找可用空闲分区的开销。
- 下次适应：使存储空间的利用更加均衡，不致使小的空闲区集中在存储区的一端，但这会导致缺乏大的空闲分区。

算法特点

- 最佳适应：若存在与作业大小一致的空闲分区,则它必然被选中，若不存在与作业大小一致的空闲分区，则只划分比作业稍大的空闲分区，从而保留了大的空闲分区。最佳适应算法往往使剩下的空闲区非常小，从而在存储器中留下许多难以利用的小空闲区（碎片）。
- 最坏适应算法的特点：总是挑选满足作业要求的最大的分区分配给作业。这样使分给作业后剩下的空闲分区也较大，可装下其它作业。由于最大的空闲分区总是因首先分配而划分，当有大作业到来时，其存储空间的申请往往会得不到满足。

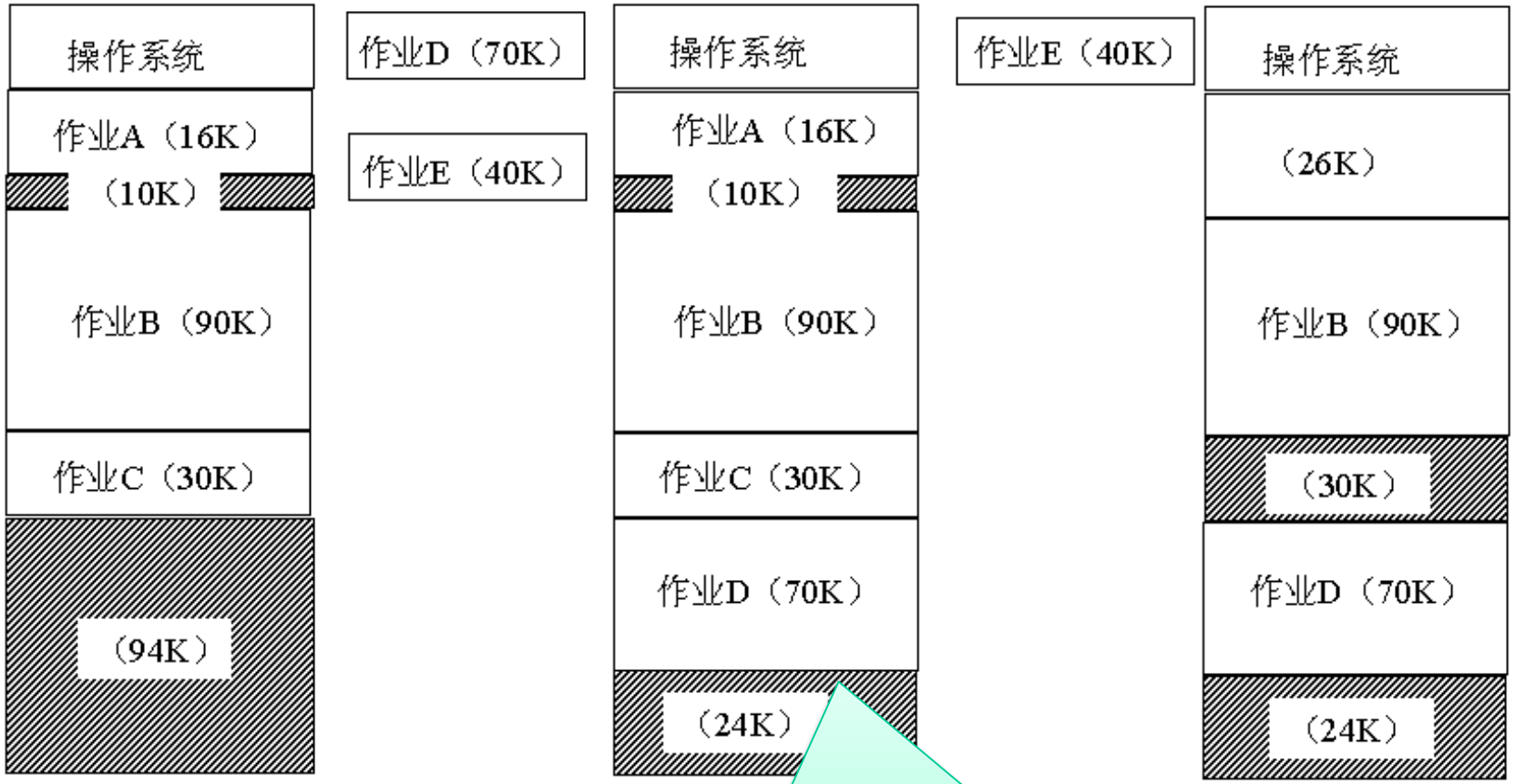
练习：可变分区的内存分配

- 假设一个可变分区系统中内存按照顺序包含如下空闲区： 10 KB, 4 KB, 20 KB, 18 KB, 7 KB, 9 KB, 12 KB, and 15 KB.
- 假设后续的连续内存分配请求是： (a) 12 KB (b) 10 KB (c) 9 KB
- 对于首次适应那个空闲区会被分配?对于 最佳适应, 最差适应, 和 下次适应 又会分配那些空闲区?

练习：可变分区的内存分配

- 首次适应 20 KB, 10 KB, 18 KB.
- 最佳适应 12 KB, 10 KB, 9 KB.
- 最差适应 20 KB, 18 KB, 15 KB.
- 下次适应 20 KB, 18 KB, 9 KB.

可变分区分配和回收的例子

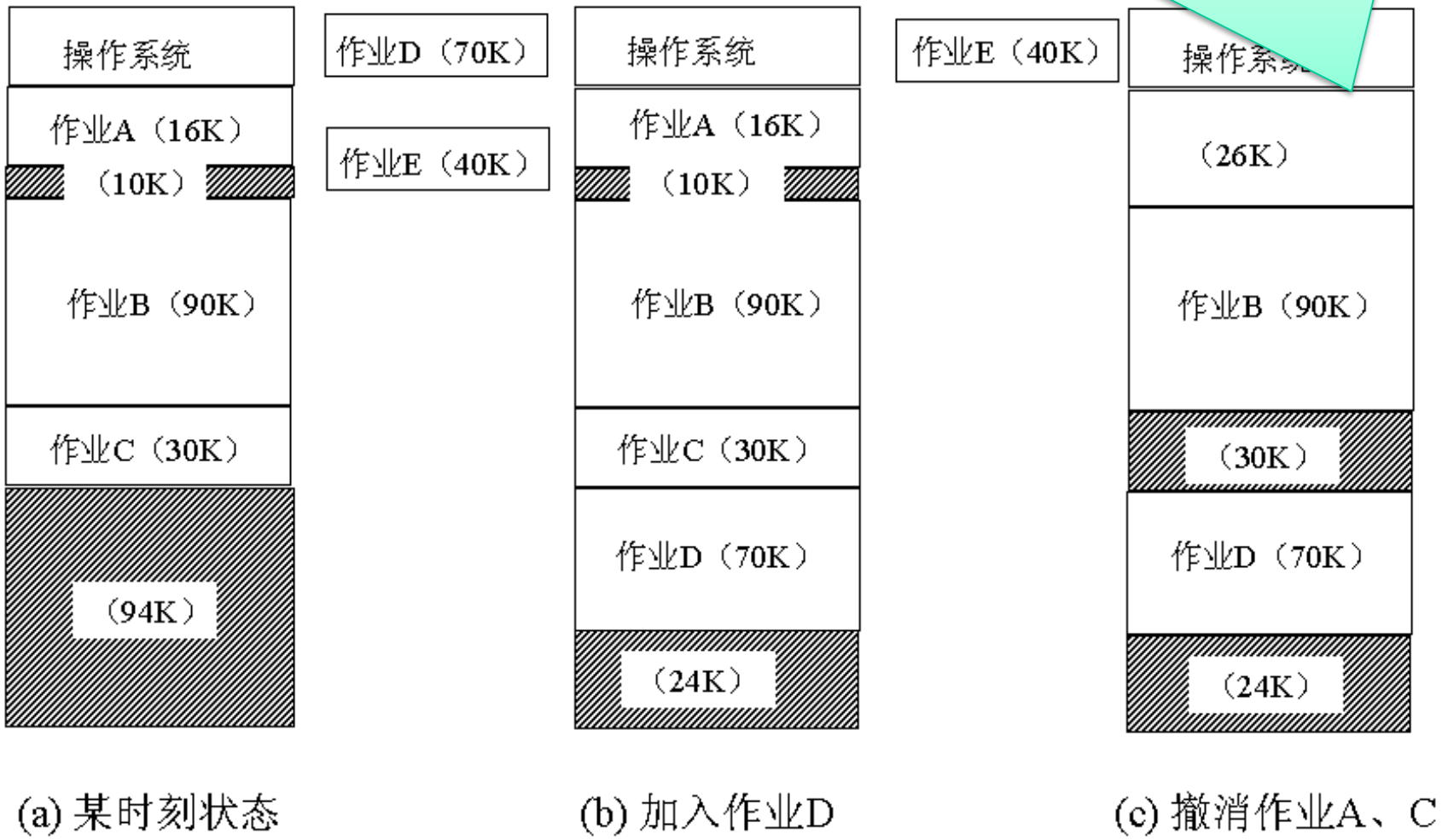


(a) 某时刻状态

作业D分配，产生24K空闲区

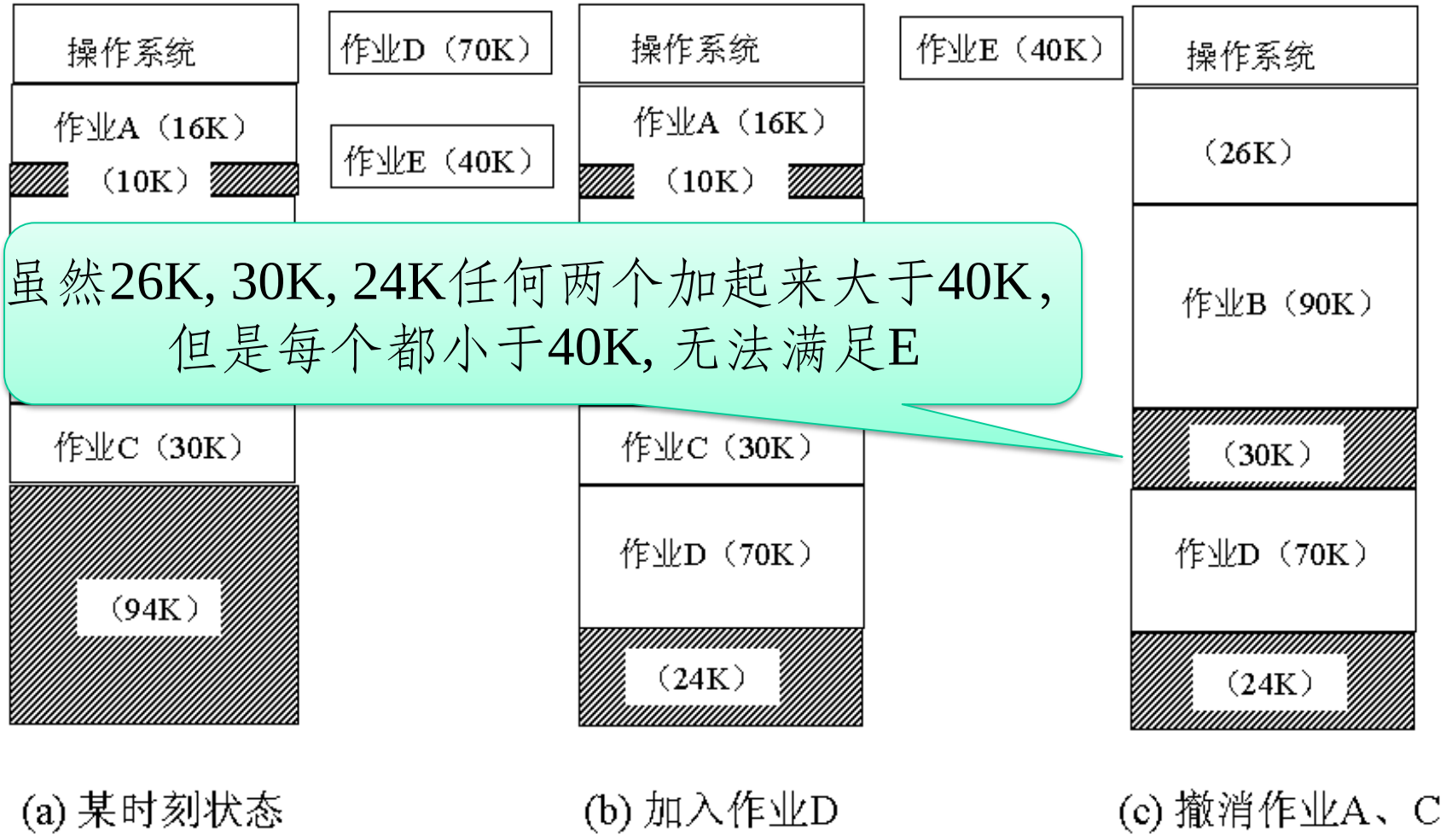
可变分区分配

作业A撤销，产生16K空闲区，合并成26K

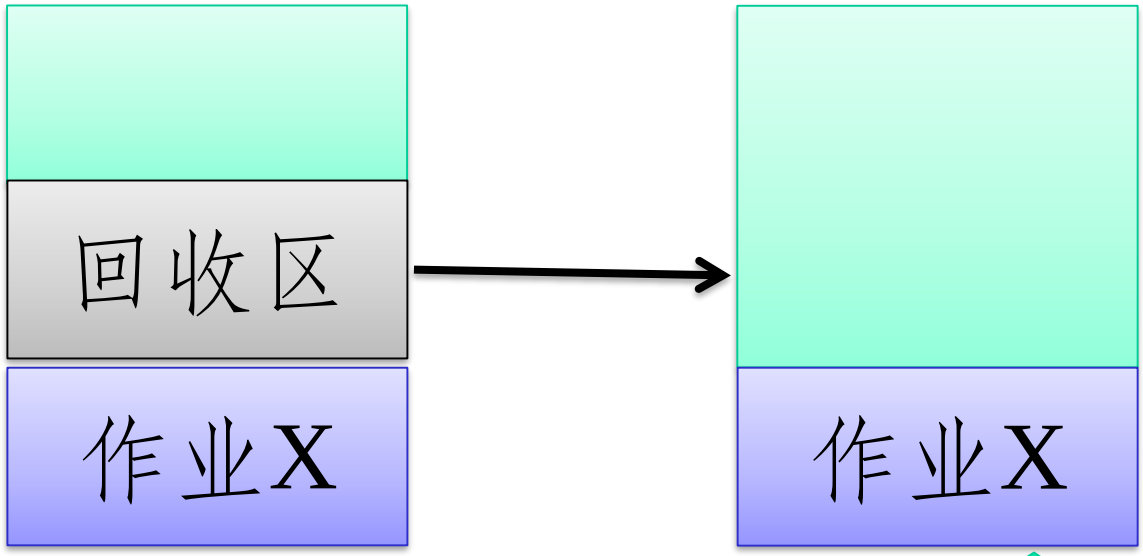


(a) 某时刻状态　(b) 加入作业D　(c) 撤消作业A、C

可变分区分配和回收的例子



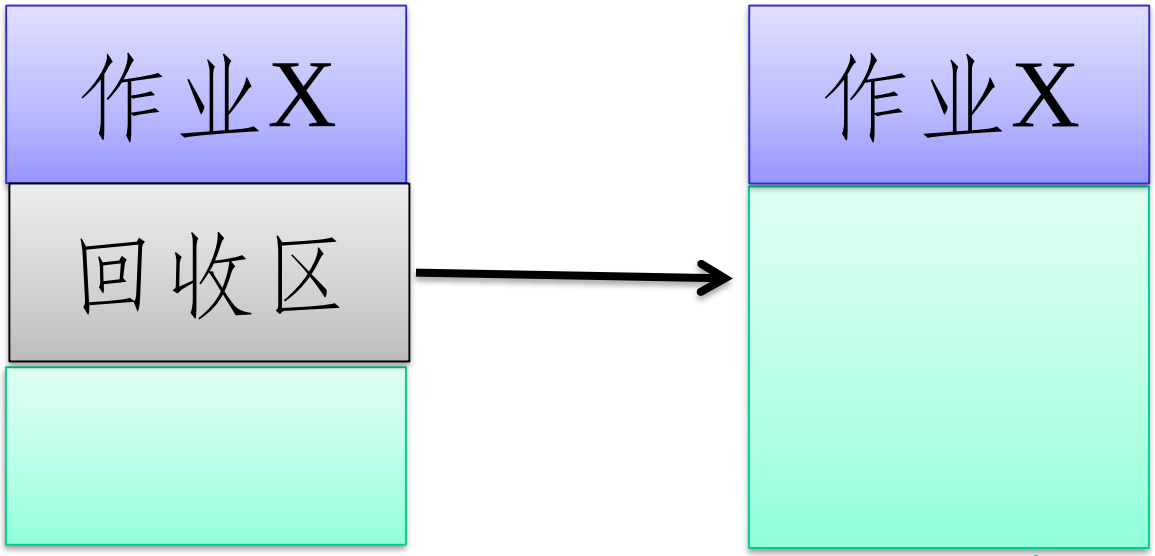
回收区域空白区邻接的三种情况



合并空闲区域，修改空闲区表

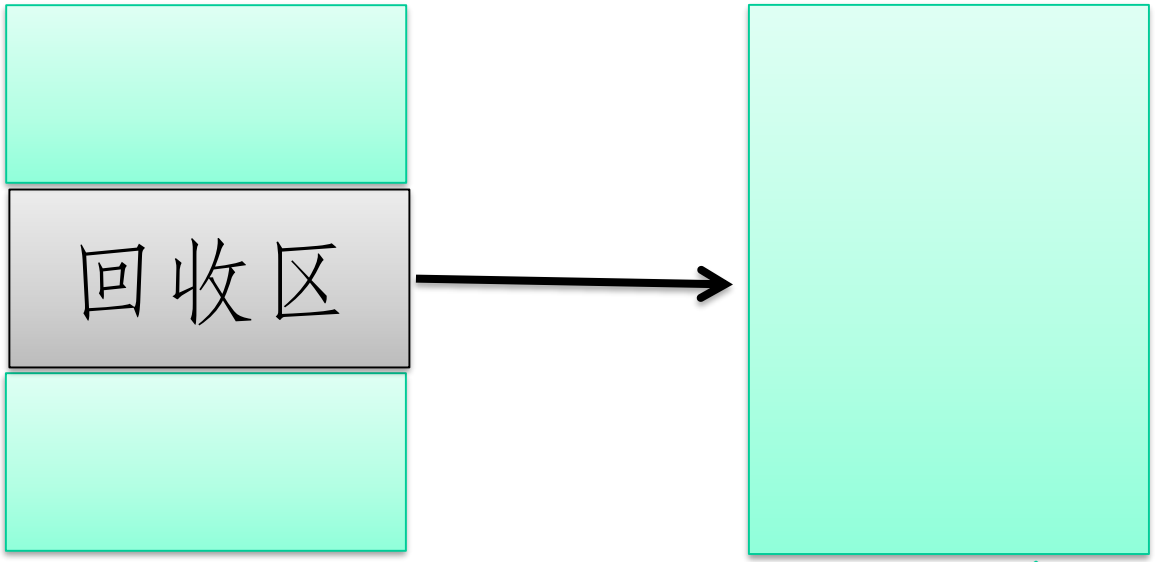
绿色表示空闲区

回收区域空白区邻接的三种情况



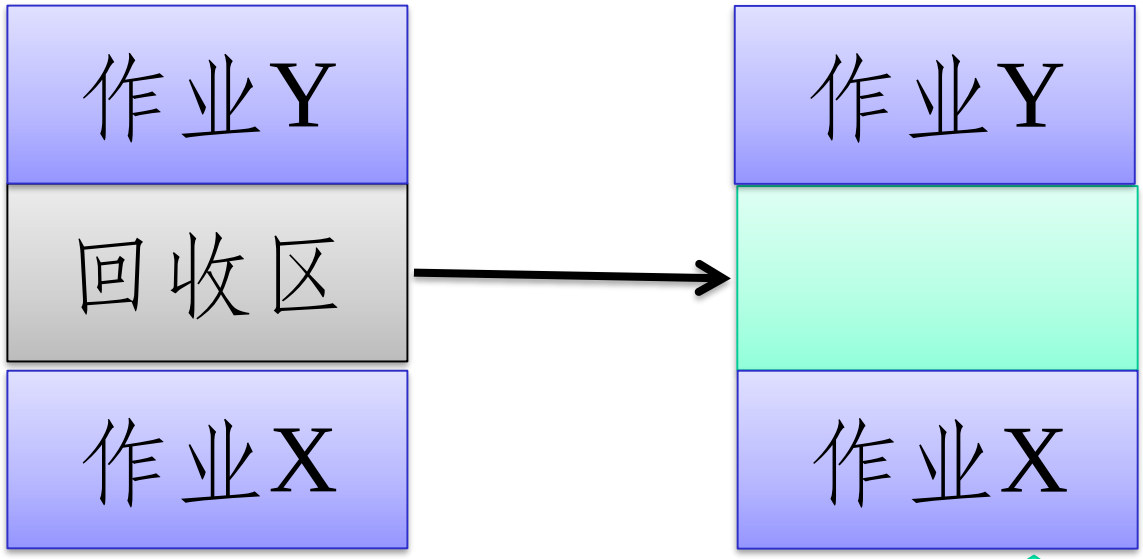
合并空闲区域，修改空闲区表

回收区域空白区邻接的三种情况



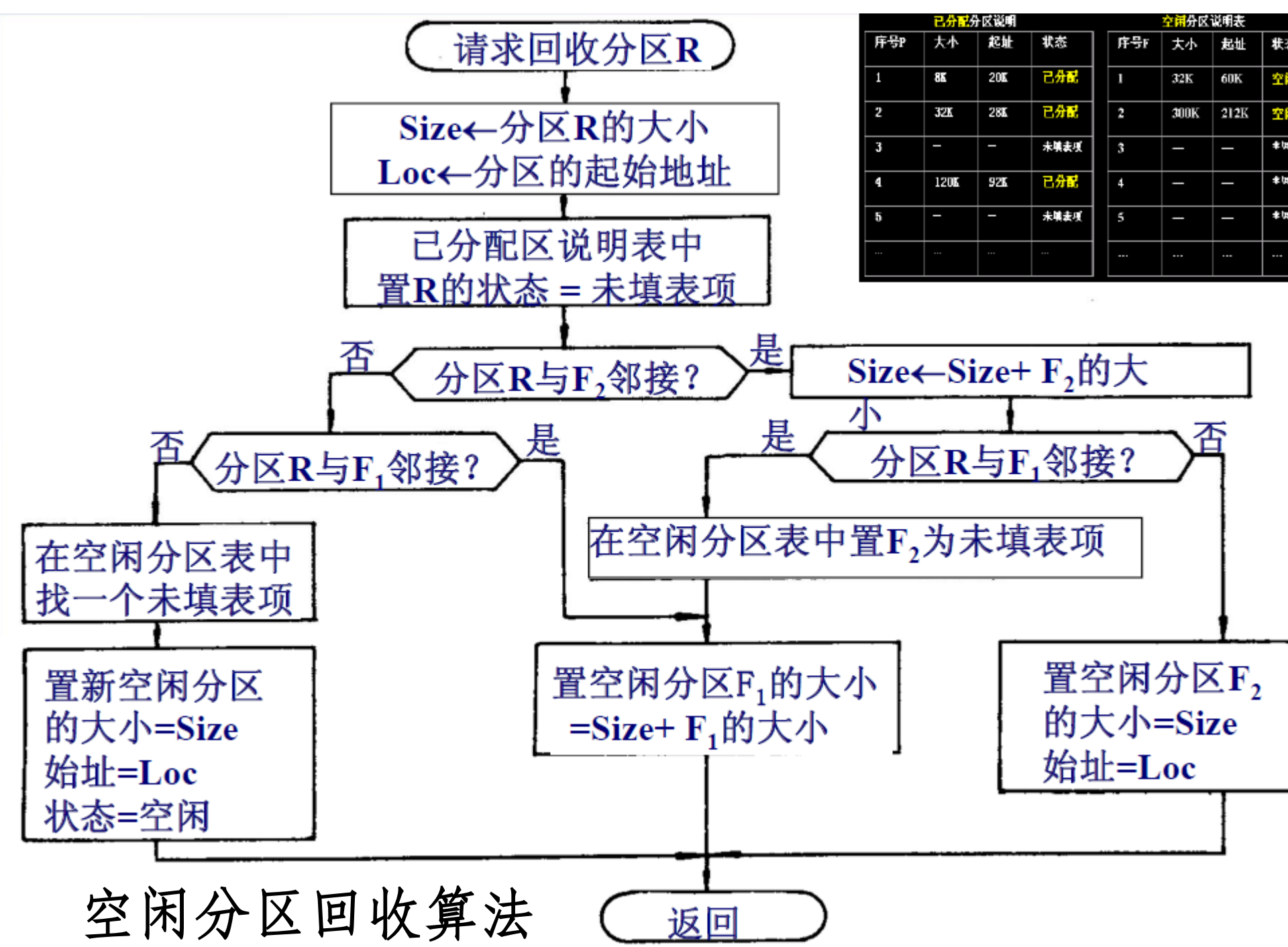
合并空闲区域，修改空闲区表

回收区域空白区邻接的三种情况



绿色表示空闲区

直接修改空闲区表



已分配分区说明

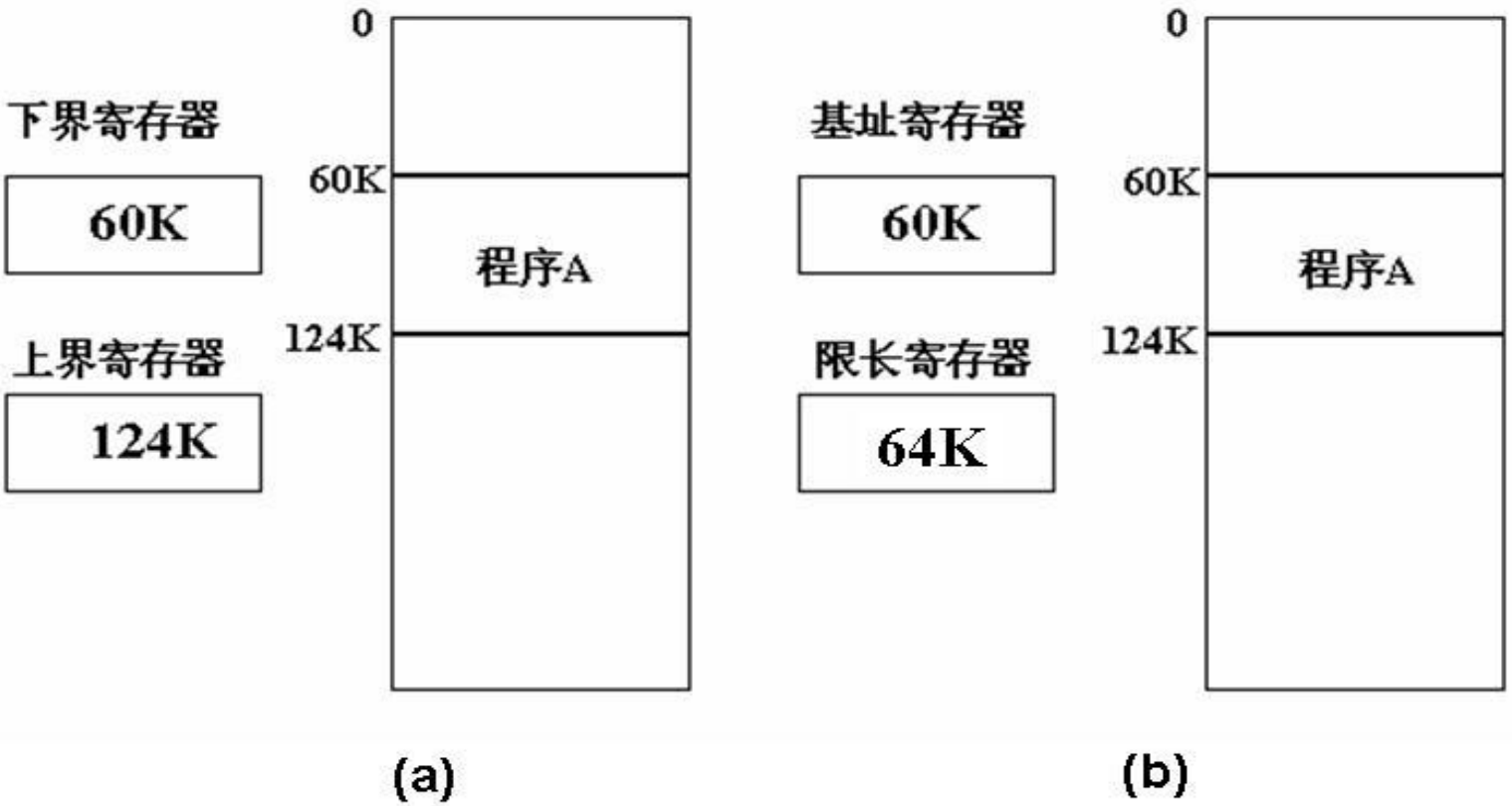
序号P	大小	起址	状态
1	8K	20K	已分配
2	32K	28K	已分配
3	—	—	未填表项
4	120K	92K	已分配
5	—	—	未填表项
…	…	…	…

空闲分区说明表

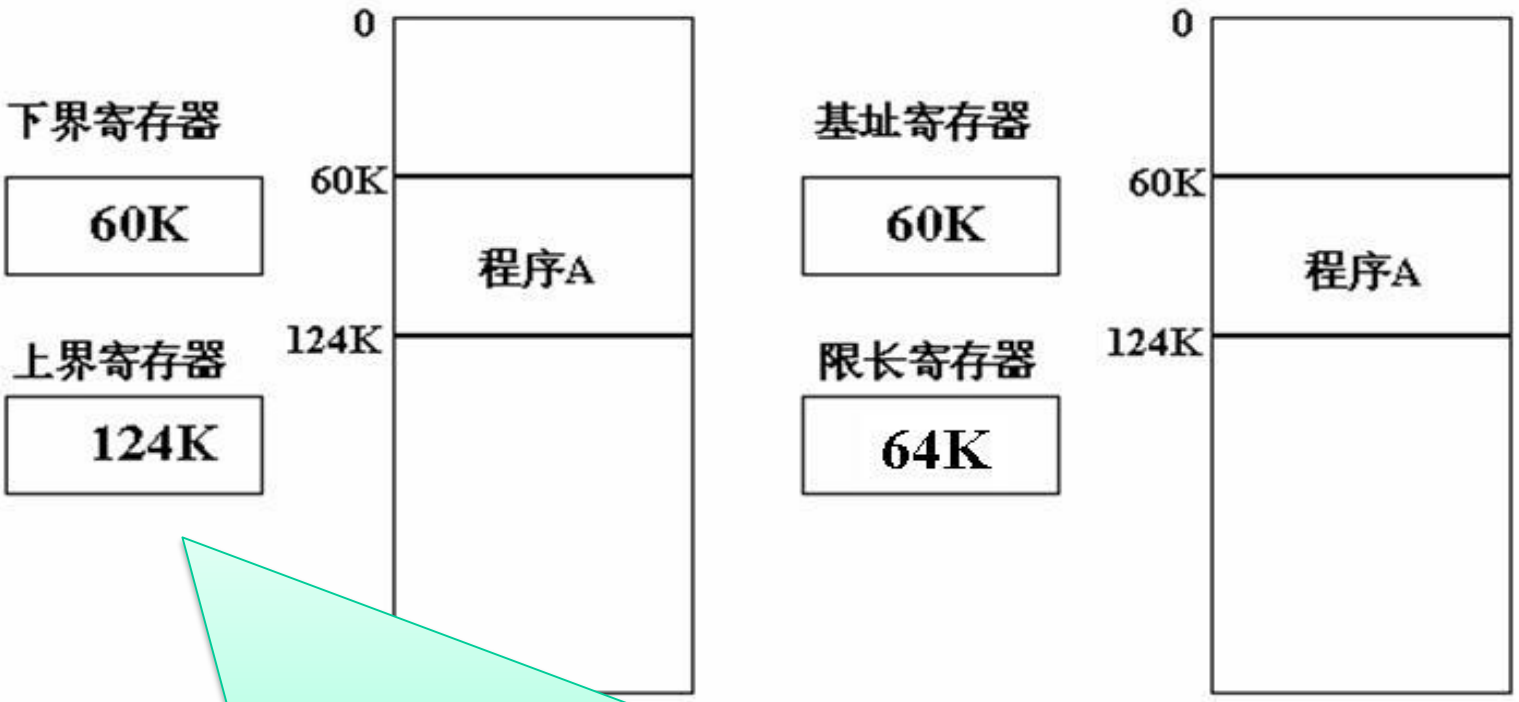
序号F	大小	起址	状
1	32K	60K	空
2	300K	212K	空
3	—	—	*
4	—	—	*
5	—	—	*
…	…	…	…

空闲分区回收算法

可变分区的保护-界限寄存器保护

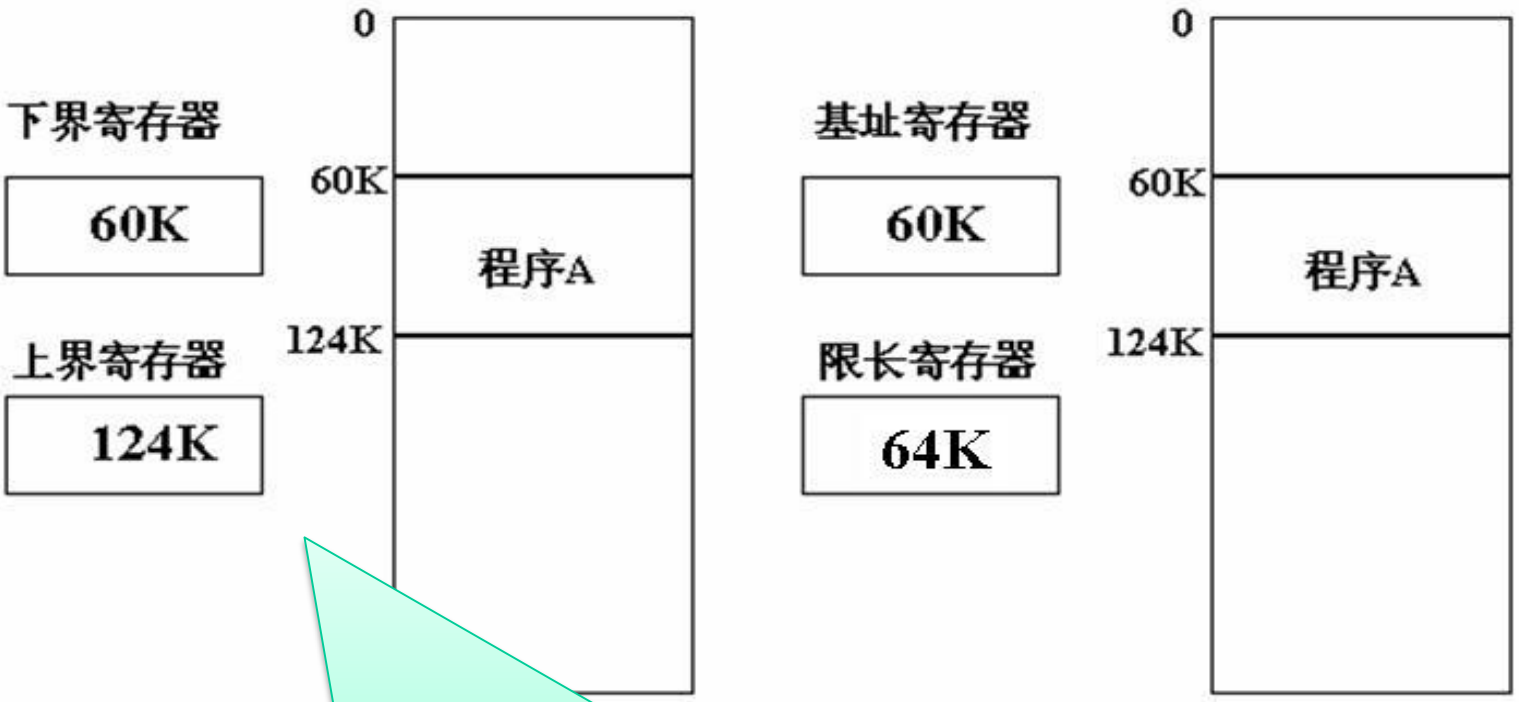


可变分区的保护-界限寄存器保护



每次访问内存的地址，硬件都自动将其与界限寄存器比较，若发生地址越界，便产生保护性地址越界中断

可变分区的保护-界限寄存器保护



程序从60K开始存放，到124K为止

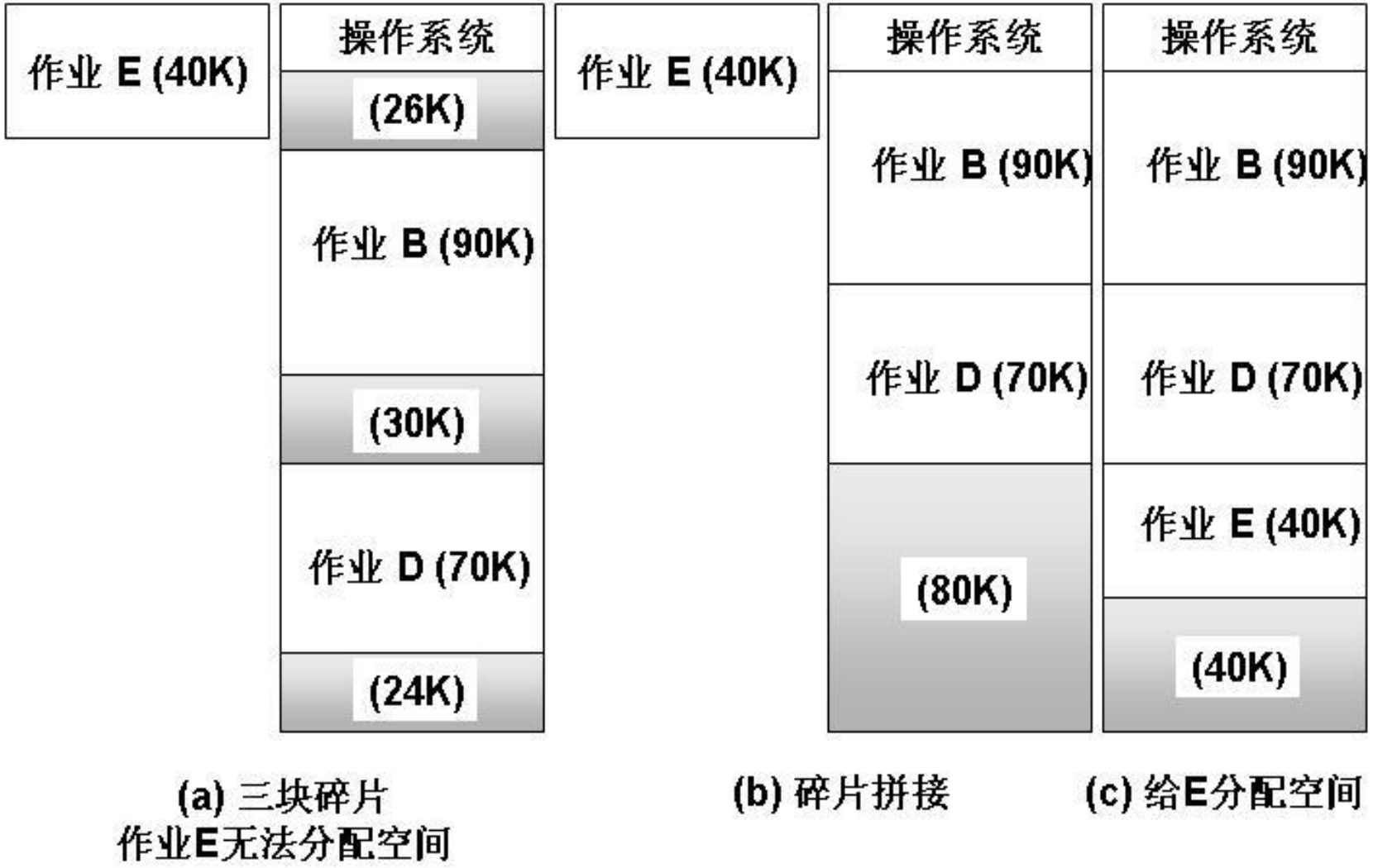
可变分区的保护-保护键

- 每个分区分一个保护键-锁
- 每个进程分一个保护键-钥匙
  - 存在程序状态字中
- 访问内存的时候，检查锁和钥匙是否匹配
  - 不匹配→触发中断

如何处理外碎片？-紧缩（compaction）

- 将各个占用分区向内存一端移动，使各个空闲分区聚集在另一端，然后将各个空闲分区合并成为一个空闲分区 。

如何处理外碎片？-紧缩

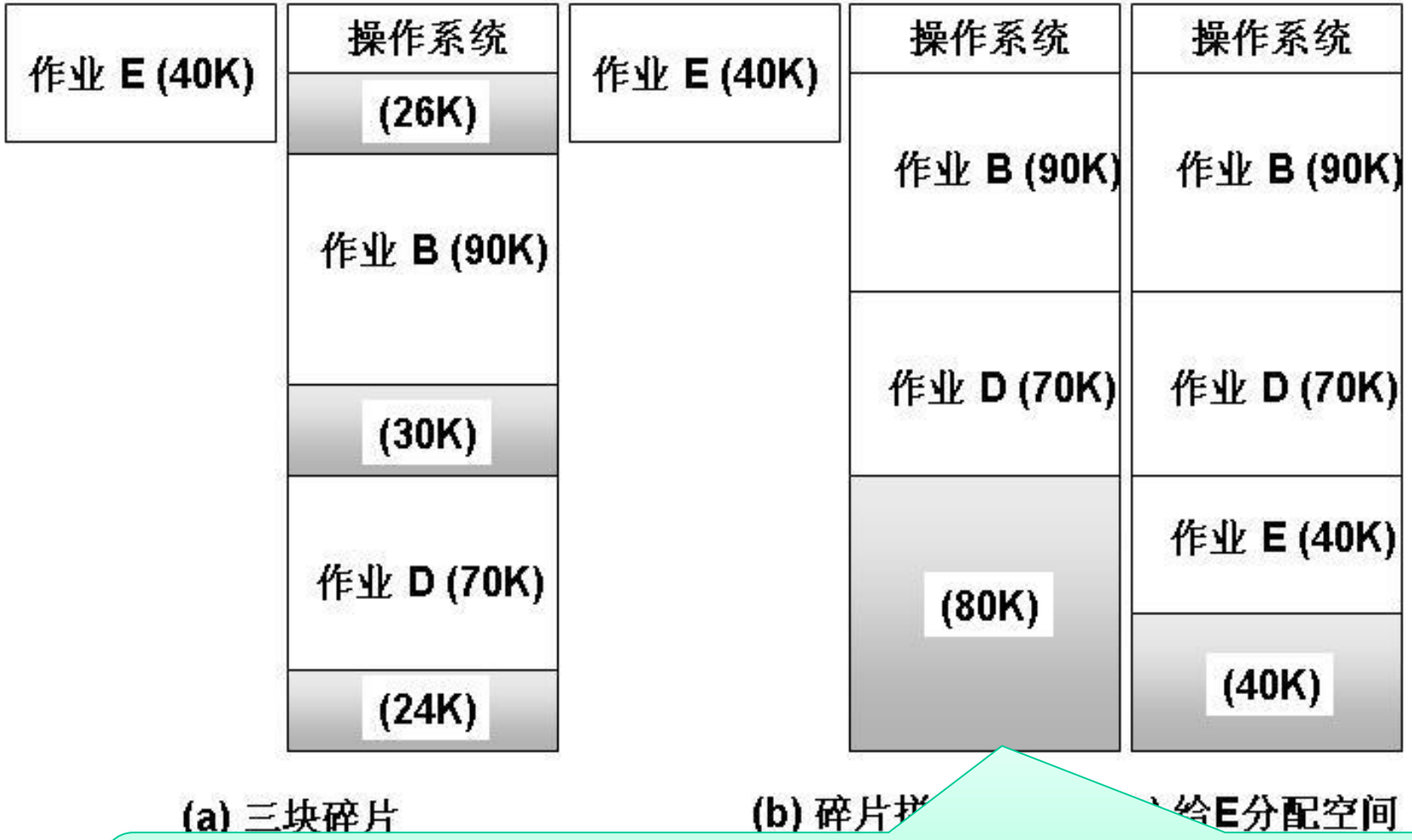


(a) 三块碎片
作业E无法分配空间

(b) 碎片拼接

(c) 给E分配空间

如何处理外碎片？-紧缩



(a) 三块碎片　　(b) 碎片拼　　给E分配空间

在内存中的作业B和作业D被移动到内存的一端，三块碎片被拼接为一个大的空闲区，其容量为80K

处理外碎片-紧缩技术的问题

- 进行数据搬移，占用CPU时间
- 进行程序搬移，需要重定位和硬件支持
- 效率比较低，不适合频繁进行

紧缩-练习题

- 一个交换系统通过紧缩技术来清理碎片。如果内存碎片和数据区域是随机分配的。而且假设读写32位内存字需要10nsec. 那么如果紧缩128MB的内存需要多久？简单起见，假设第0个字是碎片的一部分而最高位的字包含了有效的数据。

紧缩-练习题

- 由于碎片和数据是随机分布的，几乎整个内存都需要被拷贝，因为每个字都需要被读取和重写到不同的位置。读取 4 字节花费 10 nsec, 所以读取1个字节花费 2.5nsec。同理写一个字节也需要 2.5 nsec, 这样紧缩一个字节需要5 nsec. 所以，紧缩的速度是 200,000,000 bytes/sec。如果要复制 128 MB (2^{27} 字节 = $1.34 * 10^8$ 字节), 计算机需要 2^{27} /200,000,000 sec, 结果约为0.671 sec.
- 这个结果稍微保守。因为如果最初的内存起始位置的碎片是 k 字节, 这 k 字节不需要拷贝。但是，如果有很多碎片和数据的话，每个碎片都会很小，那么k也很小，误差也就很小。

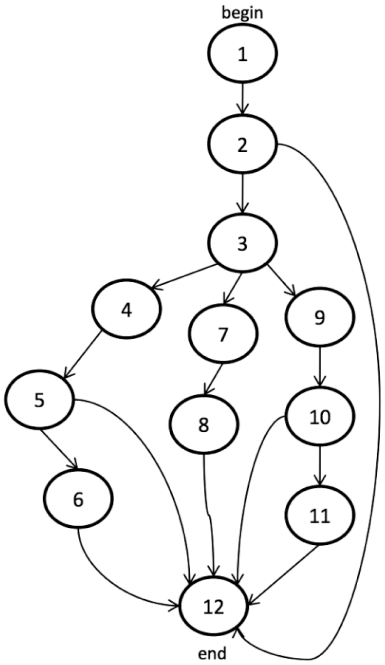
内存的管理-扩充容量

- 扩充容量的思路
  - 把一部分程序和数据放在外存上，把当前执行要使用的程序和数据放在内存
- 覆盖技术
  - 让程序和数据对内存空间时分复用
- 交换技术

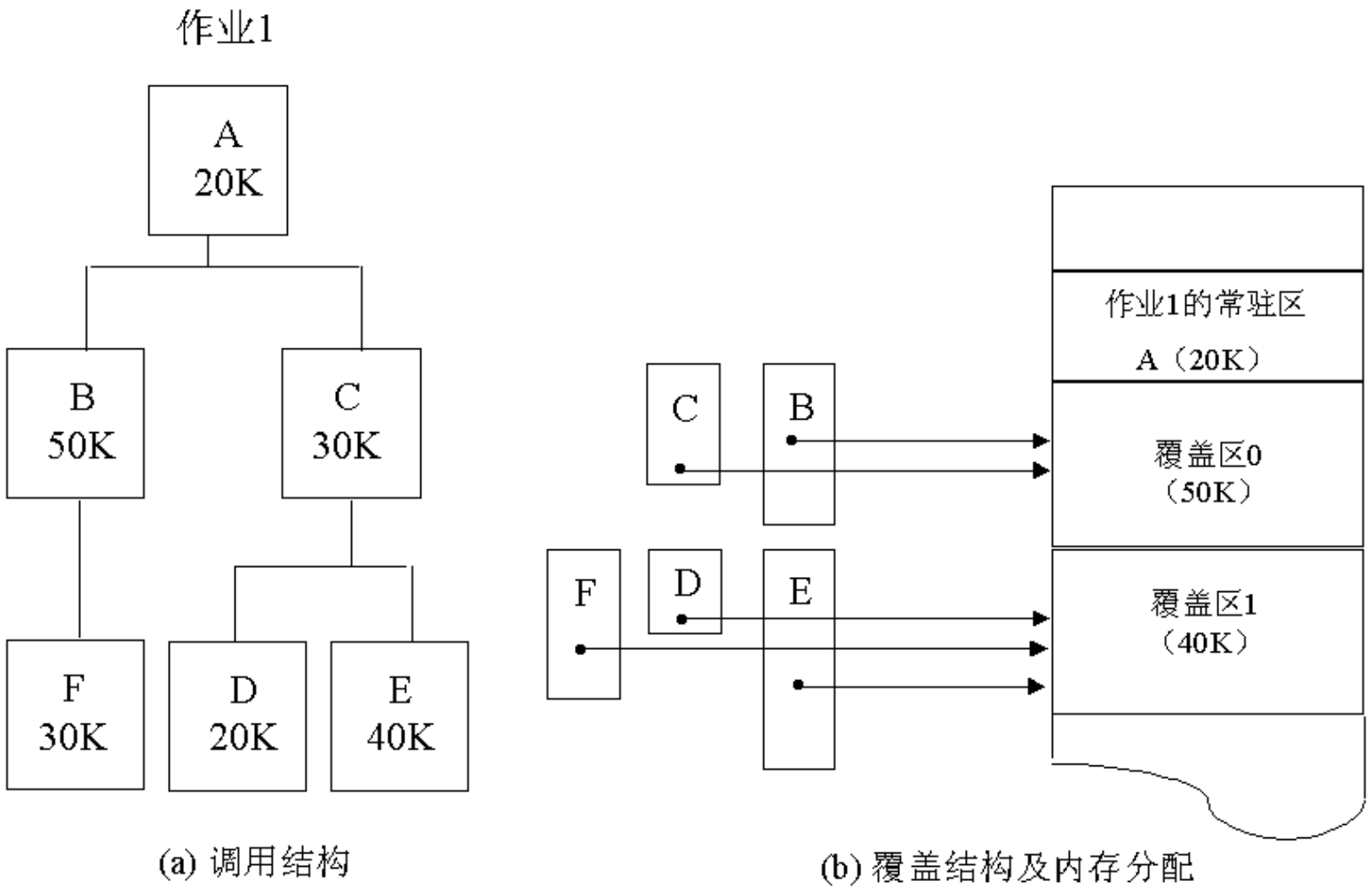
覆盖

- 覆盖：一个程序的代码段和数据段按照时间先后占用内存空间
  - 必要的部分占据内存
  - 可选的部分放外存
  - 不存在调用关系的模块不必同时在内存，可以互相覆盖
  - 不同的执行路径不需要同时在内存

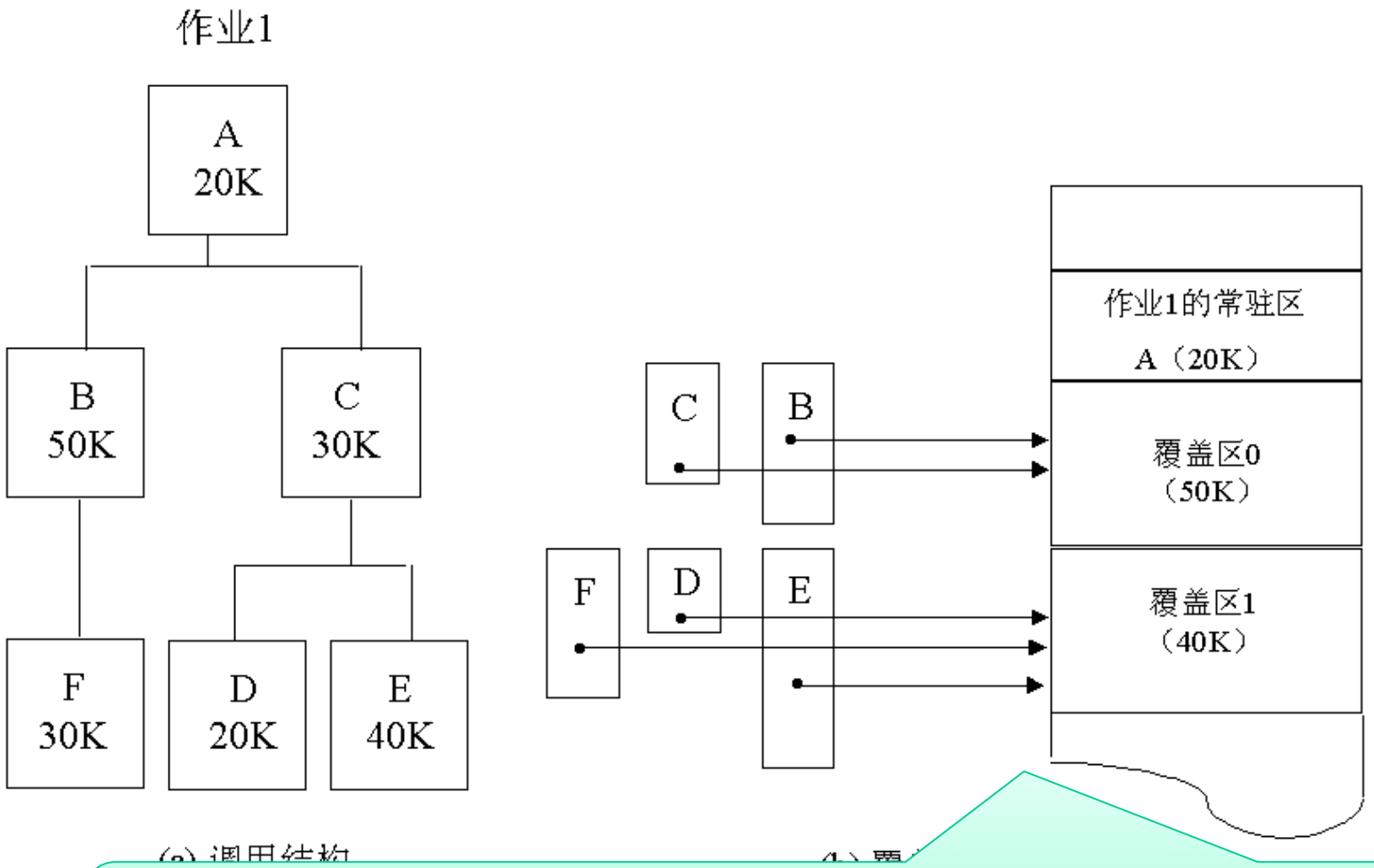
```
module example
initial
   begin
   s1;
   if(s2)
      case (s3)
         when s4
               if (s5)
                  s6;
               endif;
         when s7
               s8;
         when s9
               if (s10)
                  s11;
               endif;
      endcase;
   endif;
   s12;
endmodule;
```



覆盖

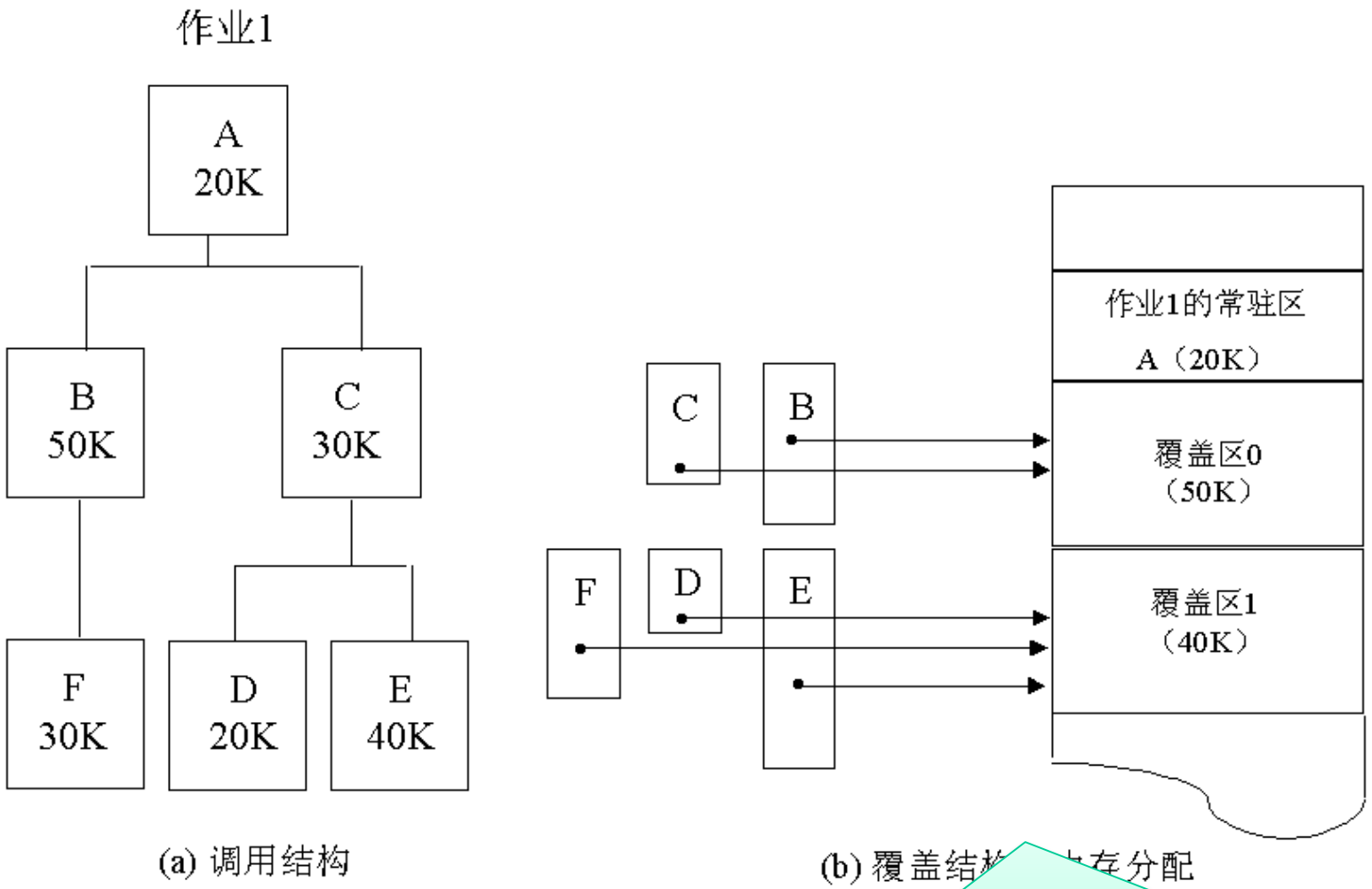

作业1
A
20K
B
50K
C
30K
F
30K
D
20K
E
40K
(a) 调用结构
作业1的常驻区
A（20K）
覆盖区0
（50K）
覆盖区1
（40K）
C
B
F
D
E
(b) 覆盖结构及内存分配

覆盖



B和C不会互相调用，因此B和C就无需同时在内存中
同理，F、D、E无需同时在内存

覆盖



覆盖前，ABCDEF = 190K

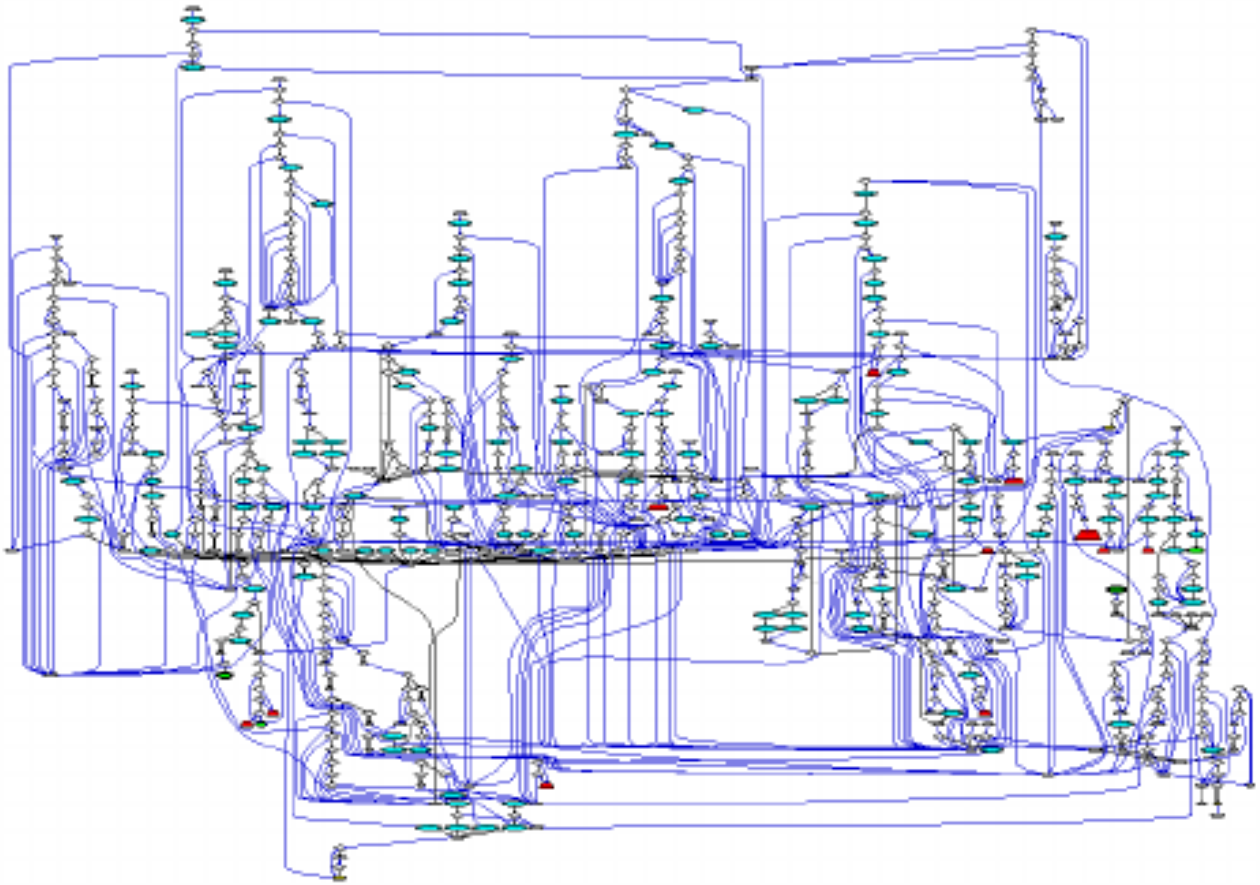
覆盖后：110K，即容量需求最大的路径

覆盖

- 缺点
  - 编程时必须划分程序模块和确定程序模块之间的覆盖关系，了解调用次序，增加编程复杂度。
  - 从外存装入覆盖文件，以时间延长来换取空间节省。
  - 程序的最大长度仍然受限内存

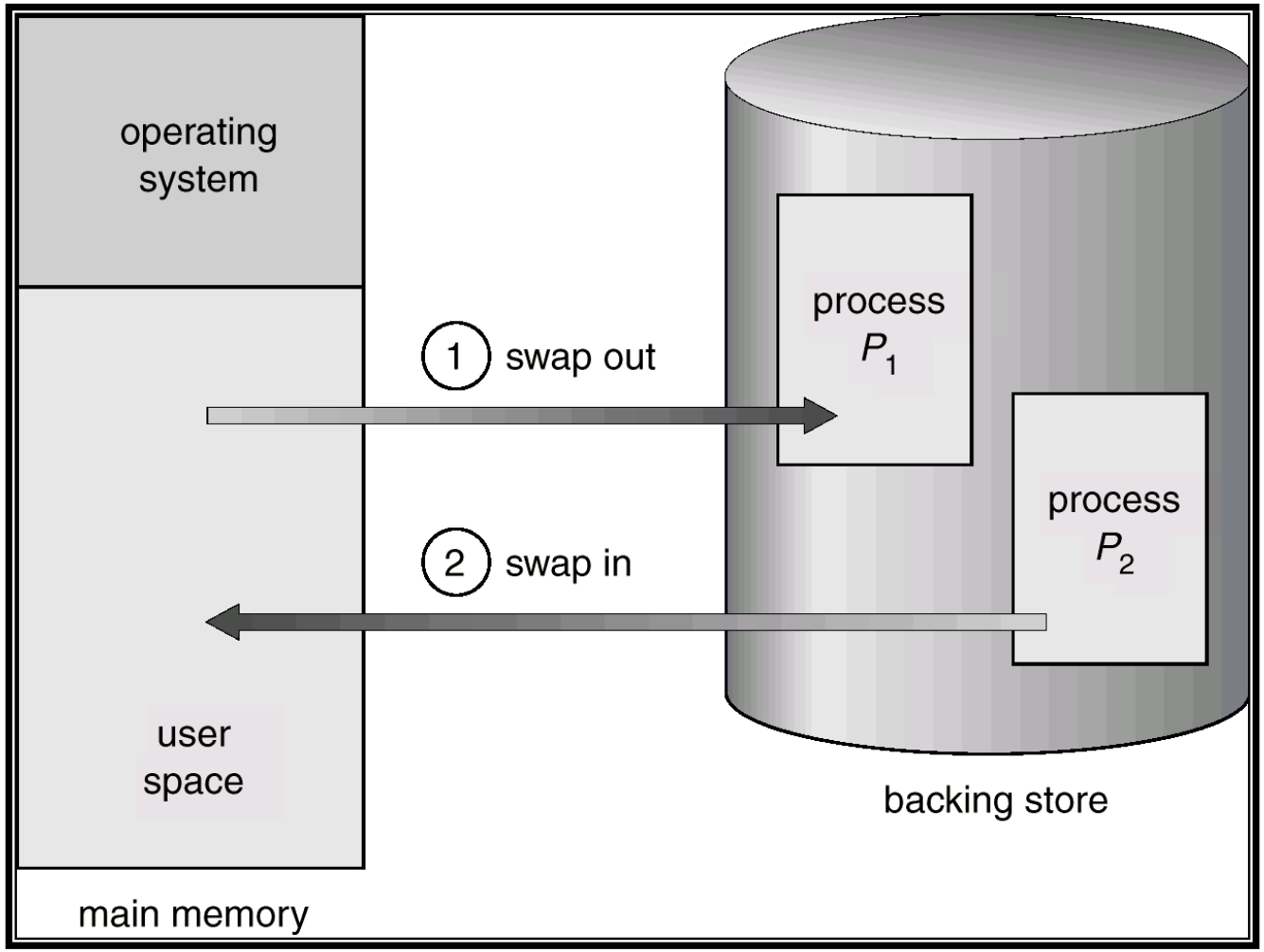
覆盖

- 一个复杂些的控制流图



交换

- 交换：广义的说，所谓交换就是把暂时不用的某个（或某些）程序及其数据的部分或全部从主存移到辅存中去，以便腾出必要的存储空间；接着把指定程序或数据从辅存读到相应的主存中，并将控制转给它，让其在系统上运行。
- 优点：增加并发运行的程序数目，并且给用户提供适当的响应时间；编写程序时不影响程序结构
- 缺点：对换入和换出的控制增加处理机开销；程序整个地址空间都进行传送，没有考虑执行过程中地址访问的统计特性。


operating system
process P_1
1 swap out
process P_2
2 swap in
user space
backing store
main memory

交换技术的几个问题

- 选择原则，即将哪个进程换出/内存?
  - 系统在选择换出程序时，希望换出的程序是短时间内不会立刻投入运行。
  - 等待I/O的进程
- 交换时机的确定，何时需发生交换?
  - 只要不用就换出（很少再用）；
  - 只在内存空间不够或有不够的危险时换出

交换技术的几个问题

- 交换空间的分配和管理?
  - 当程序被换出时，必须为它分配磁盘空间
  - 固定空间v.s.可变空间
- 换回内存时位置的确定
  - 如果包含物理地址引用：原位置
  - 如果是相对地址：可以换位置

覆盖与交换技术的区别

- 覆盖可减少一个程序运行所需的空间。交换可让整个程序暂存于外存中，让出内存空间。
- 覆盖是由程序员实现的，操作系统根据程序员提供的覆盖结构来完成程序段之间的覆盖。交换技术不要求程序员给出程序段之间的覆盖结构。
- 覆盖技术主要对同一个作业或程序进行。交换换主要在作业或程序间之间进行。