操作系统　Operating System

第三章 内存管理(1)

沃天宇
woty@buaa.edu.cn
2023年3月3日

The Institute of Advanced Computing Technology

小练习

- 在传统x86体系结构下，计算机引导过程中以下哪项不是BIOS负责的任务？
  - 读取MBR并装载到内存特定地址
  - 自检系统，当有设备故障时暂停启动过程并告警
  - 选择引导磁盘
  - 装载打印机驱动
  - 启动显示器
  - 解压缩操作系统Kernel
- 以下说法正确的是
  - BIOS是只读存储器，
  - 如果硬盘只有一个分区，则不需要MBR引导
  - 引导程序装载进内存后不会变更位置
  - BIOS程序运行时可以访问超过4GB的地址空间

The Institute of Advanced Computing Technology

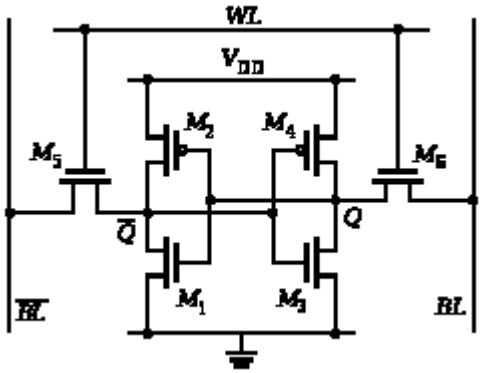
存储器的管理

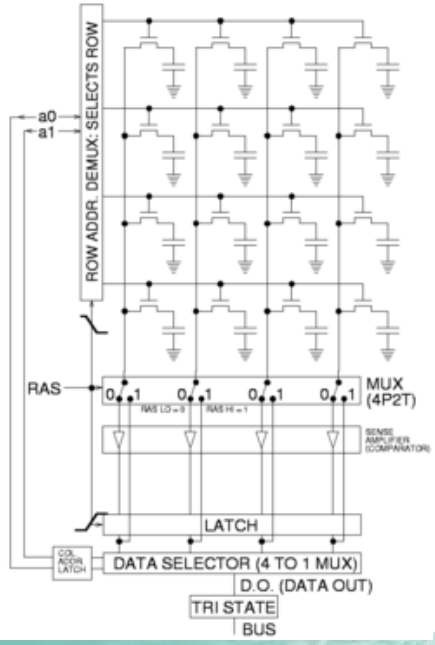
- 存储分配：主要是讨论和解决多道作业之间共享主存的存储空间的问题。
- 存储器资源的组织（如内存的组织方式）
- 地址变换（逻辑地址与物理地址的对应关系维护）
- 虚拟存储的调度算法

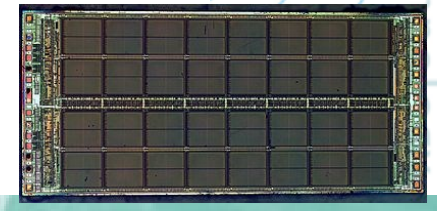
The Institute of Advanced Computing Technology

存储组织

- 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。如：内存在访问速度方面的发展：DRAM、SDRAM（DDR）、SRAM等；硬盘技术在大容量方面的发展：接口标准、存储密度等；
  - 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**







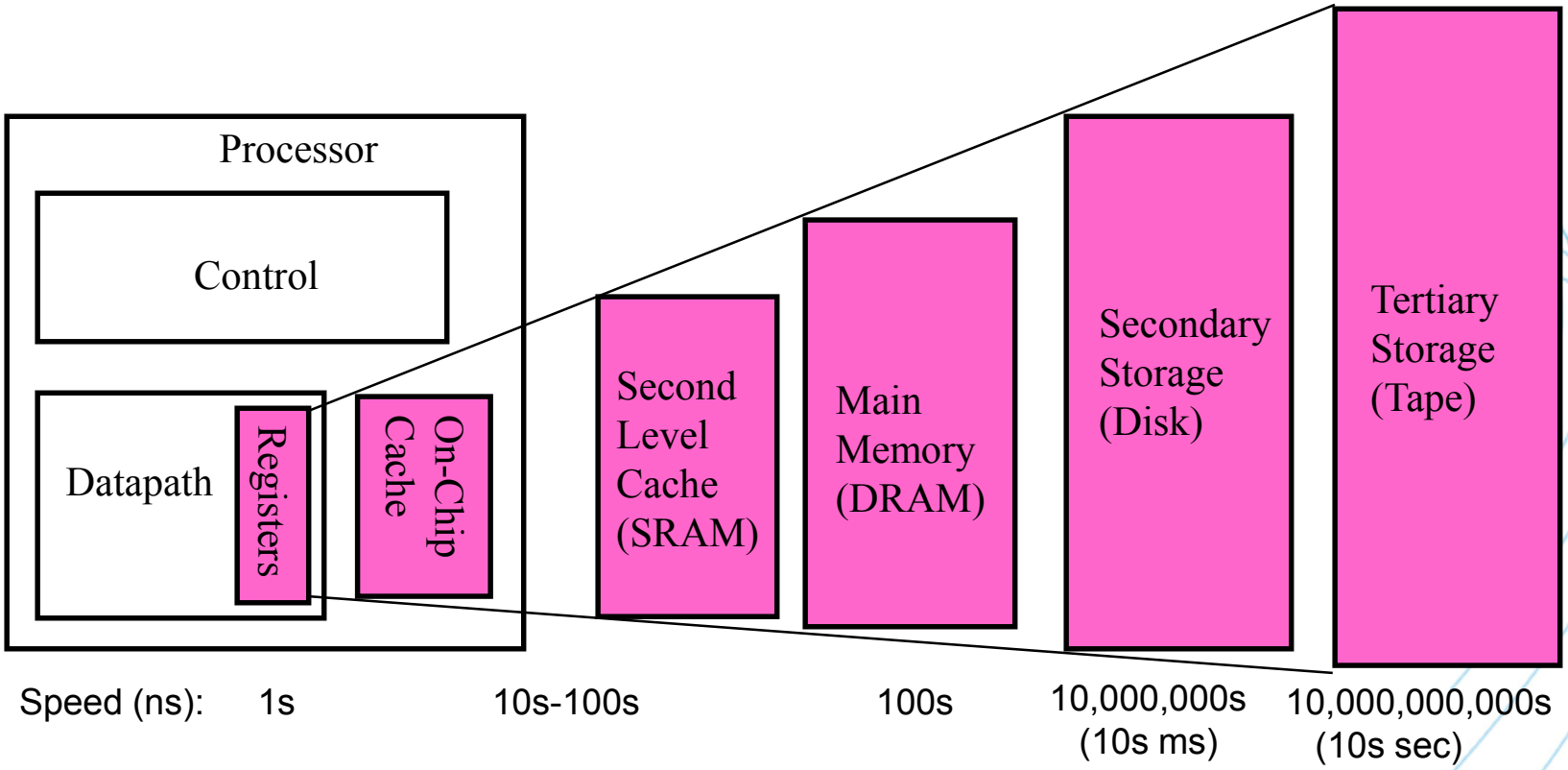
存储组织

- 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。如：“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）；

The Institute of Advanced Computing Technology

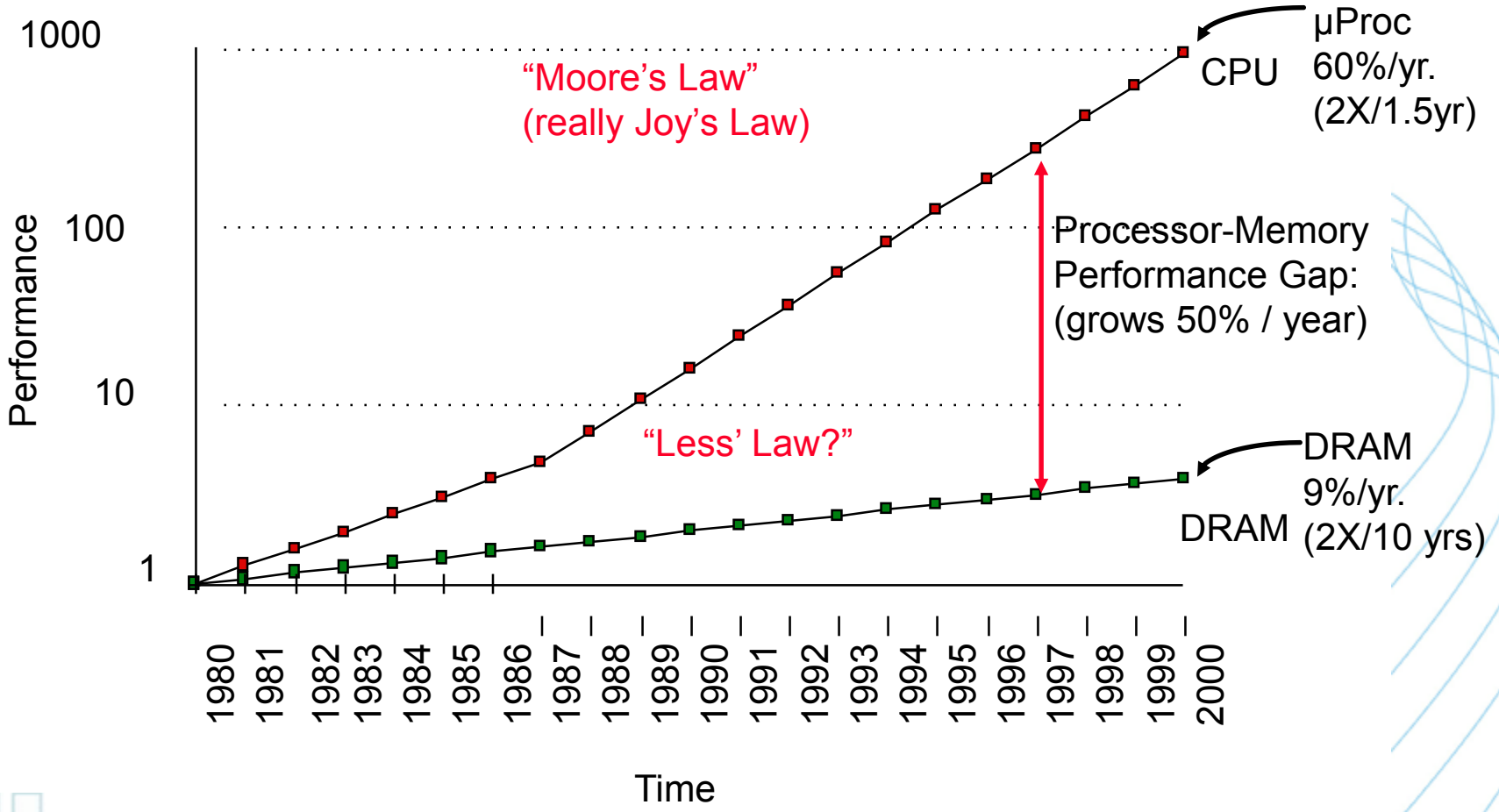
存储层次

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



The Institute of Advanced Computing Technology

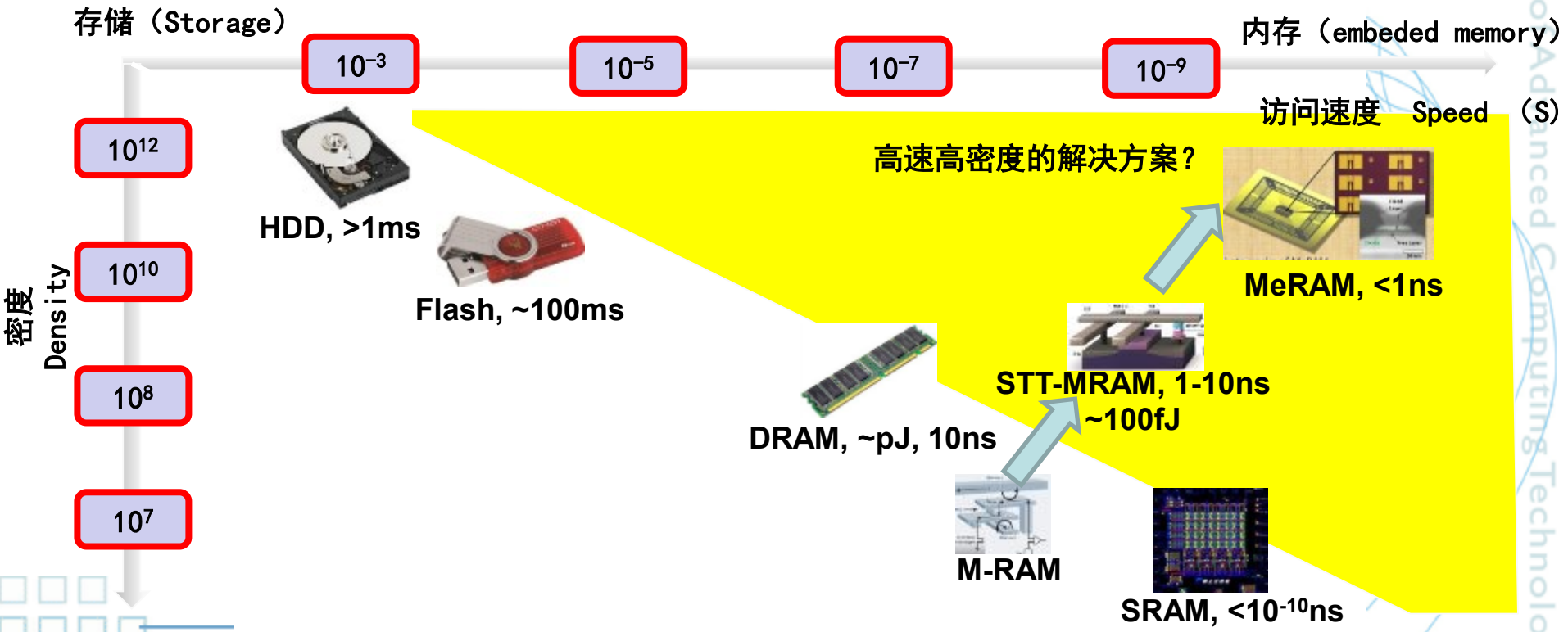
Processor-DRAM Memory Gap (latency)



The Institute of Advanced Computing Technology

蕴含巨大的科学问题和原创突破

- 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

The Institute of Advanced Computing Technology

为什么进行存储管理

- 重要的资源
- 帕金森定律(Parkinson)：
  - 存储器有多大，程序有多长。
  - 多道程序，永远不够用（共享→竞争→管理）

The Institute of Advanced Computing Technology

需求与存储管理的目标

需求：

- 从每个计算机使用者（程序员）的角度：
  1. 整个空间都归我使用；
  2. 不希望任何第三方因素妨碍我的程序的正常运行；
- 从计算机平台提供者的角度：
  - 尽可能同时为多个用户提供服务；

分析：

- 计算机至少同时存在两个程序：一个用户程序和一个服务程序（操作系统）
- 每个程序具有的地址空间应该是相互独立的；
- 每个程序使用的空间应该得到保护；

The Institute of Advanced Computing Technology

需求与存储管理的目标

存储管理的基本目标：

1. 地址独立：程序发出的地址与物理地址无关
2. 地址保护：一个程序不能访问另一个程序的地址空间

存储管理要解决的问题：分配和回收

The Institute of Advanced Computing Technology

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。
- 地址变换：可执行文件生成中的链接技术、程序加载时的重定位技术，进程运行时硬件和软件的地址变换技术和机构。
- 存储共享和保护：代码和数据共享，对地址空间的访问权限（读、写、执行）。
- 存储器扩充：它涉及存储器的逻辑组织和物理组织；
  - 由应用程序控制：覆盖；
  - 由OS控制：交换（整个进程空间），请求调入和预调入（部分进程空间）

The Institute of Advanced Computing Technology

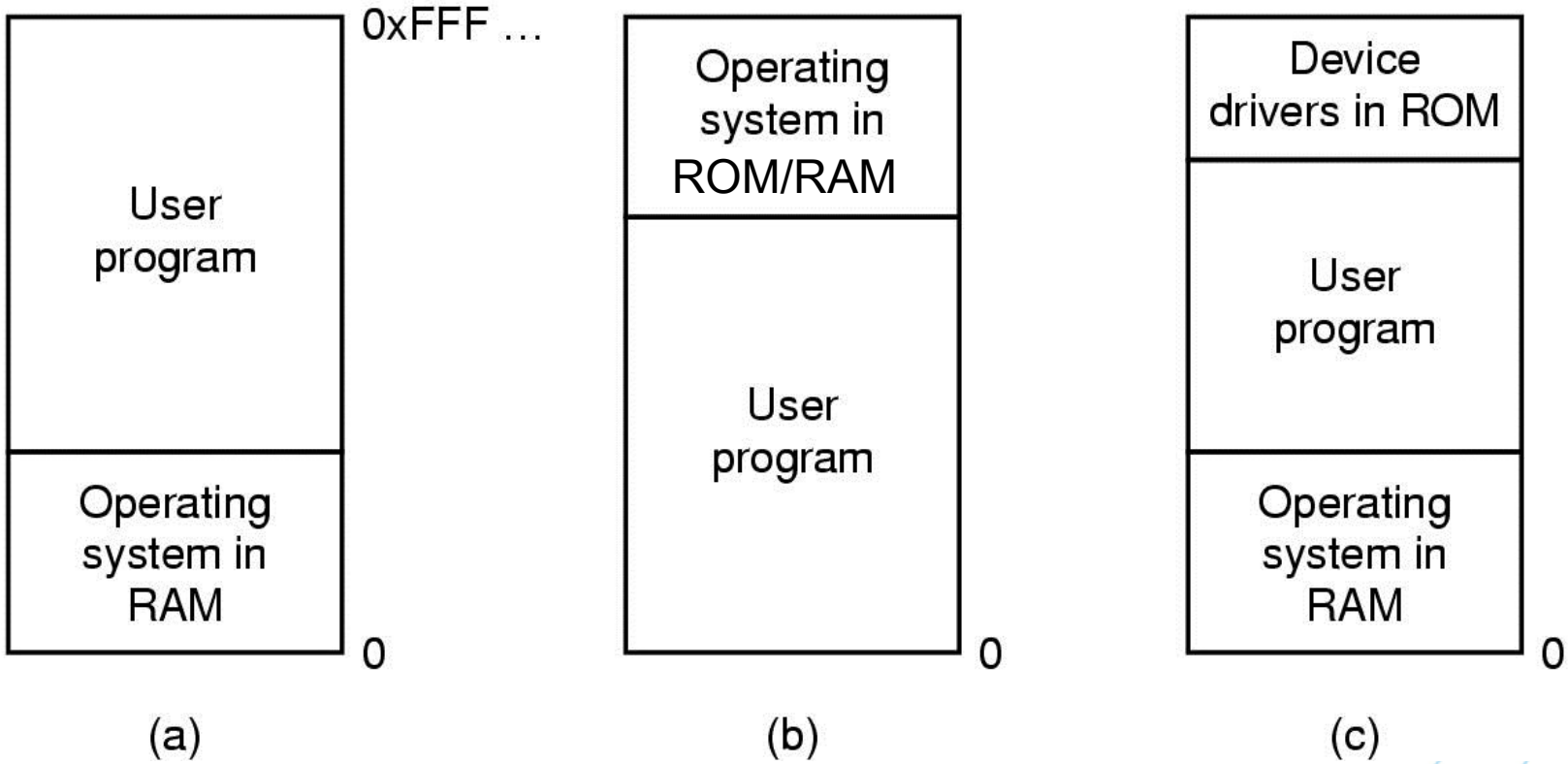
几个概念

- 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。

The Institute of Advanced Computing Technology

操作系统在内存中的位置



The Institute of Advanced Computing Technology

单道程序的内存管理

条件：

- 在单道程序环境下，整个内存里只有两个程序：一个用户程序和操作系统。
- 操作系统所占的空间是固定的。
- 因此可以将用户程序永远加载到同一个地址，即用户程序永远从同一个地方开始运行。

结论：

- 用户程序的地址在运行之前可以计算。

The Institute of Advanced Computing Technology

单道程序的内存管理

方法：

- 静态地址翻译：即在程序运行之前就计算出所有物理地址。
- 静态翻译工作可以由加载器实现。

分析：

- 地址独立？YES. 因为用户无需知道物理内存的相关知识。
- 地址保护？YES. 因为没有其它用户程序。

The Institute of Advanced Computing Technology

单道程序的内存管理

优点：

- 最简单，适用于单用户、单任务的OS。CP/M和DOS
- 执行过程中无需任何地址翻译工作，程序运行速度快。

缺点：

- 比物理内存大的程序无法加载，因而无法运行。
- 造成资源浪费（小程序会造成空间浪费；不区分常用/非常用数据；I/O时间长会造成计算资源浪费）。

思考：

- 程序可加载到内存中，就一定可以正常运行吗？
- 用户程序运行会影响操作系统吗？

The Institute of Advanced Computing Technology

多道程序的存储管理

空间的分配：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。

方法：

- 固定（静态）式分区分配，程序适应分区。
- 可变（动态）式分区分配，分区适应程序。

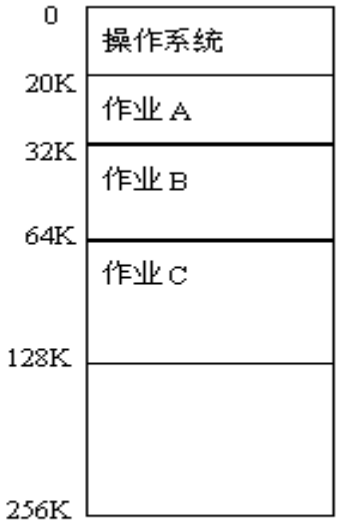
The Institute of Advanced Computing Technology

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。

分区号	大小	起址	状态
1	12K	20K	已分配
2	32K	32K	已分配
3	64K	64K	已分配
4	128K	128K	未分配

分区说明表



存储空间分配情况

The Institute of Advanced Computing Technology

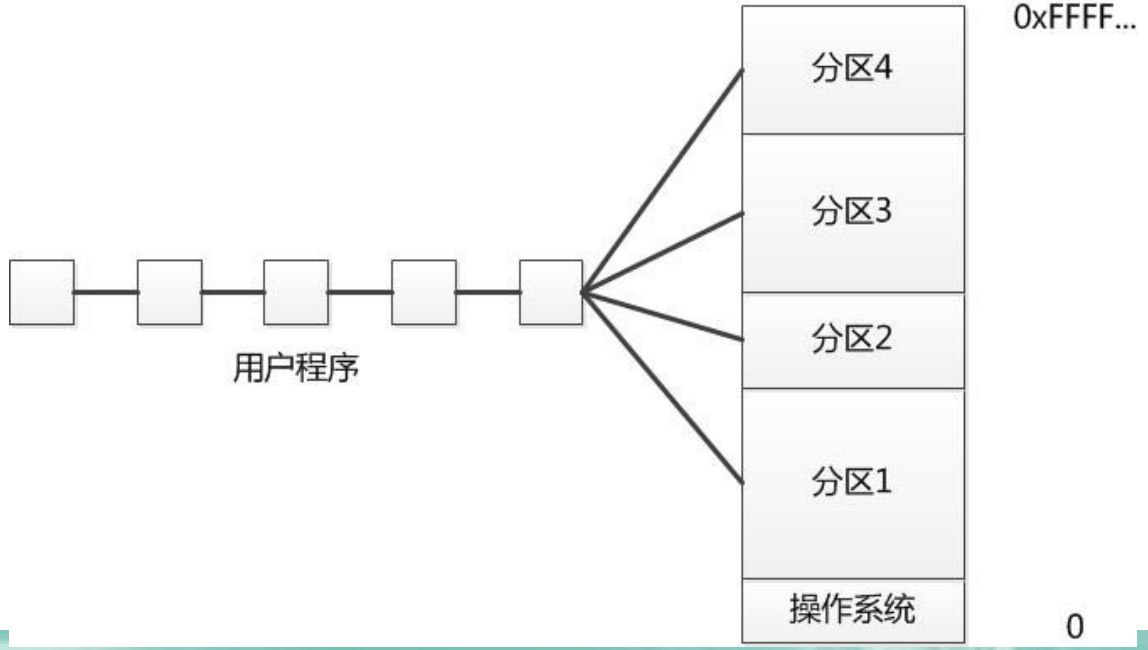
固定式分区

- 把内存划分为若干个固定大小的连续分区。
  - 分区大小相等：只适合于多个相同程序的并发执行（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。
- 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。
- 采用的数据结构：分区表——记录分区的大小和使用情况

The Institute of Advanced Computing Technology

单一队列的分配方式

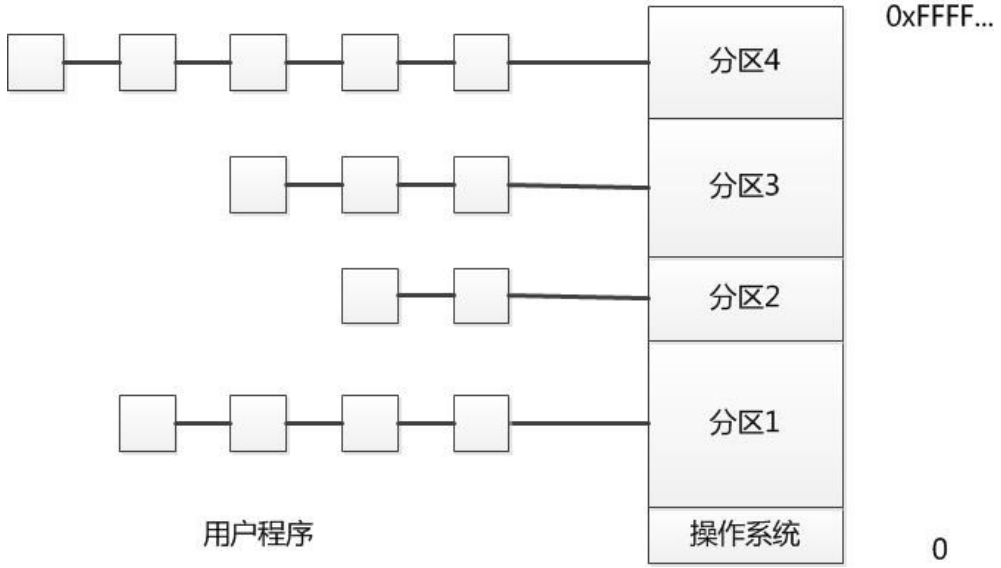
- 当需要加载程序时，选择一个当前闲置且容量足够大的分区进行加载，可采用共享队列的固定分区（多个用户程序排在一个共同的队列里面等待分区）分配。



The Institute of Advanced Computing Technology

多队列分配方式

- 由于程序大小和分区大小不一定匹配，有可能形成一个小程序占用一个大分区的情况，从而造成内存里虽然有小分区闲置但无法加载大程序的情况。这时，可以采用多个队列，给每个分区一个队列，程序按照大小排在相应的队列里。



The Institute of Advanced Computing Technology

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。
- 优点：没有内碎片。缺点：有外碎片。

The Institute of Advanced Computing Technology

系统中的碎片

- 内存中无法被利用的存储空间称为碎片。

内部碎片：

- 指分配给作业的存储空间中未被利用的部分，如固定分区中存在的碎片。
- 单一连续区存储管理、固定分区存储管理等都会出现内部碎片。
- 内部碎片无法被整理，但作业完成后会得到释放。它们其实已经被分配出去了，只是没有被利用。

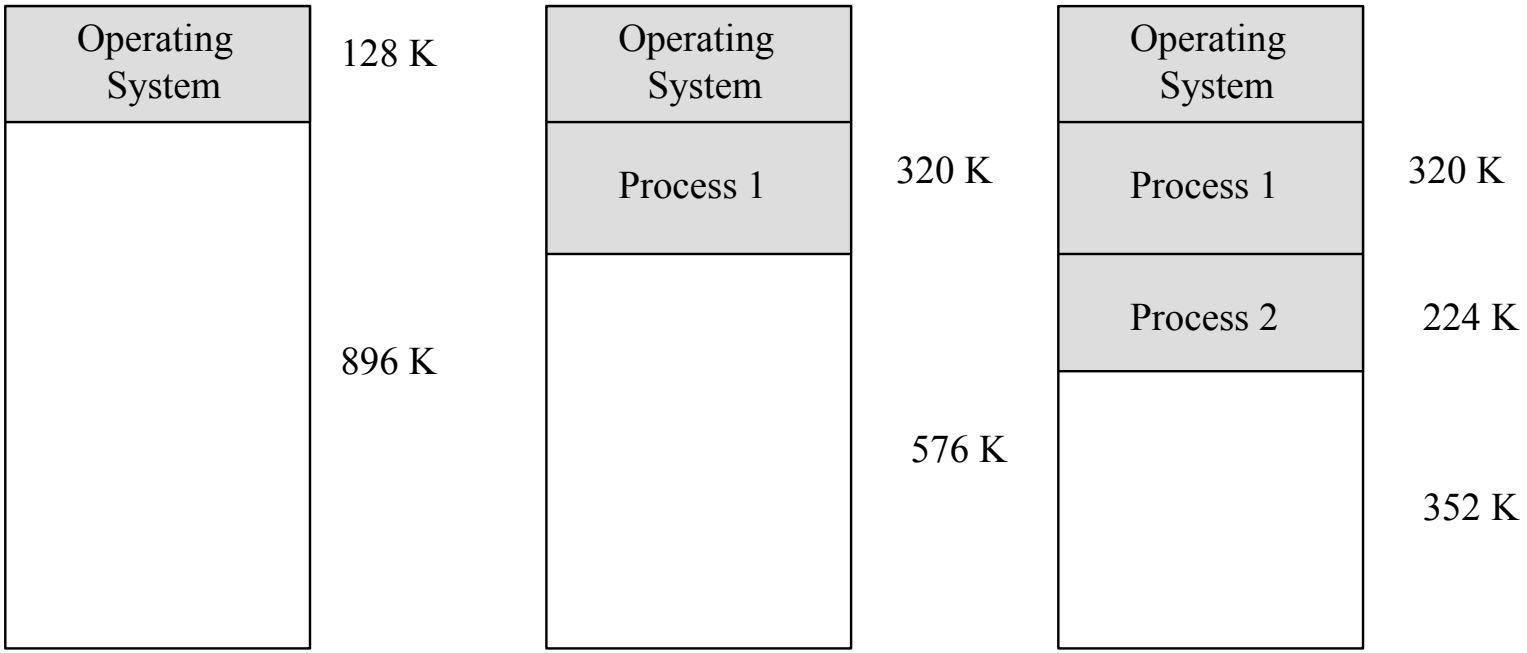
The Institute of Advanced Computing Technology

系统中的碎片

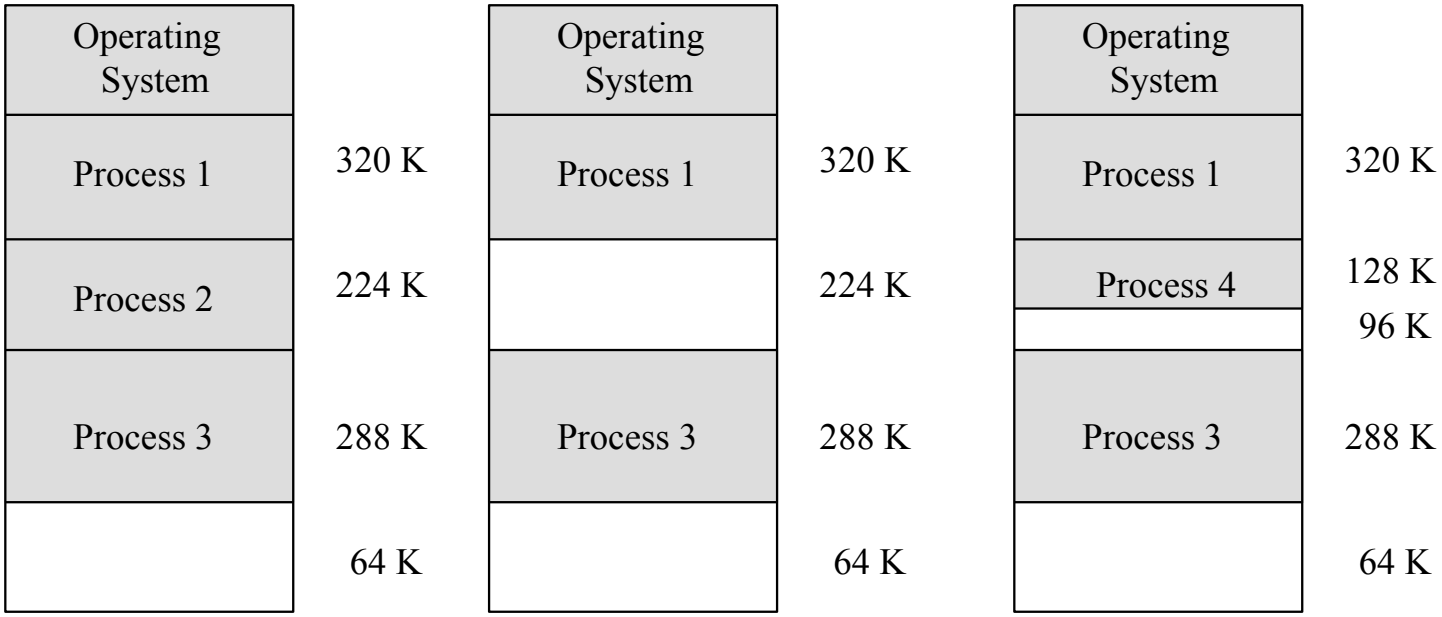
外部碎片：

- 指系统中无法利用的小的空闲分区。如分区与分区之间存在的碎片。这些不连续的区间就是外部碎片。动态分区管理会产生外部碎片。
- 外部碎片才是造成内存系统性能下降的主要原因。外部碎片可以被整理后清除。
- 消除外部碎片的方法：紧凑技术。

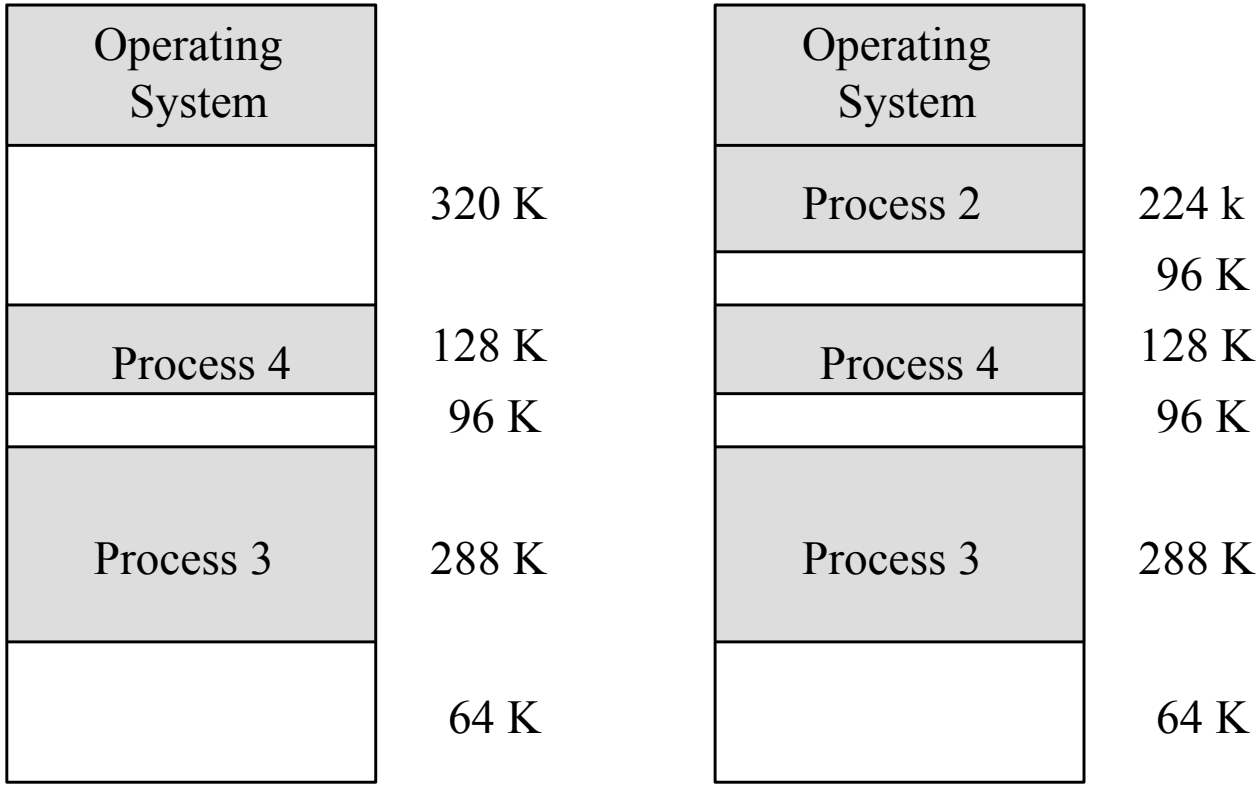
The Institute of Advanced Computing Technology



The Institute of Advanced Computing Technology



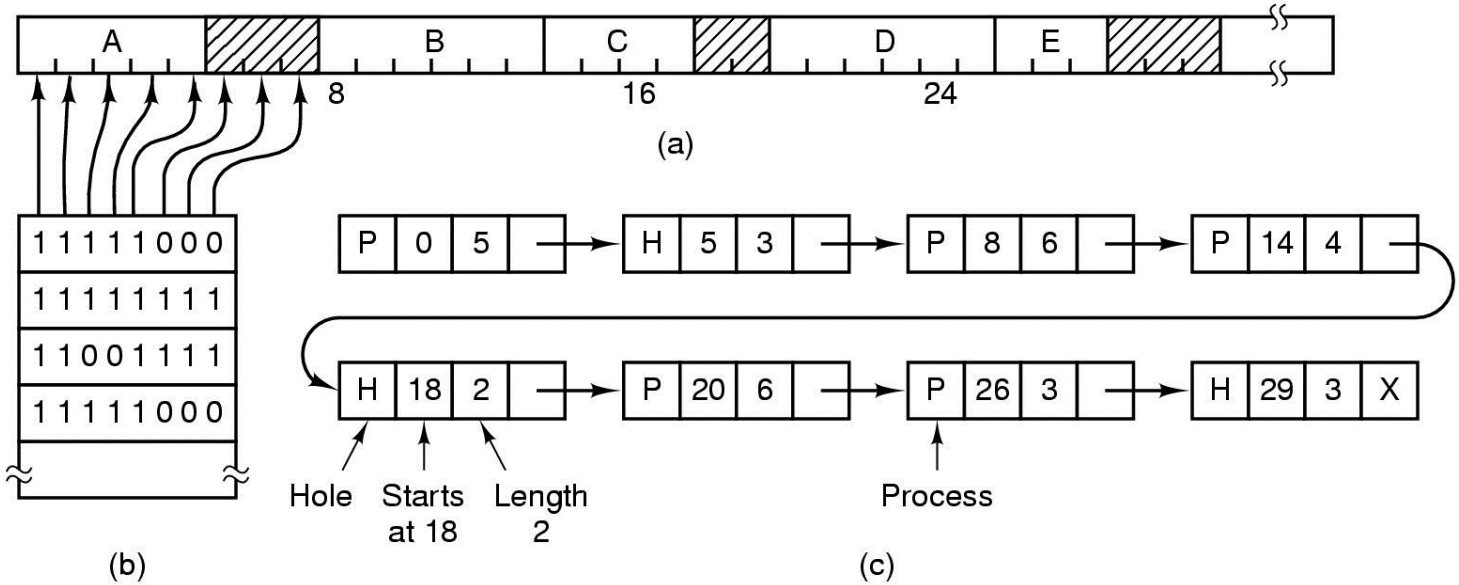
The Institute of Advanced Computing Technology



The Institute of Advanced Computing Technology

闲置空间的管理

- 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）



The Institute of Advanced Computing Technology

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。

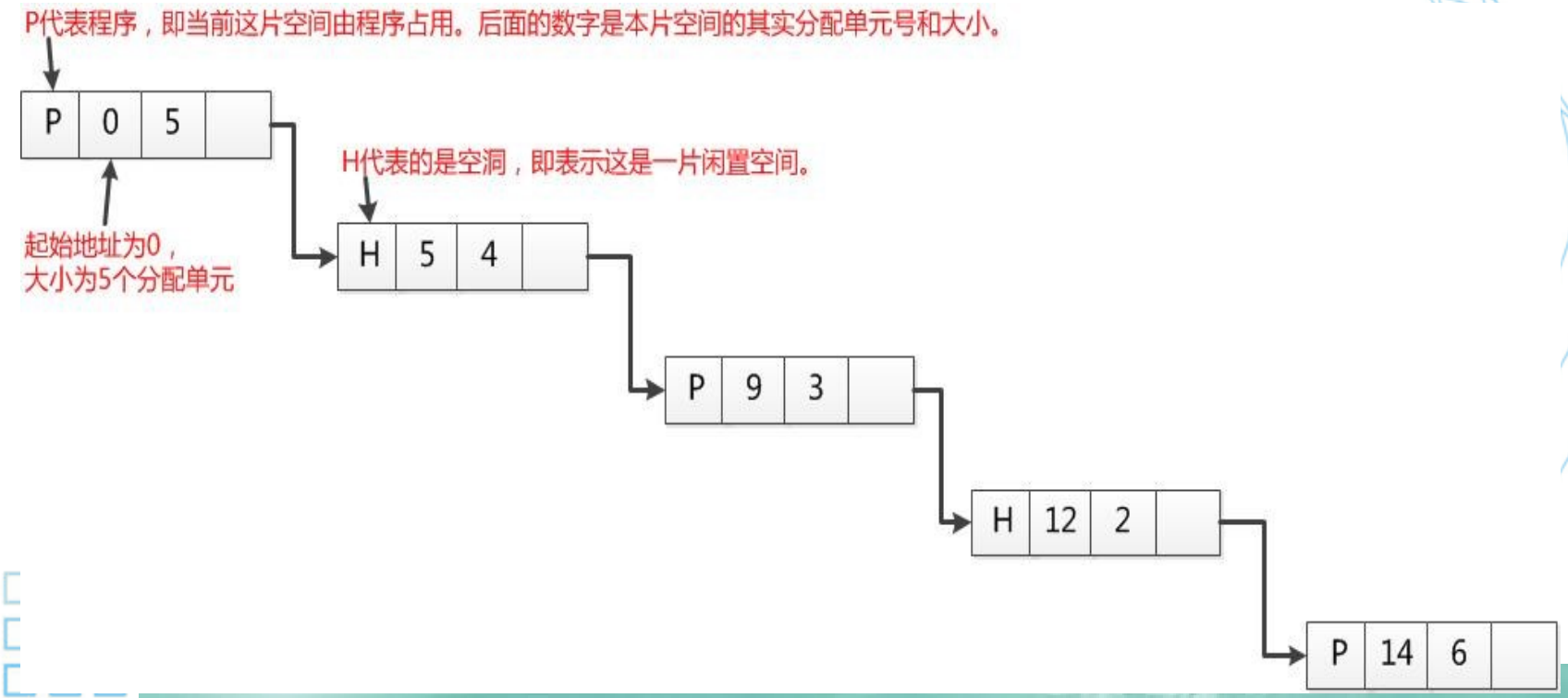
1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1

内存分配位图表示

The Institute of Advanced Computing Technology

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



The Institute of Advanced Computing Technology

两种方法的特点

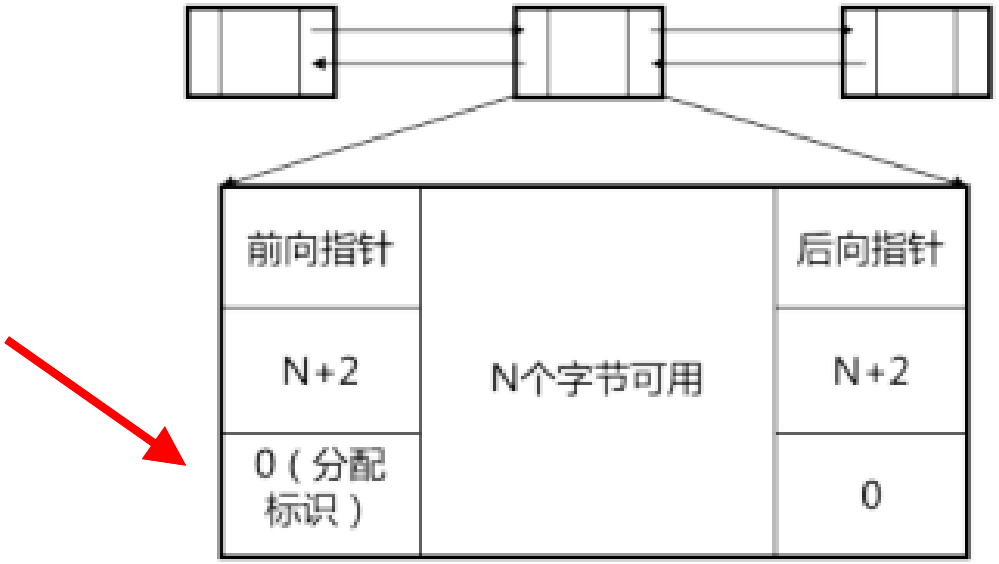
- 位图表示法：
  - 空间成本固定：不依赖于内存中的程序数量。
  - 时间成本低：操作简单，直接修改其位图值即可。
  - 没有容错能力：如果一个分配单元为1，不能肯定应该为1还是因错误变成1。
- 链表表示法：
  - 空间成本：取决于程序的数量。
  - 时间成本：链表扫描通常速度较慢，还要进行链表项的插入、删除和修改。
  - 有一定容错能力：因为链表有被占空间和闲置空间的表项，可以相互验证。

The Institute of Advanced Computing Technology

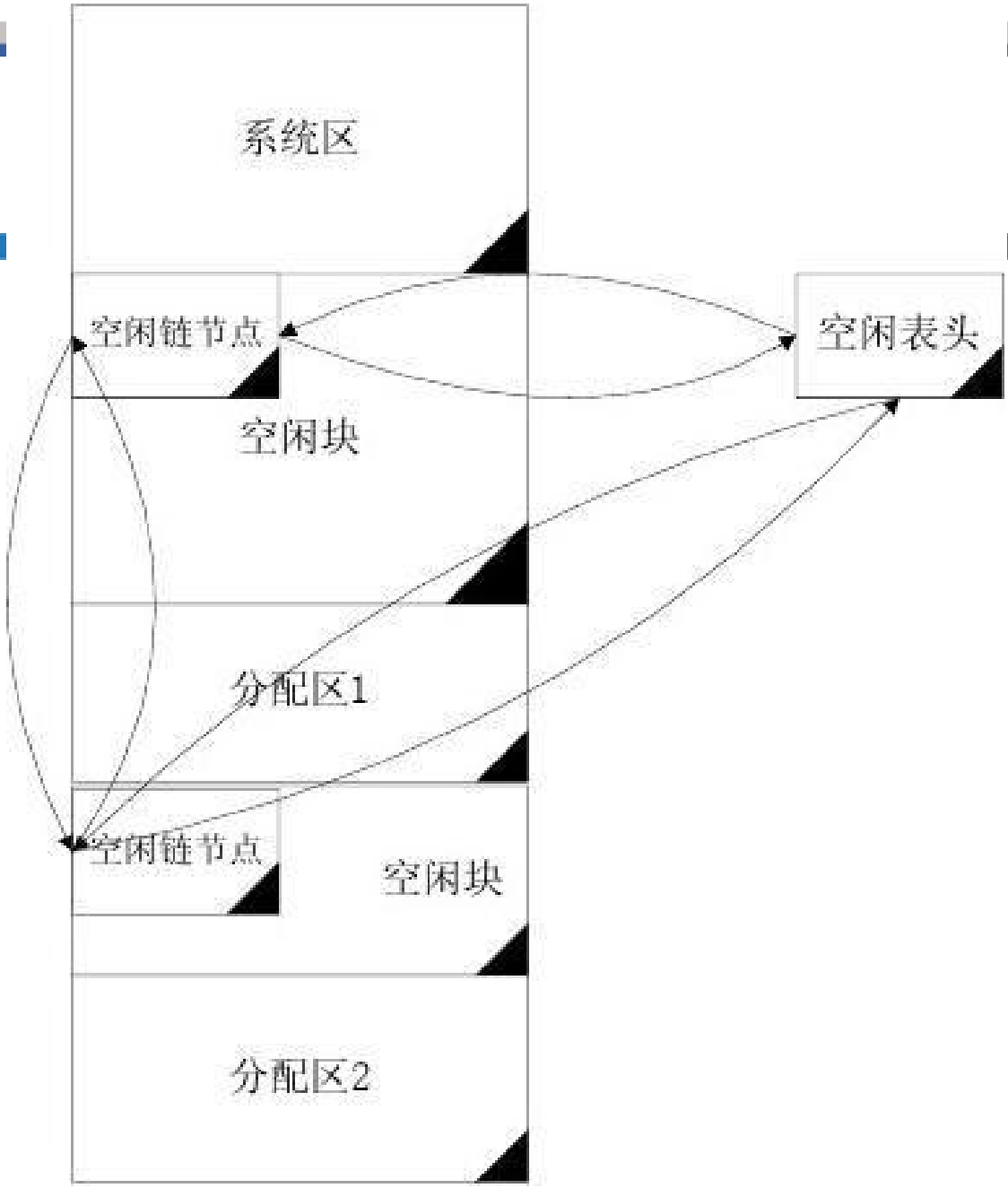
可变分区的管理

- 内存分配采用两张表：已分配分区表和未分配分区表。
- 每张表的表项为存储控制块MCB（Memory Control Block），包括AMCB（Allocated MCB）和FMCB（Free MCB）
- 空闲分区控制块按某种次序构成FMCB链表结构。当分区被分配出去以后，前、后向指针无意义。

分配标识：
0：未分配
1：已分配



The Institute of Advanced Computing Technology



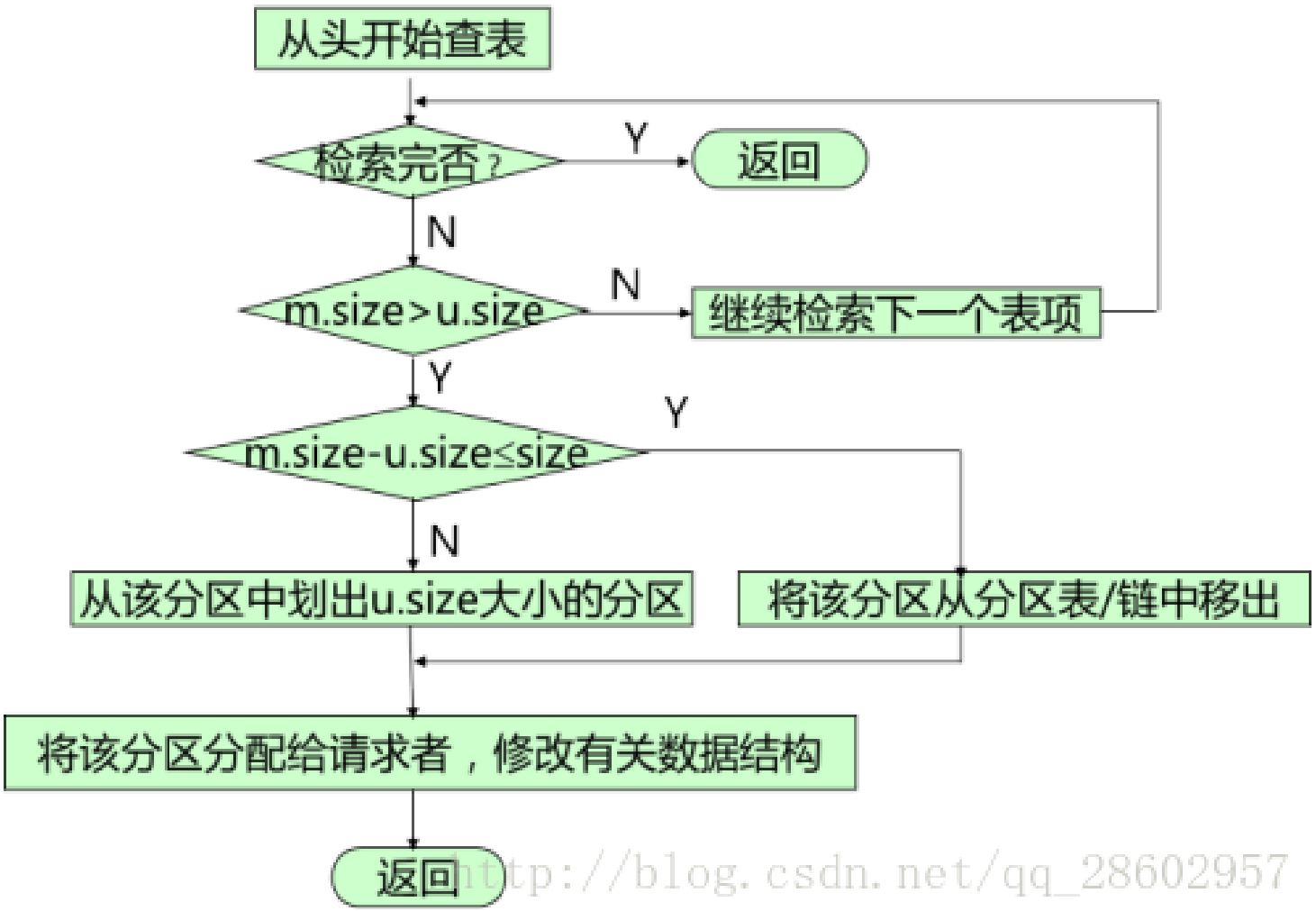
The Institute of Advanced Computing Technology

分区分配操作（分配内存）

分配内存

- 事先规定 size 是不再切割的剩余分区的大小。
- 设请求的分区大小为 u.size，空闲分区的大小为m.size。
- 若 m.size-u.size≤size，将整个分区分配给请求者。
- 否则，从该分区中按请求的大小划分出一块内存空间分配出去，余下的部分仍留在空闲分区表/链中。

The Institute of Advanced Computing Technology



http://blog.csdn.net/qq_28602957

The Institute of Advanced Computing Technology

分区分配操作（回收内存）

- 情况1：回收分区上邻接一个空闲分区，合并后首地址为空闲分区的首地址，大小为二者之和。
- 情况2：回收分区下邻接一个空闲分区，合并后首地址为回收分区的首地址，大小为二者之和。
- 情况3：回收分区上下邻接空闲分区，合并后首地址为上空闲分区的首地址，大小为三者之和。
- 情况4：回收分区不邻接空闲分区，这时在空闲分区表中新建一表项，并填写分区大小等信息。

http://blog.csdn.net/qq_28602957

The Institute of Advanced Computing Technology

基于顺序搜索的分配算法：

1. **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。
2. **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。
3. **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。
4. **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。

The Institute of Advanced Computing Technology

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。

按地址递增的次序排列

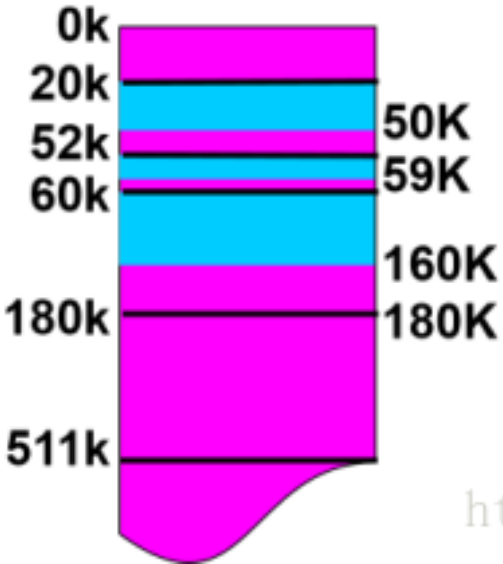
区号	大小	起址	状态
1	32k	20k	未分配
2	8k	52k	未分配
3	120k	60k	未分配
4	331k	180k	未分配

http://blog.csdn.net/qq_28032057

The Institute of Advanced Computing Technology

首次适应算法

- 按首次适应算法，申请作业 100k，分配 3 号分区，剩下分区为 20k，起始地址 160K ；申请作业 30k，分配 1 号分区，剩下分区为 2k，起始地址 50K ；申请作业 7k，分配 2 号分区，剩下分区为 1k，起始地址59K。



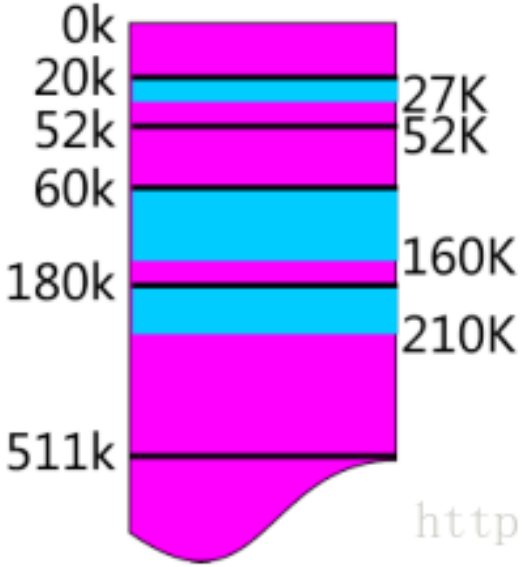
区号	大小	起址	状态
1	2k	50k	未分配
2	1k	59k	未分配
3	20k	160k	未分配
4	331k	180k	未分配

http://blog.csdn.net/qq_28602957

The Institute of Advanced Computing Technology

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；申请作业 30k，分配 4 号分区，剩下分区为301k，起始地址 210K ；申请作业 7k，分配 1 号分区



区号	大小	起址
1	25k	27k
2	8k	52k
3	20k	160k
4	301k	210k

http://blog.csdn.net/qq_28602957

The Institute of Advanced Computing Technology

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

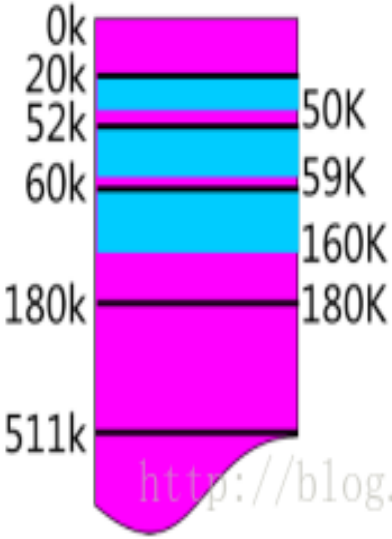
按容量递增的次序重新排列

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

http://blog.csdn.net/qq_28602957

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

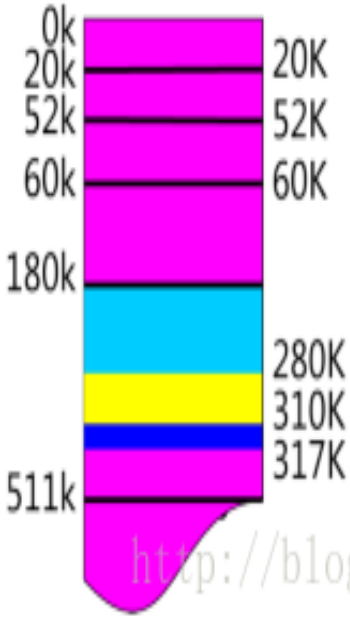
按容量递减的次序重新排列

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

http://blog.csdn.net/qq_28602957

The Institute of Advanced Computing Technology

算法特点

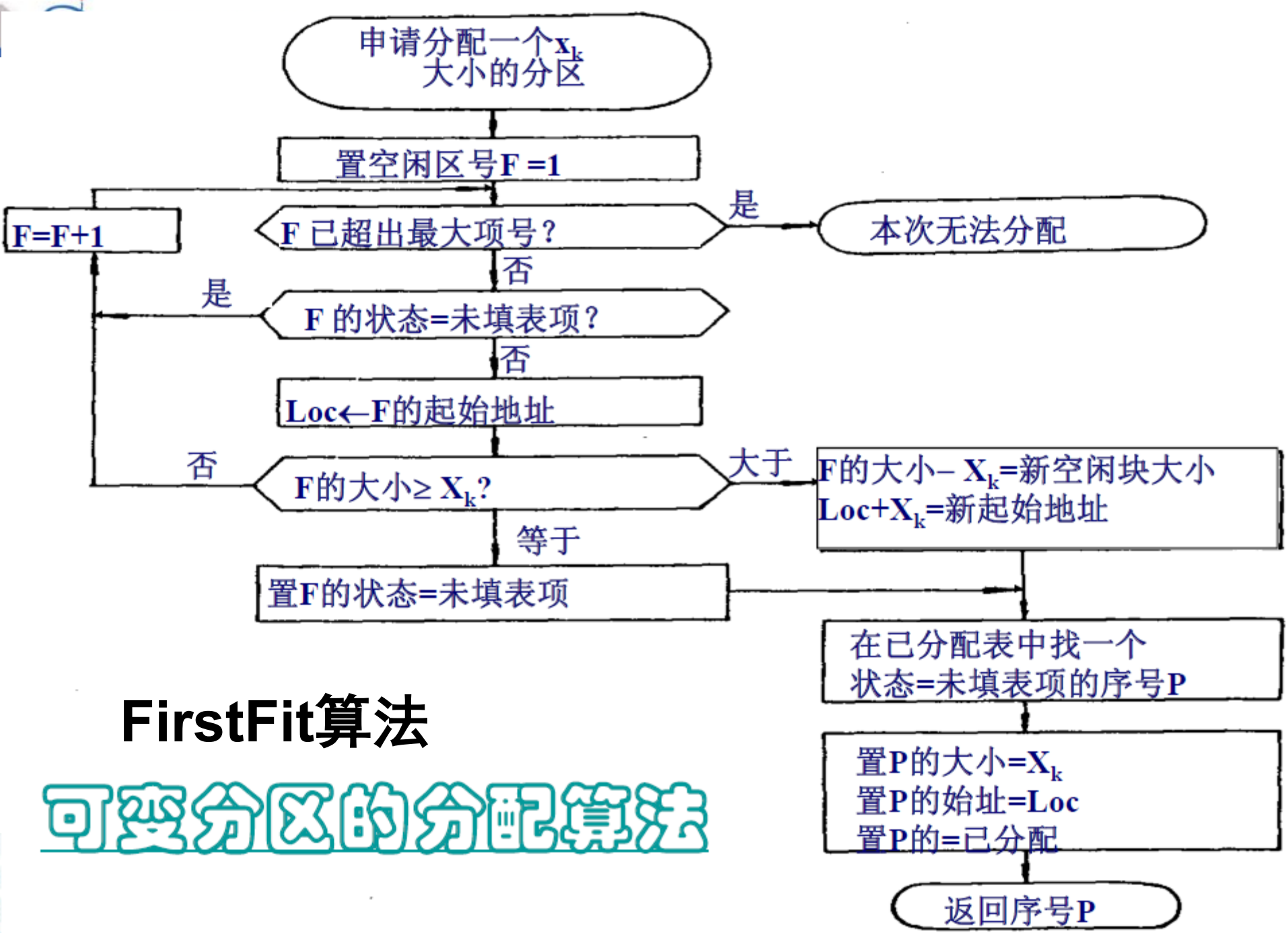
- 首次适应：优先利用内存低地址部分的空闲分区。但由于低地址部分不断被划分，留下许多难以利用的很小的空闲分区（碎片或零头），而每次查找又都是从低地址部分开始，增加了查找可用空闲分区的开销。
- 下次适应：使存储空间的利用更加均衡，不致使小的空闲区集中在存储区的一端，但这会导致缺乏大的空闲分区。

The Institute of Advanced Computing Technology

算法特点

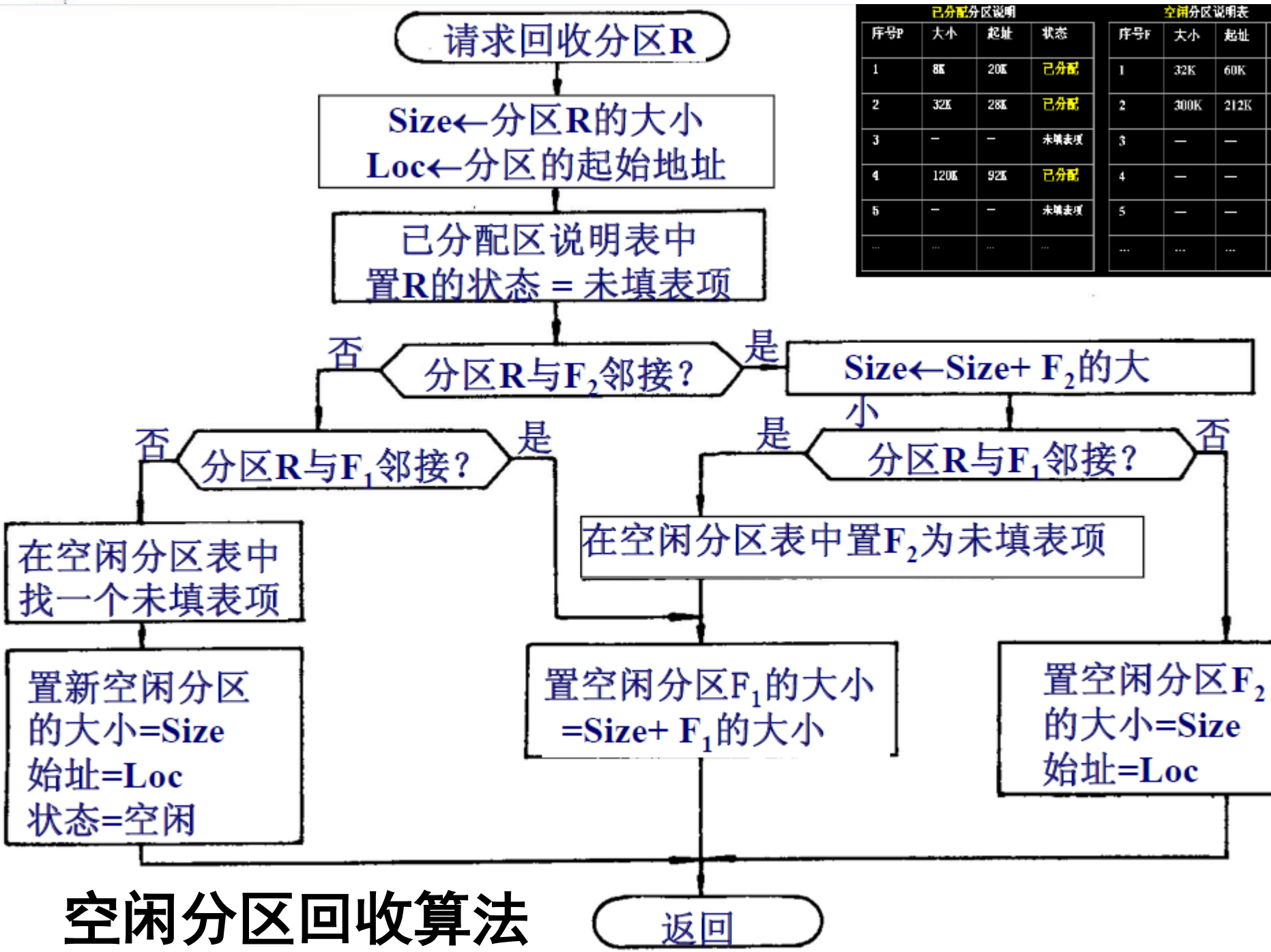
- 最佳适应：若存在与作业大小一致的空闲分区，则它必然被选中，若不存在与作业大小一致的空闲分区，则只划分比作业稍大的空闲分区，从而保留了大的空闲分区。最佳适应算法往往使剩下的空闲区非常小，从而在存储器中留下许多难以利用的小空闲区（碎片）。
- 最坏适应：总是挑选满足作业要求的最大的分区分配给作业。这样使分给作业后剩下的空闲分区也较大，可装下其它作业。由于最大的空闲分区总是因首先分配而划分，当有大作业到来时，其存储空间的申请往往会得不到满足。

The Institute of Advanced Computing Technology



FirstFit算法

可变分区的分配算法



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

基于索引搜索的分配算法

- 基于顺序搜索的动态分区分配算法一般只是适合于较小的系统，如果系统的分区很多，空闲分区表（链）可能很大（很长），检索速度会比较慢。为了提高搜索空闲分区的速度，大中型系统采用了基于索引搜索的动态分区分配算法。

The Institute of Advanced Computing Technology

快速适应算法

- 快速适应算法，又称为分类搜索法，把空闲分区按容量大小进行分类，经常用到长度的空闲区设立单独的空闲区链表。系统为多个空闲链表设立一张管理索引表。

优点：

- 查找效率高，仅需要根据程序的长度，寻找到能容纳它的最小空闲区链表，取下第一块进行分配即可。该算法在分配时，不会对任何分区产生分割，所以能保留大的分区，也不会产生内存碎片。

缺点：

- 在分区归还主存时算法复杂，系统开销较大。在分配空闲分区时是以进程为单位，一个分区只属于一个进程，存在一定的浪费。空间换时间。

The Institute of Advanced Computing Technology

伙伴系统

- 固定分区方式不够灵活，当进程大小与空闲分区大小不匹配时，内存空间利用率很低。
- 动态分区方式算法复杂，回收空闲分区时需要进行分区合并等，系统开销较大。
- 伙伴系统 (buddy system)是介于固定分区与可变分区之间的动态分区技术。
- 伙伴：在分配存储块时将一个大的存储块分裂成两个大小相等的小块，这两个小块就称为“伙伴”。

Linux系统采用。

The Institute of Advanced Computing Technology

伙伴系统

- 伙伴系统规定，无论已分配分区或空闲分区，其大小均为 2 的 k 次幂，k 为整数，$n \le k \le m$，其中：2^n 表示分配的最小分区的大小，2^m 表示分配的最大分区的大小，通常 2^m 是整个可分配内存的大小。
- 在系统运行过程中，由于不断的划分，可能会形成若干个不连续的空闲分区。
- 内存管理模块保持有多个空闲块链表，空闲块的大小可以为 1，2，4，8，…，2^m 字节。

http://blog.csdn.net/qq_28602957

The Institute of Advanced Computing Technology

伙伴系统的内存分配

系统初启时，只有一个最大的空闲块（整个内存）。

当一个长度为 n 的进程申请内存时，系统就分给它一个大于或等于所申请尺寸的最小的 2 的幂次的空闲块。

如果 $2^{i-1} < n \leq 2^i$，则在空闲分区大小为 2^i 的空闲分区链表中查找。

例如，某进程提出的 50KB 的内存请求，将首先被系统向上取整，转化为对一个 64KB 的空闲块的请求。

若找到大小为 2^i 的空闲分区，即把该空闲分区分配给进程。否则表明长度为 2^i 的空闲分区已经耗尽，则在分区大小为 2^{i+1} 的空闲分区链表中寻找。

t/qq_28602957

The Institute of Advanced Computing Technology

伙伴系统的内存分配

若存在 2^{i+1} 的一个空闲分区，把该空闲分区分为相等的两个分区，这两个分区称为一对伙伴，其中的一个分区用于分配，另一个加入大小为 2^i 的空闲分区链表中。

若大小为 2^{i+1} 的空闲分区也不存在，需要查找大小为 2^{i+2} 的空闲分区，若找到则对其进行两次分割：第一次，将其分割为大小为 2^{i+1} 的两个分区，一个用于分割，一个加入到大小为 2^{i+1} 的空闲分区链表中；第二次，将用于分割的空闲区分割为 2^i 的两个分区，一个用于分配，一个加入到大小为 2^i 的空闲分区链表中。

若仍然找不到，则继续查找大小为 2^{i+3} 的空闲分区，以此类推。

http://blog.csdn.net/qq_28602957

The Institute of Advanced Computing Technology

伙伴系统的内存释放

首先考虑将被释放块与其伙伴合并成一个大的空闲块，然后继续合并下去，直到不能合并为止。

例如：回收大小为 2^i 的空闲分区时，若事先已存在 2^i 的空闲分区时，则应将其与伙伴分区合并为大小为 2^{i+1} 的空闲分区，若事先已存在 2^{i+1} 的空闲分区时，又应继续与其伙伴分区合并为大小为 2^{i+2} 的空闲分区，依此类推。

如果有两个存储块大小相同，地址也相邻，但不是由同一个大块分裂出来的（不是伙伴），则不会被合并起来。

The Institute of Advanced Computing Technology

一个例子

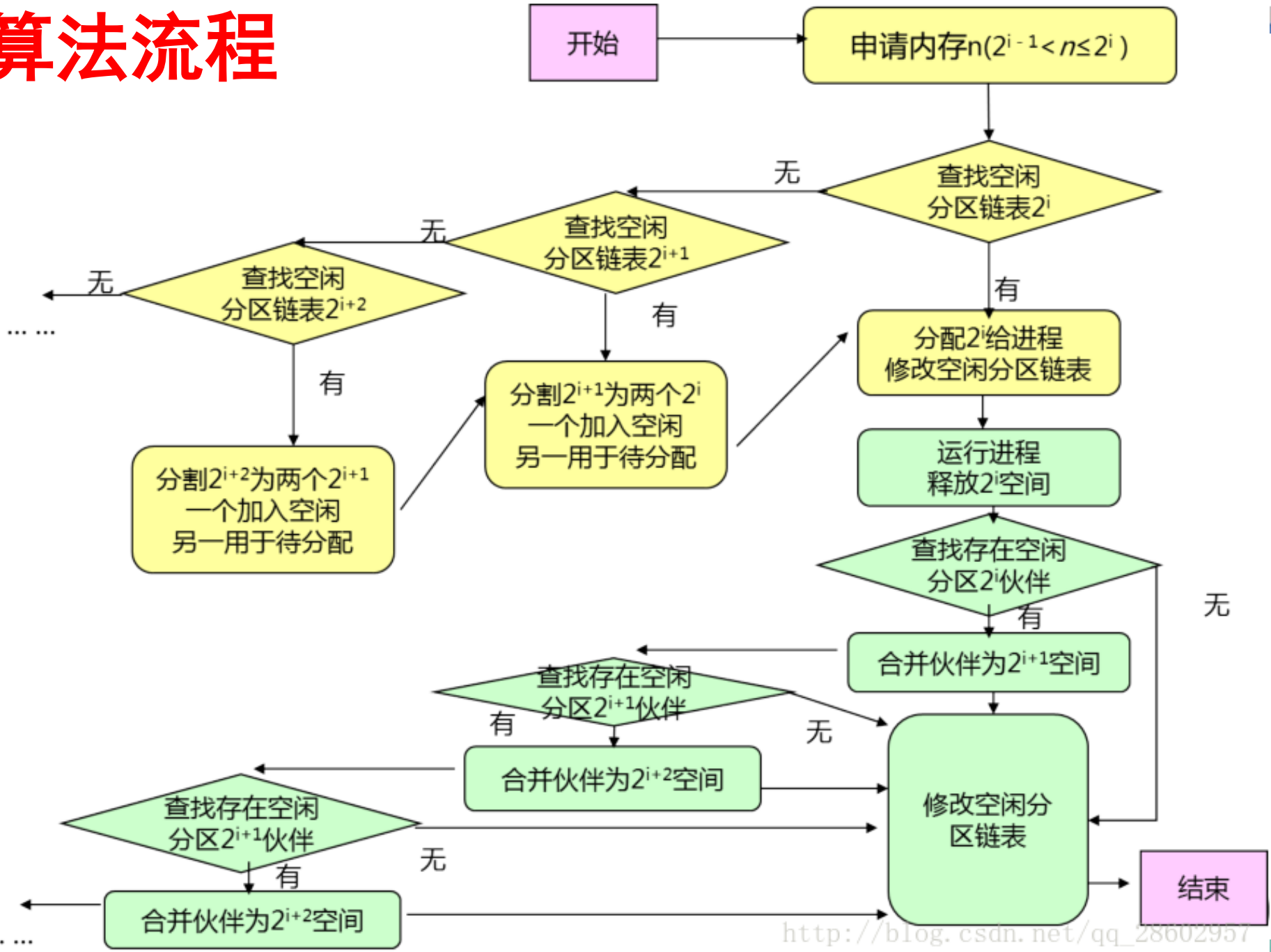
伙伴系统示例（1M 内存）

Action	Memory					
Start	1M					
A请求150kb	A	256k			512k	
B请求100kb	A	B	128k		512k	
C请求50kb	A	B	C	64k	512k	
释放B	A	128k	C	64k	512k	
D请求200kb	A	128k	C	64k	D	256k
E请求60kb	A	128k	C	E	D	256k
释放C	A	128k	64k	E	D	256k
释放A	256k	128k	64k	E	D	256k
释放E	512k				D	256k
释放D	1M					

http://blog.csdn.net/qq_28602957

The Institute of Advanced Computing Technology

算法流程



http://blog.csdn.net/qq_28602957

伙伴系统特点

伙伴系统利用计算机二进制数寻址的优点，加速了相邻空闲分区的合并。

当一个 2^i 字节的块释放时，只需搜索 2^i 字节的块，而其它算法则必须搜索所有的块，伙伴系统速度更快。

伙伴系统的缺点：不能有效地利用内存。进程的大小不一定是 2 的整数倍，由此会造成浪费，内部碎片严重。例如，一个 257KB 的进程需要占用一个 512KB 的分配单位，将产生 255KB 的内部碎片。

伙伴系统不如基于分页和分段的虚拟内存技术有效。

伙伴系统目前应用于 Linux 系统和多处理机系统。

http://blog.csdn.net/u012502957

The Institute of Advanced Computing Technology