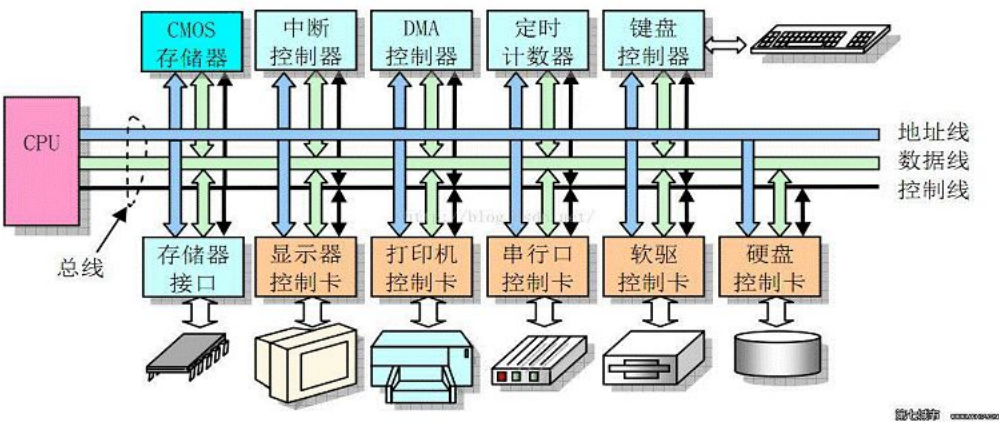


# 深入理解 Linux 内存子系统

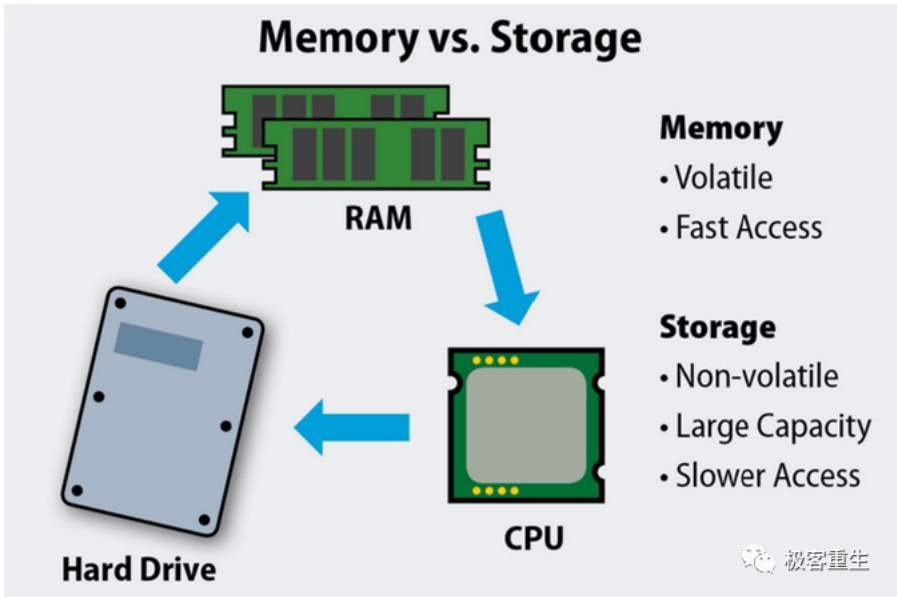


## 开源前哨

点击获取10万+ star的开发资源库。 日常分享热门、有趣和实用的开源项目 ~ 153篇原创内容



Linux 内存是后台开发人员，需要深入了解的计算机资源。合理的使用内存，有助于提升机器的性能和稳定性。本文主要介绍 Linux 内存组织结构和页面布局，内存碎片产生原因和优化算法，Linux 内核几种内存管理的方法，内存使用场景以及内存使用的那些坑。从内存的原理和结构，到内存的算法优化，再到使用场景，去探寻内存管理的机制和奥秘。

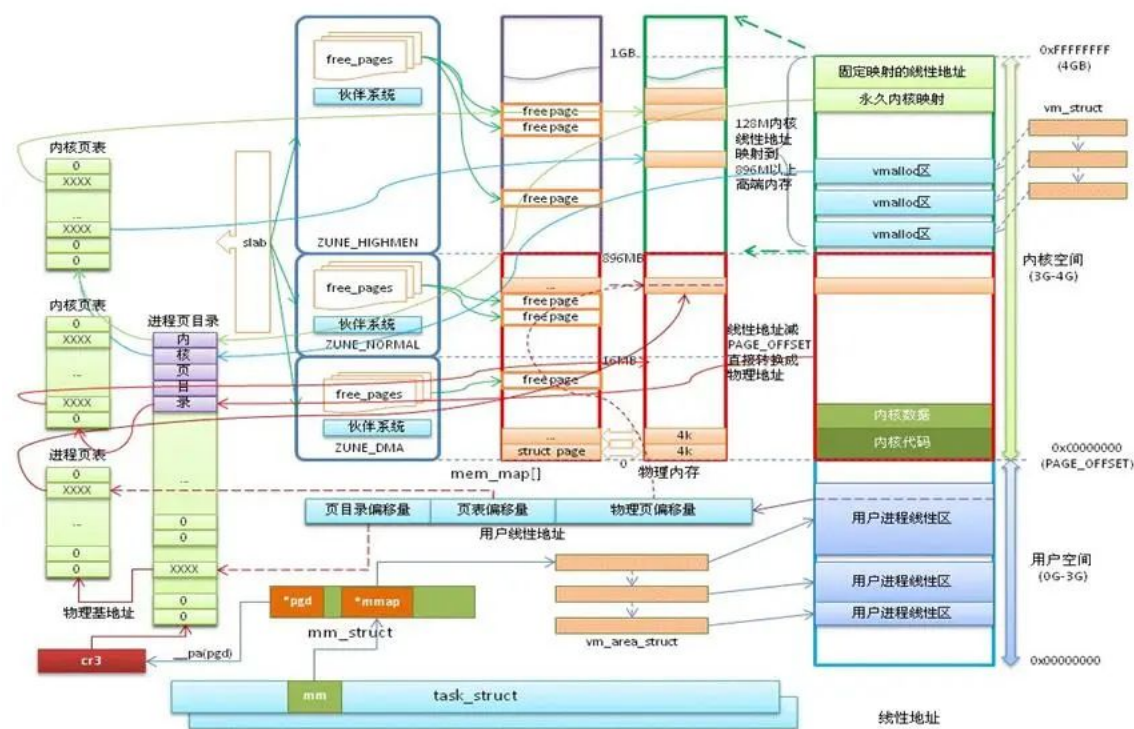


- 1) 内存又称主存，是 CPU 能直接寻址的存储空间，由半导体器件制成；
- 2) 内存的特点是存取速率快，断电一般不保存数据，非持久化设备；
- 1) 暂时存放 cpu 的运算数据
- 2) 硬盘等外部存储器交换的数据

3) 保障 cpu 计算的稳定性和高性能

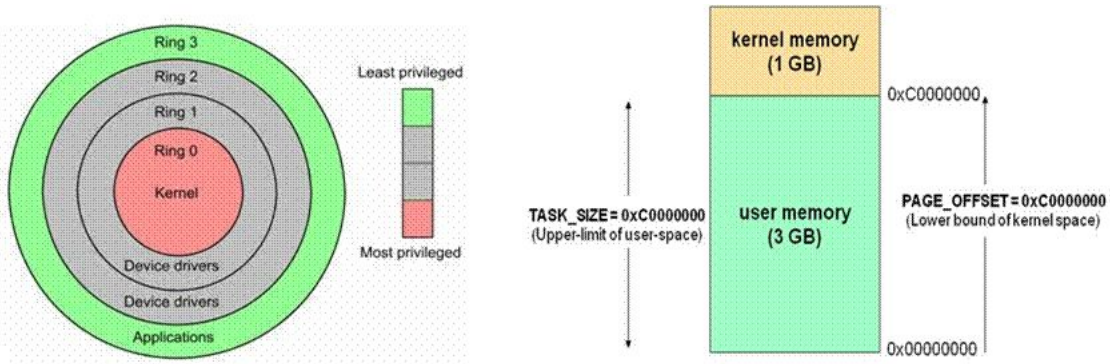
计算机各级存储器	典型存储容量	典型访问时间
可移动存储介质	几百GB~几TB	几ms~几十ms
硬盘	几百GB~几TB	3ms~15ms
内存	几百MB~几十GB	100ns~150ns
二级cache	几百KB~几MB	40ns~60ns
一级cache	几十B~几百KB	5ns~10ns
寄存器	几十B~几百B	1ns

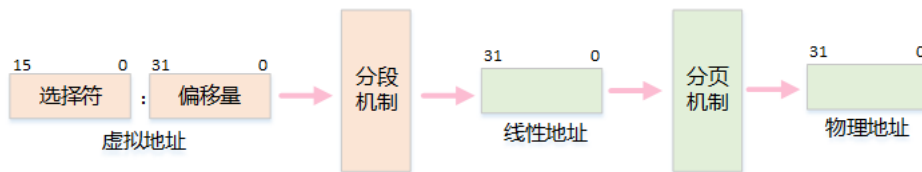
1、linux 内存地址空间 Linux 内存管理全貌



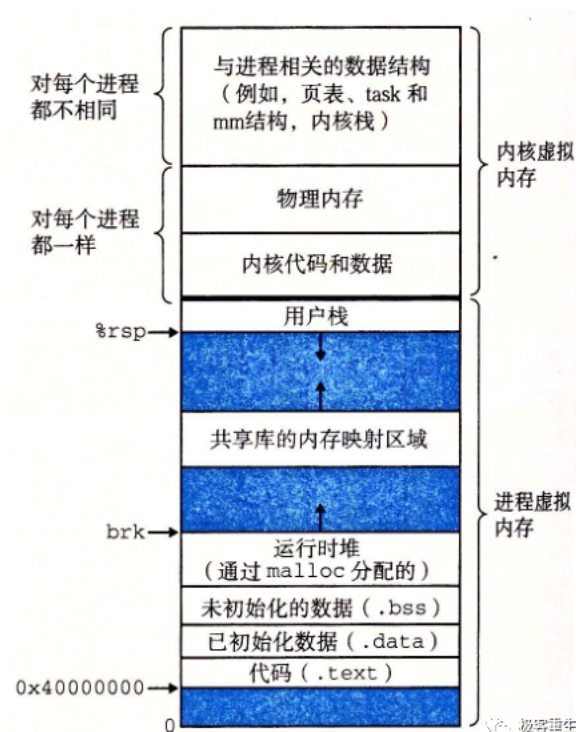
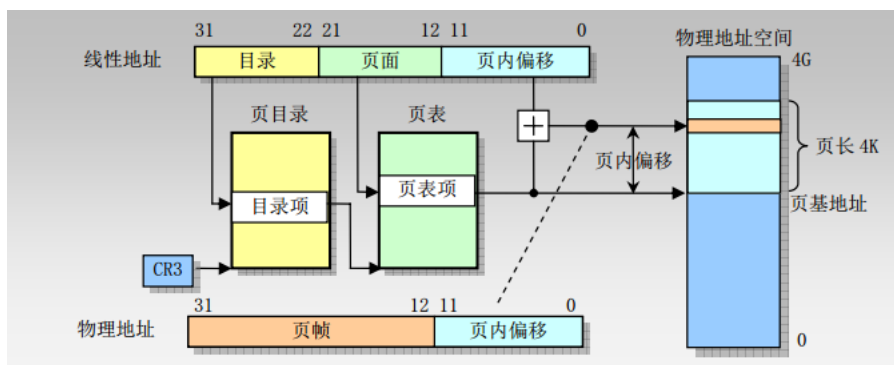
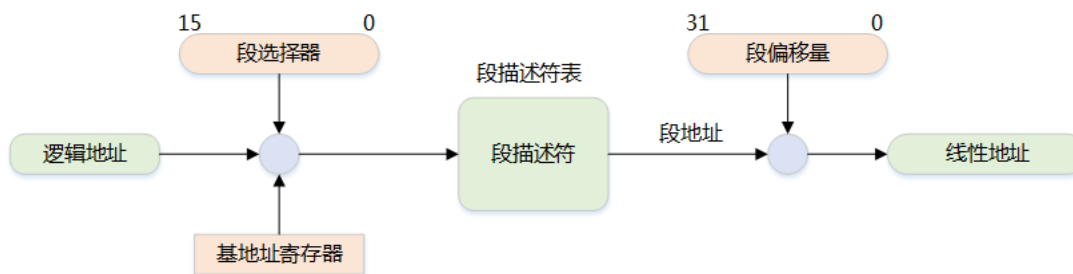
2、内存地址—用户态&内核态

- 用户态: Ring3 运行于用户态的代码则要受到处理器的诸多
- 内核态: Ring0 在处理器存储保护中, 核心态
- 用户态切换到内核态的 3 种方式: 系统调用、异常、外设中断
- 区别: 每个进程都有完全属于自己的, 独立的, 不被干扰的内存空间; 用户态的程序就不能随意操作内核地址空间, 具有一定的安全保护作用; 内核态线程共享内核地址空间;



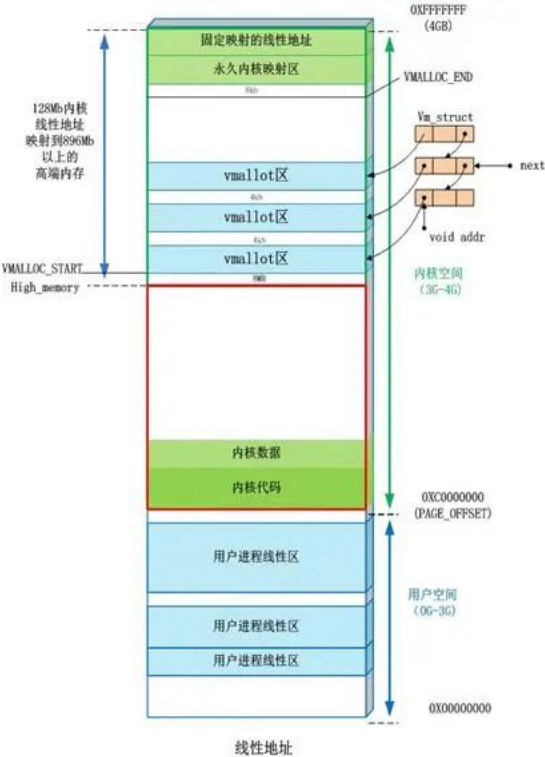


- 为了方便快速检索段选择符，处理器提供了 6 个分段寄存器来缓存段选择符，它们是：cs,ss,ds,es,fs 和 gs
- 段的基地址(Base Address)：在线性地址空间中段的起始地址
- 段的界限(Limit)：在虚拟地址空间中，段内可以使用的最大偏移量
- 逻辑地址的段寄存器中的值提供段描述符，然后从段描述符中得到段基址和段界限，然后加上逻辑地址的偏移量，就得到了线性地址

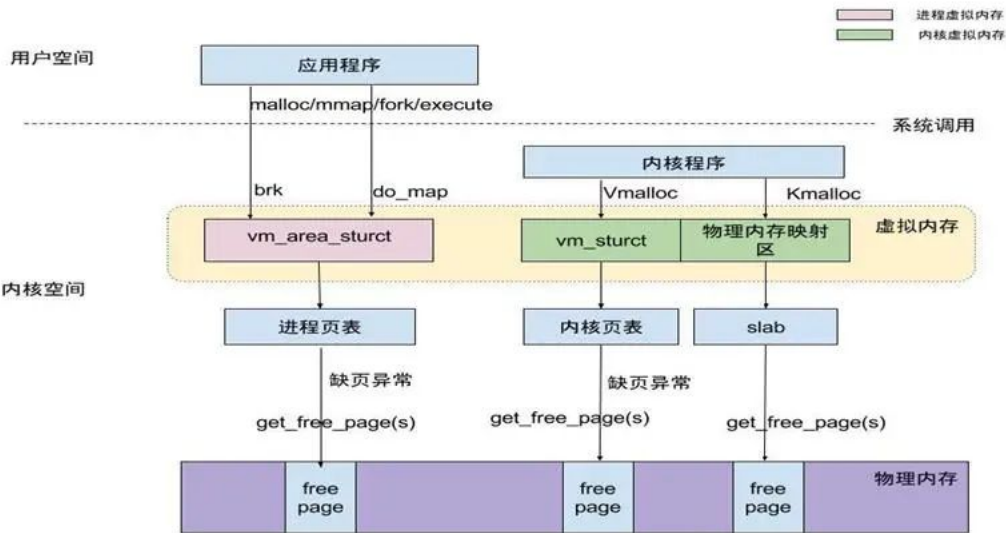


- text: 代码段可执行代码、字符串面值、只读变量
- data: 数据段，映射程序中已经初始化的全局变量

- **bss**: 存放程序中未初始化的全局变量
- **heap**: 运行时的堆, 在程序运行中使用 malloc 申请的内存区域
- **mmap**: 共享库及匿名文件的映射区域
- **stack**: 用户进程栈

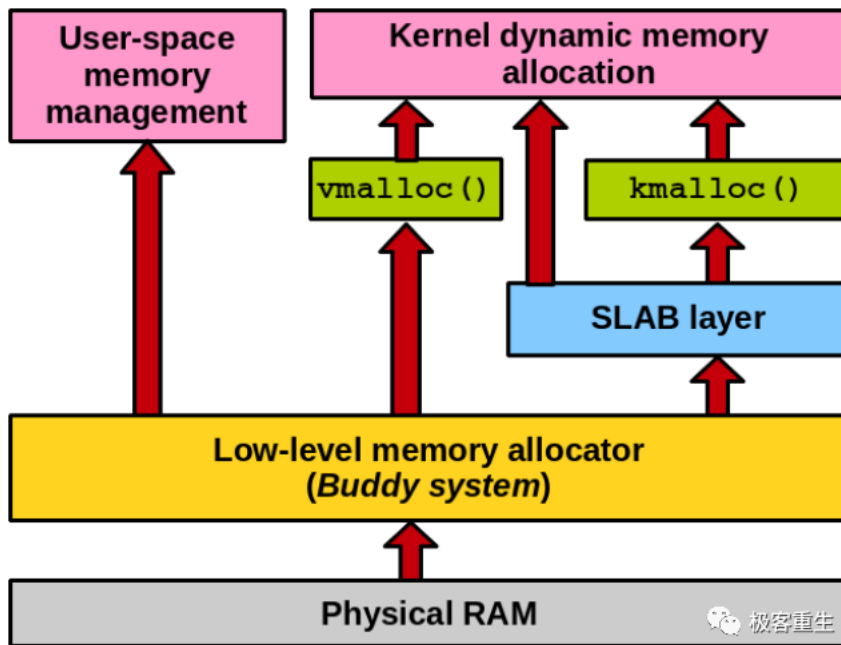


- **直接映射区**: 线性空间中从 3G 开始最大 896M 的区间, 为直接内存映射区
- **动态内存映射区**: 该区域由内核函数 vmalloc 来分配
- **永久内存映射区**: 该区域可访问高端内存
- **固定映射区**: 该区域和 4G 的顶端只有 4k 的隔离带, 其每个地址项都服务于特定的用途, 如: ACPI\_BASE 等



内存管理算法——对讨厌自己管理内存的人来说是天赐的礼物

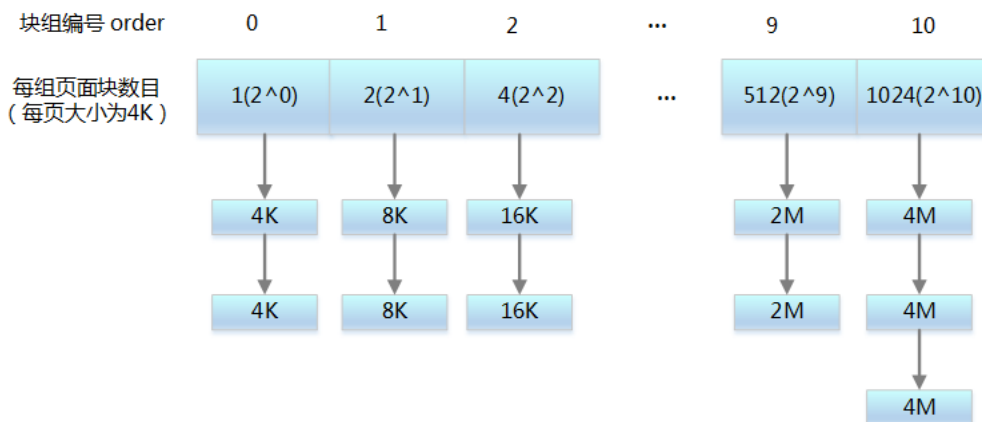




- 产生原因：内存分配较小，并且分配的这些小的内存生存周期又较长，反复申请后将产生内存碎片的出现
- 优点：提高分配速度，便于内存管理，防止内存泄露
- 缺点：大量的内存碎片会使系统缓慢，内存使用率低，浪费大

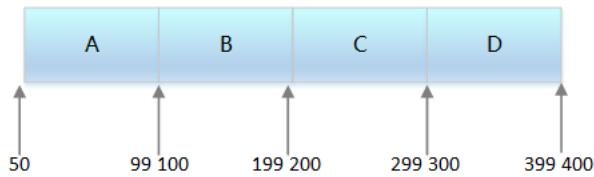
## 2) 如何避免内存碎片

- 少用动态内存分配的函数(尽量使用栈空间)
- 分配内存和释放的内存尽量在同一个函数中
- 尽量一次性申请较大的内存，而不要反复申请小内存
- 尽可能申请大块的 2 的指数幂大小的内存空间
- 外部碎片避免—伙伴系统算法
- 内部碎片避免—slab 算法
- 自己进行内存管理工作，设计内存池
- 为内核提供了一种用于分配一组连续的页而建立的一种高效的分配策略，并有效的解决了外碎片问题
- 分配的内存区是以页框为基本单位



- 申请  $2^i$  个页块存储空间，如果  $2^i$  对应的块链表有空闲页块，则分配给应用
- 如果没有空闲页块，则查找  $2^{(i-1)}$  对应的块链表是否有空闲页块，如果有，则分配  $2^i$  块链表节点给应用，另外  $2^i$  块链表节点插入到  $2^i$  对应的块链表中
- 如果  $2^{(i-1)}$  块链表中没有空闲页块，则重复步骤 2，直到找到有空闲页块的块链表
- 如果仍然没有，则返回内存分配失败

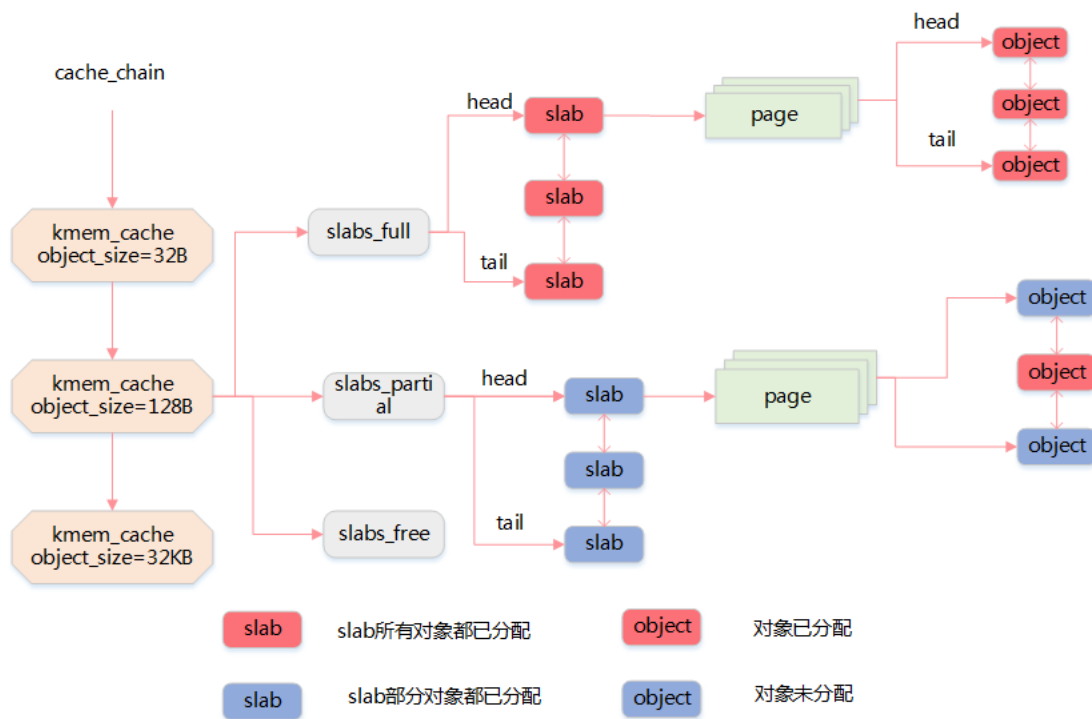
伙伴关系：A&B, B&C, C&D  
非伙伴关系：A&C, A&D, B&D

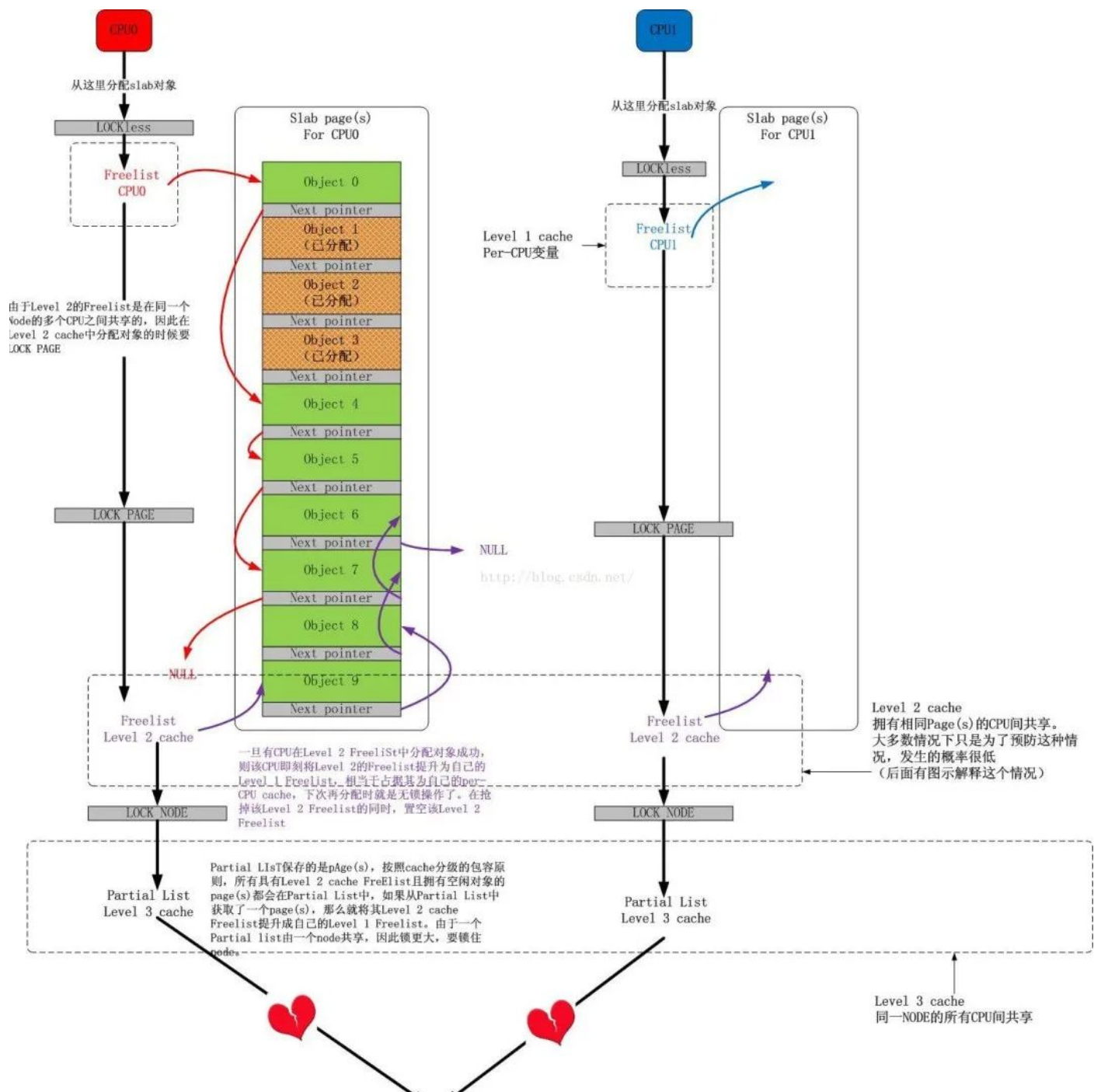


### 1) 为何限制大块内存分配

### 2) 内核中获取 4M 以上大内存的方法

- 修改 MAX\_ORDER, 重新编译内核
- 内核启动选型传递"mem="参数, 如"mem=80M, 预留部分内存; 然后通过
- request\_mem\_region 和 ioremap\_nocache 将预留的内存映射到模块中。需要修改内核启动参数, 无需重新编译内核。但这种方法不支持 x86 架构, 只支持 ARM, PowerPC 等非 x86 架构
- 在 start\_kernel 中 mem\_init 函数之前调用 alloc\_boot\_mem 函数预分配大块内存, 需要重新编译内核
- vmalloc 函数, 内核代码使用它来分配在虚拟内存中连续但在物理内存中不一定连续的内存
- 这些页在内存中有固定的位置, 不能够移动, 也不可回收
- 内核代码段, 数据段, 内核 kmalloc() 出来的内存, 内核线程占用的内存等
- 这些页不能移动, 但可以删除。内核在回收页占据了太多的内存时或者内存短缺时进行页面回收
- 3) 可移动页
- 这些页可以任意移动, 用户空间应用程序使用的页都属于该类别。它们是通过页表映射的
- 当它们移动到新的位置, 页表项也会相应的更新
- Linux 所使用的 slab 分配器的基础是 Jeff Bonwick 为 SunOS 操作系统首次引入的一种算法
- 它的基本思想是将内核中经常使用的对象放到高速缓存中, 并且由系统保持为初始的可利用状态。比如进程描述符, 内核中会频繁对此数据进行申请和释放
- 已经被分配出去的内存空间大于请求所需的内存空间
- 3) 基本目标
- 减少伙伴算法在分配小块连续内存时所产生的内部碎片
- 将频繁使用的对象缓存起来, 减少分配、初始化和释放对象的时间开销
- 通过着色技术调整对象以更好的使用硬件高速缓存





## 1) 普通高速缓存

- slab 分配器所提供的小块连续内存的分配是通过通用高速缓存实现的
- 通用高速缓存所提供的对象具有几何分布的大小, 范围为 32 到 131072 字节。
- 内核中提供了 `kmalloc()` 和 `kfree()` 两个接口分别进行内存的申请和释放

## 2) 专用高速缓存

- 内核为专用高速缓存的申请和释放提供了一套完整的接口, 根据所传入的参数为具体的对象分配 slab 缓存
- `kmem_cache_create()` 用于对一个指定的对象创建高速缓存。它从 `cache_cache` 普通高速缓存中为新的专用缓存分配一个高速缓存描述符, 并把这个描述符插入到高速缓存描述符形成的 `cache_chain` 链表中
- `kmem_cache_alloc()` 在其参数所指定的高速缓存中分配一个 slab。相反, `kmem_cache_free()` 在其参数所指定的高速缓存中释放一个 slab

## 9、内核态内存池

### 1) 基本原理

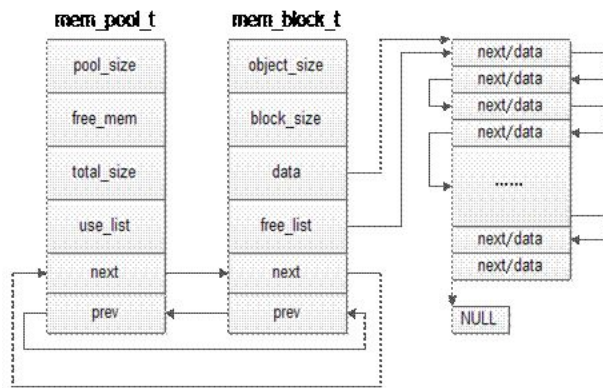
- 先申请分配一定数量的、大小相等(一般情况下) 的内存块留作备用



- 当有新的内存需求时，就从内存池中分出一部分内存块，若内存块不够再继续申请新的内存
- 这样做的一个显著优点是尽量避免内存碎片，使得内存分配效率得到提升

## 2) 内核 API

- mempool\_create 创建内存池对象
- mempool\_alloc 分配函数获得该对象
- mempool\_free 释放一个对象
- mempool\_destroy 销毁内存池



## 10、用户态内存池

### 1) C++ 实例

```
template <int N>
class heappool
{
private:
    typedef struct { char data[N]; } block_type;
    block_type* ptr;
private:
    static size_t count;
    static std::list<block_type*> L;
public:
    heappool() {
        if(L.empty()) ptr=new block_type; else { ptr=L.back(); L.pop_back(); }
    }
    ~heappool() {
        L.push_back(ptr); if(L.size()>count) { delete L.front(); L.pop_front(); }
    }
    static void set_block_count(size_t cnt) {count=cnt;}
public:
    char* data() {return (char*)ptr;}
    size_t size() {return N;}
};
```

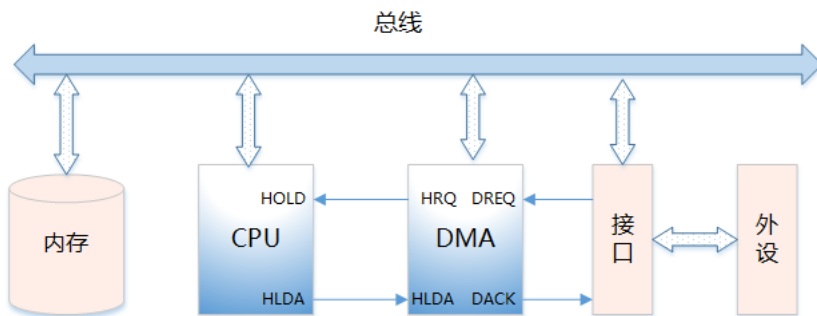
## 11、DMA 内存

### 1) 什么是 DMA

- 直接内存访问是一种硬件机制，它允许外围设备和主内存之间直接传输它们的 I/O 数据，而不需要系统处理器的参与
- 2) DMA 控制器的功能
- 能向 CPU 发出系统保持 (HOLD) 信号，提出总线接管请求
- 当 CPU 发出允许接管信号后，负责对总线的控制，进入 DMA 方式
- 能对存储器寻址及能修改地址指针，实现对内存的读写操作
- 能决定本次 DMA 传送的字节数，判断 DMA 传送是否结束
- 发出 DMA 结束信号，使 CPU 恢复正常工作状态

### 2) DMA 信号

- DREQ: DMA 请求信号。是外设向 DMA 控制器提出要求，DMA 操作的申请信号
- DACK: DMA 响应信号。是 DMA 控制器向提出 DMA 请求的外设表示已收到请求和正进行处理的信号
- HRQ: DMA 控制器向 CPU 发出的信号，要求接管总线的请求信号。
- HLDA: CPU 向 DMA 控制器发出的信号，允许接管总线的应答信号：



## 四、内存使用场景

out of memory 的时代过去了吗? no, 内存再充足也不可任性使用。

### 1、内存的使用场景

- page 管理
- slab (kmalloc、内存池)
- 用户态内存使用 (malloc、realloc 文件映射、共享内存)
- 程序的内存 map (栈、堆、code、data)
- 内核和用户态的数据传递 (copy\_from\_user、copy\_to\_user)
- 内存映射 (硬件寄存器、保留内存)
- DMA 内存

### 2、用户态内存分配函数

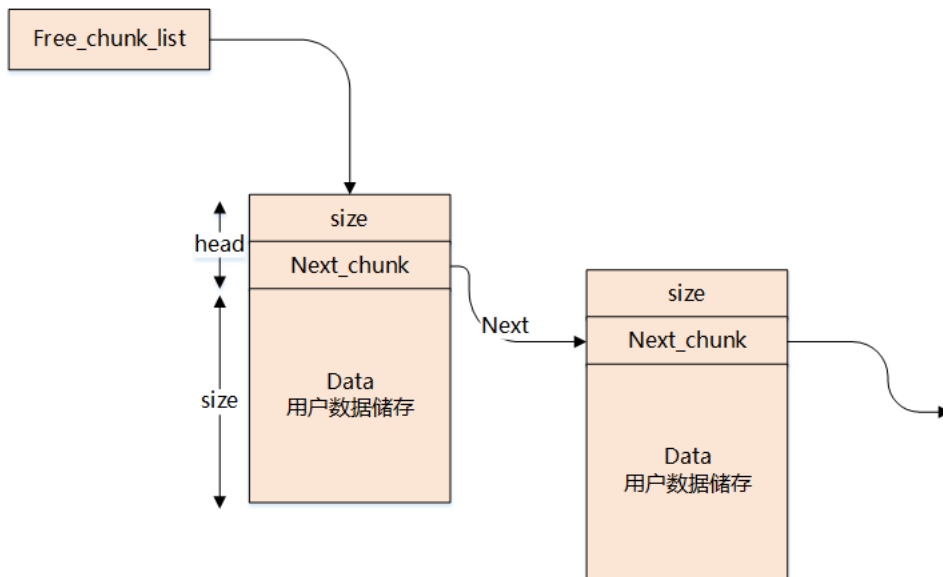
- **alloca** 是向栈申请内存, 因此无需释放
  - **malloc** 所分配的内存空间未被初始化, 使用 malloc() 函数的程序开始时 (内存空间还没有被重新分配) 能正常运行, 但经过一段时间后 (内存空间已被重新分配) 可能会出现问题
  - **calloc** 会将所分配的内存空间中的每一位都初始化为零
  - **realloc** 扩展现有内存空间大小
- a) 如果当前连续内存块足够 realloc 的话, 只是将 p 所指向的空间扩大, 并返回 p 的指针地址。这个时候 q 和 p 指向的地址是一样的
- b) 如果当前连续内存块不够长度, 再找一个足够长的地方, 分配一块新的内存, q, 并将 p 指向的内容 copy 到 q, 返回 q。并将 p 所指向的内存空间删除
- **mmap** 将一个文件或者其它对象映射进内存, 多进程可访问

### 3、内核态内存分配函数

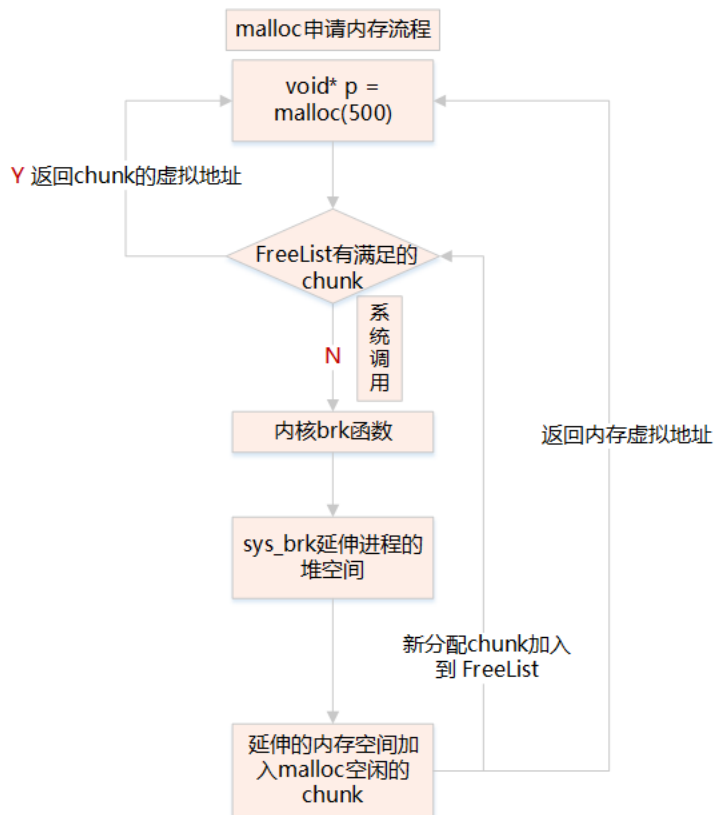
- **get\_free\_pages** 直接对页框进行操作, 适用于分配大量的连续物理内存
- **kmem\_cache\_alloc** 基于 slab 机制实现, 适合需要频繁申请释放相同大小内存块, kmalloc 基于 kmem\_cache\_alloc 实现 128KB 最常见的分配方式, 需要小于页框大小的内存时可以使用
- **vmalloc** 建立非连续物理内存到虚拟地址的映射物理不连续, 适合需要大内存, 但是对地址连续性没有要求的场合
- **dma\_alloc\_coherent** 基于 \_alloc\_pages 实现 4MB 适用于 DMA 操作 **ioremap** 实现已知物理地址到虚拟地址的映射, 适用于物理地址已知的场合, 如设备驱动 **alloc\_bootmem** 在启动 kernel 时, 预留一段内存, 内核看不见小于物理内存大小, 内存管理要求较高

### 4、malloc 申请内存

- 调用 malloc 函数时, 它沿 free\_chunk\_list 连接表寻找一个大到足以满足用户请求所需要的内存块

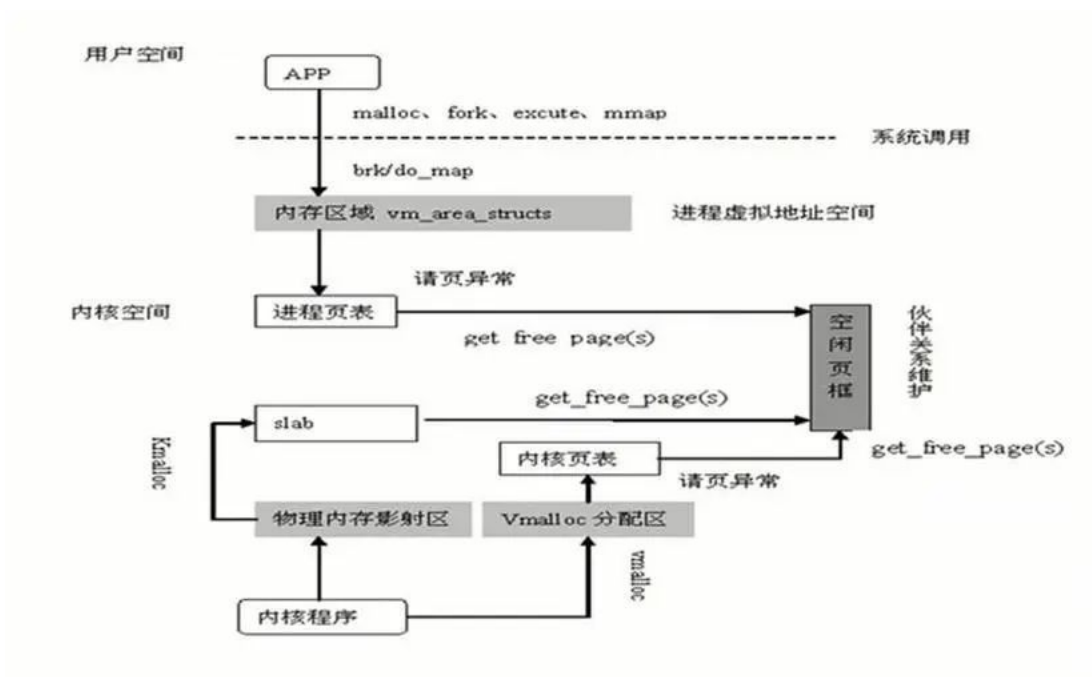


- free\_chunk\_list 连接表的主要工作是维护一个空闲的堆空间缓冲区链表
- 如果空间缓冲区链表没有找到对应的节点，需要通过系统调用 `sys_brk` 延伸进程的堆空间



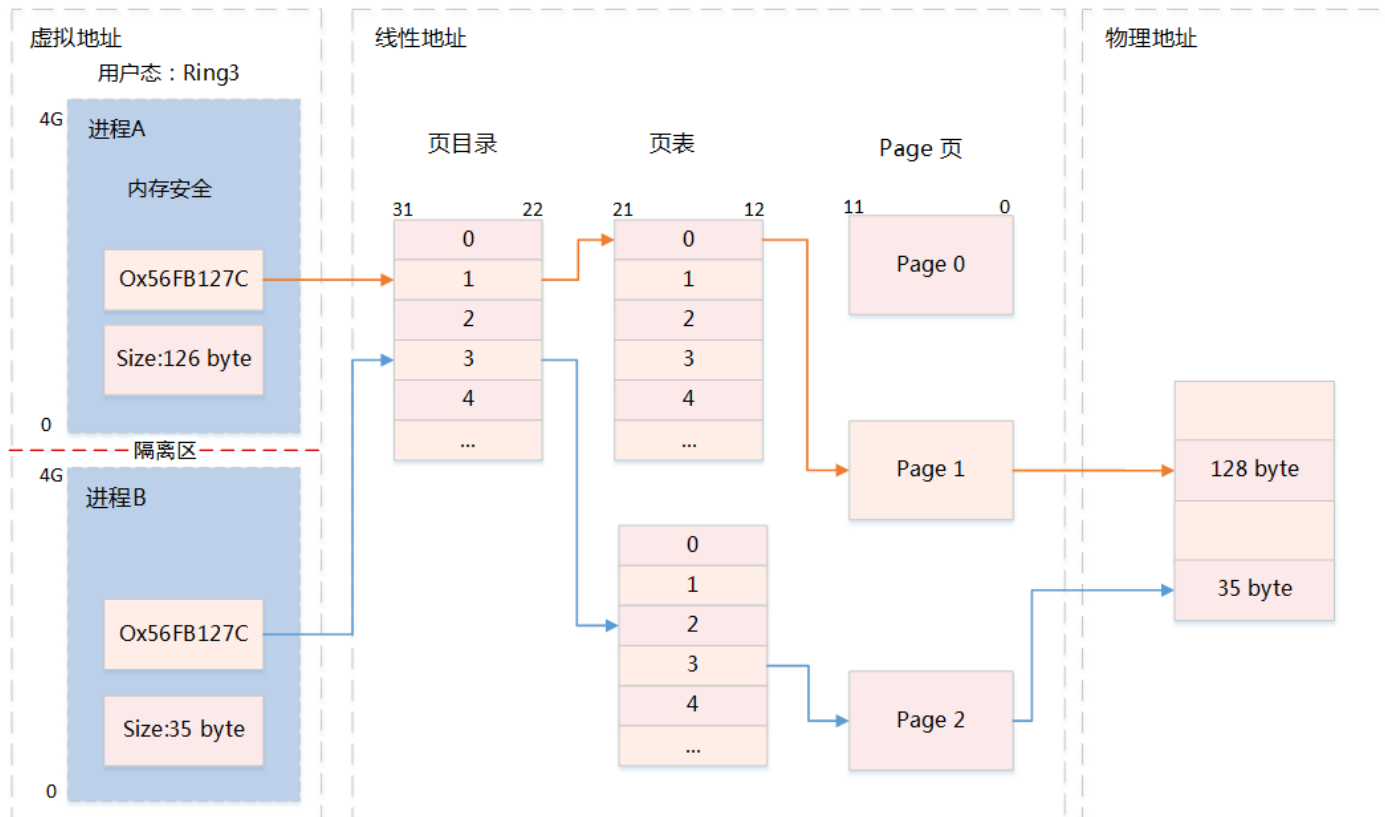
## 5、缺页异常

- 通过 `get_free_pages` 申请一个或多个物理页面，换算 `addr` 在进程 `pdg` 映射中所在的 `pte` 地址，将 `addr` 对应的 `pte` 设置为物理页面的首地址
- 系统调用：`Brk`-申请内存小于等于 128kb，`do_map`-申请内存大于 128kb



## 6、用户进程访问内存分析

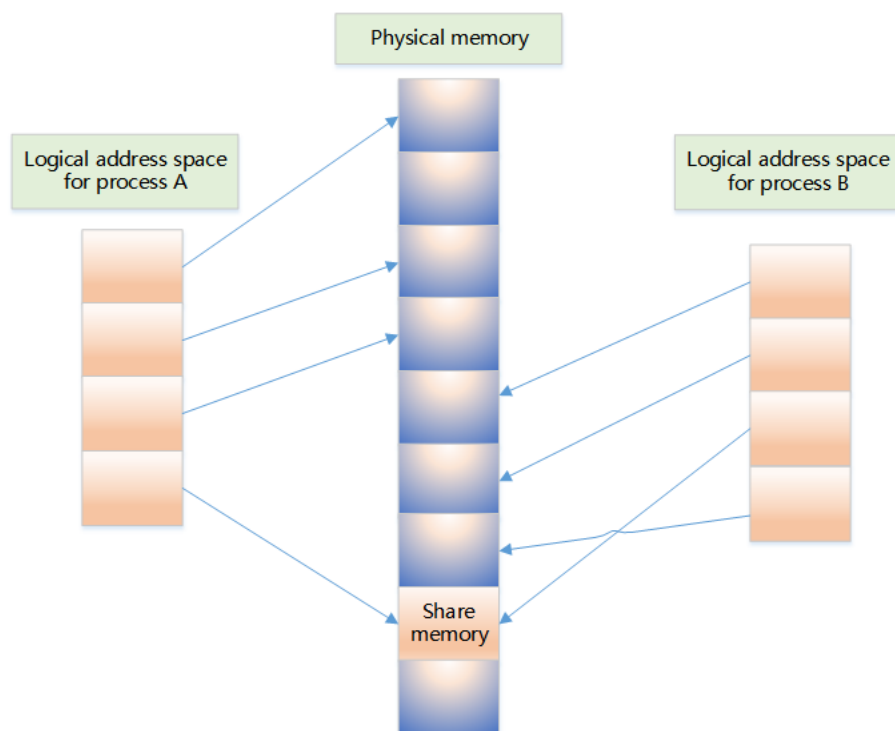
- 用户态进程独占虚拟地址空间，两个进程的虚拟地址可相同
- 在访问用户态虚拟地址空间时，如果没有映射物理地址，通过系统调用发出缺页异常
- 缺页异常陷入内核，分配物理地址空间，与用户态虚拟地址建立映射



## 7、共享内存

### 1) 原理

- 它允许多个不相关的进程去访问同一部分逻辑内存
- 两个运行中的进程之间传输数据，共享内存将是一种效率极高的解决方案
- 两个运行中的进程共享数据，是进程间通信的高效方法，可有效减少数据拷贝的次数



## 2) shm 接口

- shmget 创建共享内存
- shmat 启动对该共享内存的访问，并把共享内存连接到当前进程的地址空间
- shmdt 将共享内存从当前进程中分离

## 五、内存使用那些坑

### 1、C 内存泄露

- 在类的构造函数和析构函数中没有匹配地调用 new 和 delete 函数

```
//购买岛
Json::Value jRespData;
CApolloIslandLogicMT* p_worldFactoryMT= new CApolloIslandLogicMT;
p_worldFactoryMT->Init(tmpbuf.data(),tmpbuf.size(),uin,APOLLO_GOODS_TYPE_ISLAND,implat,);
ret=p_worldFactoryMT->BuyWorldItem(tmpbuf.data(),tmpbuf.size(),uin,seriesId,jRespData);
if(ret < 0){
    LOG UIERROR(uin, "p_worldFactoryMT->BuyWorldItem fail. ret=%d, uin=%lu", ret, uin);
    //delete p_worldFactoryMT;
    MCRET(ret,"");
}
delete p_worldFactoryMT;
//p_worldFactoryMT=NULL;
```

- 没有正确地清除嵌套的对象指针
- 没有将基类的析构函数定义为虚函数
- 当基类的指针指向子类对象时，如果基类的析构函数不是 virtual，那么子类的析构函数将不会被调用，子类的资源没有得到正确释放，因此造成内存泄露
- 缺少拷贝构造函数，按值传递会调用（拷贝）构造函数，引用传递不会调用
- 指向对象的指针数组不等于对象数组，数组中存放的是指向对象的指针，不仅要释放每个对象的空间，还要释放每个指针的空间
- 缺少重载赋值运算符，也是逐个成员拷贝的方式复制对象，如果这个类的大小是可变的，那么结果就是造成内存泄露

### 2、C 野指针

- 指针变量没有初始化
- 指针被 free 或 delete 后，没有设置为 NULL
- 指针操作超越了变量的作用范围，比如返回指向栈内存的指针就是野指针
- 访问空指针（需要做空判断）
- sizeof 无法获取数组的大小



- 试图修改常量，如：char p="1234";p='1'

### 3、C 资源访问冲突

- 多线程共享变量没有用 volatile 修饰
- 多线程访问全局变量未加锁
- 全局变量仅对单进程有效
- 多进程写共享内存数据，未做同步处理
- mmap 内存映射，多进程不安全

### 4、STL 迭代器失效

- 被删除的迭代器失效
- 添加元素（insert/push\_back 等）、删除元素导致顺序容器迭代器失效

错误示例：删除当前迭代器，迭代器会失效

```
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;
void main() {
    vector<int> vectInt;
    int i;
    // 初始化vector容器
    for (i = 0; i < 5; i++) {
        vectInt.push_back(i);
    }
    // 以下代码是要删除所有值为4的元素
    vector<int>::iterator itVect = vectInt.begin();
    for (; itVect != vectInt.end(); ++itVect) {
        if (*itVect == 4) {
            vectInt.erase(itVect);
        }
    }
    int iSize = vectInt.size();
    for (i = 0; i < iSize; i++) {
        cout << "i=" << i << " , " << vectInt[i] << endl;
    }
}
```

正确示例：迭代器 erase 时，需保存下一个迭代器

```
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;
void main() {
    vector<int> vectInt;
    int i;
    for (i = 0; i < 5; i++) {
        vectInt.push_back(i);
        if (3 == i) {
            // 使3的元素有两个，并且相邻。
            vectInt.push_back(i);
        }
    }
    vector<int>::iterator itVect = vectInt.begin();

    // 以下代码是要删除所有值为3的元素
    for (; itVect != vectInt.end(); ) { // 删除 ++itVect
        if (*itVect == 3) {
            itVect = vectInt.erase(itVect);
        }
        else {
            ++itVect;
        }
    }
    // 把vectInt.size()放在for循环中
    for (i = 0; i < vectInt.size(); i++) {
        cout << "i=" << i << " , " << vectInt[i] << endl;
    }
}
```

### 5、C++ 11 智能指针

- auto\_ptr 替换为 unique\_ptr

## 解决独占的智能指针 非法内存访问的问题

```
auto_ptr<string> p1(new string ("auto")); // #1
auto_ptr<string> p2; // #2
p2 = p1; // #3
```

但如果程序随后试图使用p1，这将是件坏事，因为p1不再指向有效的数据



```
unique_ptr<string> p3 (new string ("auto")); // #4
unique_ptr<string> p4; // #5
p4 = p3; // #6
```

编译器认为语句#6非法，避免了p3不再指向有效数据的问题



移动独占式指针

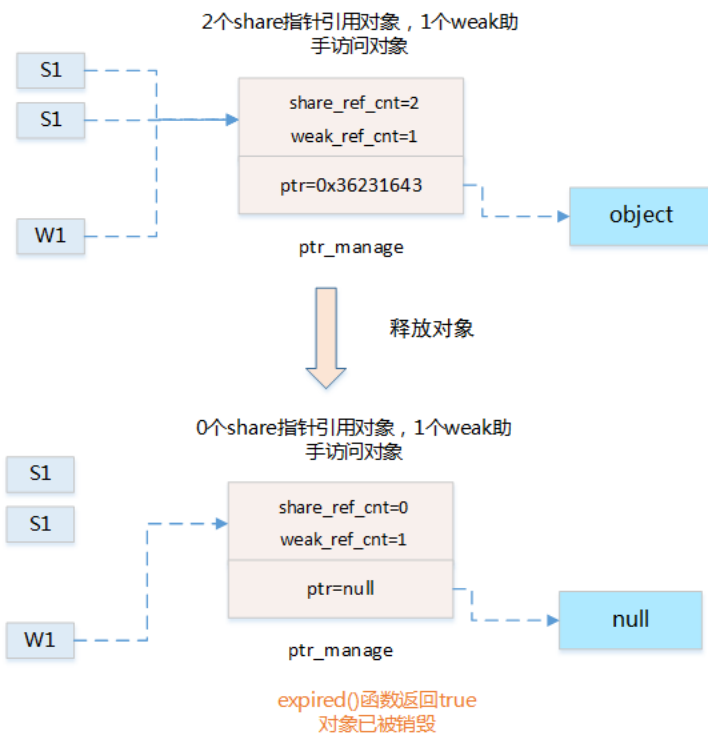
```
unique_ptr<string> p3 (new string ("auto")); // #4
unique_ptr<string> p4 = move(p3); // 现在p4是数据唯一的unique_ptr智能指针
```

- 使用make\_shared 初始化一个 shared\_ptr

1.性能：当您创建新的对象，然后创建一个shared\_ptr，有这种情况发生两个动态内存分配：一个是来自新对象本身，再进行第二次由shared\_ptr的构造函数创建的管理器对象。  
2. 当你使用make\_shared，C++编译器的单一内存分配大到足以容纳两个管理对象和新对象

- weak\_ptr 智能指针助手

(1) 原理分析：



(2) 数据结构:

```
boost::weak_ptr

boost::weak_ptr<T>是boost提供的一个弱引用的智能指针，它的声明可以简化如下：

namespace boost {

    template<typename T> class weak_ptr {
    public:
        template <typename Y>
        weak_ptr(const shared_ptr<Y>& r);

        weak_ptr(const weak_ptr& r);

        ~weak_ptr();

        T* get() const;           //1. 用于访问智能指针对象
        bool expired() const;     //2. 用于检测所管理的对象是否已经释放
        shared_ptr<T> lock() const; //3. 用于获取所管理的对象的强引用指针
    };
}
```

(3) 使用方法:

- lock() 获取所管理的对象的强引用指针
- expired() 检测所管理的对象是否已经释放
- get() 访问智能指针对象

## 6、C++ 11 更小更快更安全

- std::atomic 原子数据类型 多线程安全
- std::array 定长数组开销比 array 小和 std::vector 不同的是 array 的长度是固定的，不能动态拓展
- std::vector vector 瘦身 shrink\_to\_fit(): 将 capacity 减少为 size() 相同的大小
- std::forward\_list 是单链表 (std::list 是双链表)，只需要顺序遍历的场合，forward\_list 能更加节省内存，插入和删除的性能高于 list。
- std::unordered\_map、std::unordered\_set 用 hash 实现的无序的容器，插入、删除和查找的时间复杂度都是 O(1)，在不关注容器内元素顺序的场合，使用 unordered 的容器能获得更高的性能

## 六、如何查看内存

- 系统中内存使用情况: /proc/meminfo

```
$cat /proc/meminfoMemTotal:
```

8052444 kB #所有内存(RAM)大小,减去一些预留空间和内核的大小。

MemFree: 2754588 kB #完全没有用到的物理内存, lowFree+highFree  
 MemAvailable: 3934252 kB #在不使用交换空间的情况下, 启动一个新的应用最大可用内存的大小, 计算方式: MemFree+Active(file)+Inactive(file)-  
 Buffers: 137128 kB #块设备所占用的缓存页, 包括: 直接读写块设备以及文件系统元数据(metadata), 比如superblock使用的缓存页。  
 Cached: 1948128 kB #表示普通文件数据所占用的缓存页。  
 SwapCached: 0 kB #swap cache中包含的是被确定要swapping换页, 但是尚未写入物理交换区的匿名内存页。那些匿名内存页, 比如用户进程mall  
 Active: 3650920 kB #active包含active anon和active file  
 Inactive: 1343420 kB #inactive包含inactive anon和inactive file  
 Active(anon): 2913304 kB #anonymous pages (匿名页), 用户进程的内存页分为两种: 与文件关联的内存页(比如程序文件, 数据文件对应的内存页)和与  
 Inactive(anon): 727808 kB #见上  
 Active(file): 737616 kB #见上  
 Inactive(file): 615612 kB #见上  
 SwapTotal: 8265724 kB #可用的swap空间的总的大小(swap分区在物理内存不够的情况下, 把硬盘空间的一部分释放出来, 以供当前程序使用)  
 SwapFree: 8265724 kB #当前剩余的swap的大小  
 Dirty: 104 kB #需要写入磁盘的内存去的大小  
 Writeback: 0 kB #正在被写回的内存区的大小  
 AnonPages: 2909332 kB #未映射页的内存的大小  
 Mapped: 815524 kB #设备和文件等映射的大小  
 Shmem: 732032 kB #共享内存大小  
 Slab: 153096 kB #内核数据结构slab的大小  
 SReclaimable: 99684 kB #可回收的slab的大小  
 SUnreclaim: 53412 kB #不可回收的slab的大小  
 KernelStack: 14288 kB  
 PageTables: 62192 kB  
 NFS\_Unstable: 0 kB  
 Bounce: 0 kB  
 WritebackTmp: 0 kB  
 CommitLimit: 12291944 kB  
 Committed\_AS: 11398920 kB  
 VmallocTotal: 34359738367 kB  
 VmallocUsed: 0 kB  
 VmallocChunk: 0 kB  
 HardwareCorrupted: 0 kB  
 AnonHugePages: 1380352 kB  
 CmaTotal: 0 kB  
 CmaFree: 0 kB  
 HugePages\_Total: 0  
 HugePages\_Free: 0  
 HugePages\_Rsvd: 0  
 HugePages\_Surp: 0  
 Hugepagesize: 2048 kB  
 DirectMap4k: 201472 kB  
 DirectMap2M: 5967872 kB  
 DirectMap1G: 3145728 kB

- 查询内存总使用率: free

```
[user_00@VM_10_56_230_114_tencent_tlinux_release_1_2_final /usr/local/services]$ free
              total        used          free      shared    buffers     cached
Mem:      8045260    7877052    168208           0       363780     4458548
-/+ buffers/cache:    3054724    4990536
Swap:            0              0              0
```

- 查询进程 cpu 和内存使用占比: top

```
top - 11:07:03 up 293 days, 23:28, 2 users, load average: 0.48, 0.77, 0.93
Tasks: 326 total, 2 running, 323 sleeping, 0 stopped, 1 zombie
Cpu(s): 7.7%us, 5.6%sy, 0.0%ni, 86.5%id, 0.0%wa, 0.0%hi, 0.1%si, 0.1%st

  PID USER      PR  NI   VIRT   RES   SHR  S %CPU  %MEM    TIME+  COMMAND
 1409 root        20   0   7668   6568   496  S  2.3   0.1   135:24.38 sap1002
 8349 root        20   0   5042m  1.2g  2804  S  1.3  16.1   332:22.27 java
28926 root        20   0   418m   57m  1340  S  1.0   0.7    35:38.30 proxy_module
 603 user_00    20   0  18464  1444   932  R  0.7   0.0     0:00.19 top
 1422 root        20   0  40156  20m  5216  S  0.7   0.3    35:59.62 sap1009
 8785 user_00    20   0   243m  22m  8552  S  0.7   0.3     1:38.88 spp_apollo_exte
10285 user_00    20   0   236m  24m  8648  S  0.7   0.3     1:38.82 spp_apollo_inte
10287 user_00    20   0   235m  24m  8612  S  0.7   0.3     1:36.71 spp_apollo_inte
16492 user_00    20   0   281m  18m  1248  S  0.7   0.2    45:47.70 spp_apollo_msg_
 1308 root        20   0  24160  4408  1884  S  0.3   0.1     0:00.01 python
```

- 虚拟内存统计: vmstat

```
/usr/local/services]$ vmstat
procs -----memory----- --swap-- ----io---- --system-- -----cpu-----
 r b  swpd   free   buff  cache   si   so    bi   bo    in   cs us sy id wa st
 1 0    0 251652 125624 2309660    0   0     0   26    0   0  2  1 96  0  0
```

- 进程消耗内存占比和排序: ps aux -sort -rss

```
(user_00@VM_10_56_230_114_tencent_tlinux_release_1_2_final /usr/local/services)$ ps aux --sort -rss
USER      PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY      STAT START   TIME COMMAND
root      1886  0.0  3.5 646108 282088 ?        Ssl   Jul03 288:31 ./logsys_cfg_cli ../conf/logsys_cfg_cli.conf
user_00   28042  4.7  3.4 565808 278032 ?        SLs   Jul03 740:50 ./spp_apollo_core_worker ../etc/spp_worker1.xal
user_00   28052  4.7  3.3 558140 269440 ?        SLs   Jul03 743:29 ./spp_apollo_core_worker ../etc/spp_worker1.xal
user_00   28054  4.7  3.2 551608 261176 ?        SLs   Jul03 735:39 ./spp_apollo_core_worker ../etc/spp_worker1.xal
user_00   28044  4.7  3.2 550564 259424 ?        SLs   Jul03 740:12 ./spp_apollo_core_worker ../etc/spp_worker1.xal
user_00   28048  4.7  3.2 548252 258448 ?        SLs   Jul03 745:21 ./spp_apollo_core_worker ../etc/spp_worker1.xal
user_00   28050  4.7  3.1 543416 254400 ?        SLs   Jul03 744:27 ./spp_apollo_core_worker ../etc/spp_worker1.xal
user_00   28046  4.7  3.0 539312 247556 ?        SLs   Jul03 739:20 ./spp_apollo_core_worker ../etc/spp_worker1.xal
user_00   28056  4.7  3.0 537124 244228 ?        SLs   Jul03 739:42 ./spp_apollo_core_worker ../etc/spp_worker1.xal
root      3917  0.2  2.1 371748 169744 ?        S1    2016 1456:37 ./vidc_static_agent ../etc/static_agent_conf.xal
```

#### • 查看伙伴系统信息

当前系统的buddy状态可以通过 `cat /proc/buddyinfo` 命令查看

```
cat /proc/buddyinfo
Node 0, zone DMA      23      15      4      5      2      3      2      3      1      0
Node 0, zone Normal  149     100     52     33     23     5     32     8     12     2     59
Node 0, zone HighMem  11      21      23     49     29     15     8     16     12     2    142
```

#### • 查看slab信息

可以通过 `cat /proc/slabinfo` 命令查看

```
cat /proc/slabinfo
slabinfo - version: 2.1
# name          <active_objs> <num_objs> <objsize> <objperslab> <pagesperslab> : tunables <limit> <batchcount> <sharedfactor> : s
bridge_fdb_cache      0      0      64     59      1 : tunables 120     60      0 : slabdata      0      0      0
nf_conntrack_expect    0      0     240     16      1 : tunables 120     60      0 : slabdata      0      0      0
nf_conntrack_fffffffff81f6f600 0      0     304     13      1 : tunables 54     27      0 : slabdata      0      0      0
iser_descriptors      0      0     128     30      1 : tunables 120     60      0 : slabdata      0      0      0
ib_mad                0      0     448      8      1 : tunables 54     27      0 : slabdata      0      0      0
fib6_nodes            22     59      64     59      1 : tunables 120     60      0 : slabdata      1      1      0
ip6_dst_cache         13     24     320     12      1 : tunables 54     27      0 : slabdata      2      2      0
ndisc_cache            1     10     384     10      1 : tunables 54     27      0 : slabdata      1      1      0
ip6_mrt_cache          0      0     128     30      1 : tunables 120     60      0 : slabdata      0      0      0
```

#### • 释放系统内存缓存

可以通过 `/proc/sys/vm/drop_caches`来释放

```
#To free pagecache, use
echo 1 > /proc/sys/vm/drop_caches
#To free dentries and inodes, use
echo 2 > /proc/sys/vm/drop_caches
#To free pagecache, dentries and inodes, use
echo 3 > /proc/sys/vm/drop_caches
```