

第二课 内存管理

一、错误处理

1. 通过函数的返回值表示错误

1) 返回合法值表示成功，返回非法值表示失败。

范例：bad.c

2) 返回有效指针表示成功，
返回空指针 (NULL/0xFFFFFFFF) 表示失败。

范例：null.c

3) 返回0表示成功，返回-1表示失败，
不输出数据或通过指针/引用型参数输出数据。

范例：fail.c

4) 永远成功，如：printf()。

练习：实现四个函数

slen() - 求字符串的长度，若为空指针，则报错。

scopy() - 字符串拷贝，考虑缓冲区溢出，
成功返回目标缓冲区地址，
目标缓冲区无效时报错。

intmin() - 求两个整数的最小值，若二者相等，则报错。

intave() - 求两个整数的平均值，考虑求和溢出，
该函数不会失败。

代码：error.c

2. 通过errno表示错误

#include <errno.h>

1) 根据errno得到错误编号。

2) 将errno转换为有意义的字符串：

#include <string.h>
char* strerror (int errnum);

#include <stdio.h>
void perror (const char* s);

printf ("%m");

范例：errno.c

- 3) `errno`在函数执行成功的情况下不会被修改，因此不能以`errno`非零，作为发生错误判断依据。

范例：iferr.c

- 4) `errno`是一个全局变量，其值随时可能发生变化。

二、环境变量

1. 环境表

- 1) 每个程序都会接收到一张环境表，是一个以NULL指针结尾的字符指针数组。
- 2) 全局变量`environ`保存环境表的起始地址。

```

environ -> +---+
            | * --> HOME=/root
            +---+
            | * --> SHELL=/bin/bash
            +---+
            | * --> PATH=/bin:/usr/bin:...:.
            +---+
            | .
            | .
            | .
            +---+
            | 0
            +---+
    
```

图示：env_list.bmp

2. 环境变量函数

#include <stdlib.h>

环境变量：name=value

`getenv` - 根据name获得value。

`putenv` - 以name=value的形式设置环境变量，name不存在就添加，存在就覆盖其value。

`setenv` - 根据name设置value，注意最后一个参数表示，若name已存在是否覆盖其value。

`unsetenv` - 删除环境变量。

`clearenv` - 清空环境变量，`environ==NULL`。

范例：env.c

三、内存管理

用 户 层	STL C++ 标C POSIX Linux	自动分配/释放内存资源 new/delete, 构造/析构 malloc/calloc/realloc/free brk/sbrk mmap/munmap	调C++ 调标C 调POSIX 调Linux 调Kernel
系 统 层	Kernel Driver ...	kmalloc/vmalloc get_free_page ...	调Driver

四、进程映像

1. 程序是保存在磁盘上的可执行文件。
2. 运行程序时，需要将可执行文件加载到内存，形成进程。
3. 一个程序(文件)可以同时存在多个进程(内存)。
4. 进程在内存空间中的布局就是进程映像。
从低地址到高地址依次为：

代码区(text)：可执行指令、字面值常量、具有常属性的全局和静态局部变量。只读。

数据区(data)：初始化的全局和静态局部变量。

BSS区：未初始化的全局和静态局部变量。
进程一经加载此区即被清0。

数据区和BSS区有时被合称为全局区或静态区。

堆区(heap)：动态内存分配。从低地址向高地址扩展。

栈区(stack)：非静态局部变量，
包括函数的参数和返回值。从高地址向低地址扩展。

堆区和栈区之间存在一块间隙，
一方面为堆和栈的增长预留空间，
同时共享库、共享内存等亦位于此。

命令行参数与环境区：命令行参数和环境变量。

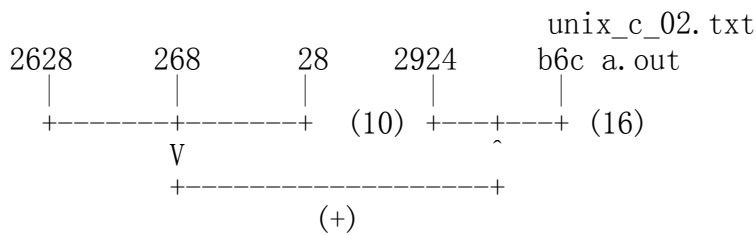
图示：maps.bmp

范例：maps.c

比对/proc/<pid>/maps

size a.out

text data bss dec hex filename
第 3 页



五、虚拟内存

1. 每个进程都有各自互独立的4G字节虚拟地址空间。
2. 用户程序中使用的都是虚拟地址空间中的地址，永远无法直接访问实际物理内存地址。
3. 虚拟内存到物理内存的映射由操作系统动态维护。
4. 虚拟内存一方面保护了操作系统的安全，另一方面允许应用程序，使用比实际物理内存更大的地址空间。

图示：vm.png

5. 4G进程地址空间分成两部分：
[0, 3G) 为用户空间，
如某栈变量的地址0xbfc7fba0=3, 217, 554, 336，约3G；
[3G, 4G) 为内核空间。
6. 用户空间中的代码，不能直接访问内核空间中的代码和数据，但可以通过系统调用进入内核态，间接地与系统内核交互。

图示：kernel.png

7. 对内存的越权访问，或试图访问没有映射到物理内存的虚拟内存，将导致段错误。
8. 用户空间对应进程，进程一切换，用户空间即随之变化。内核空间由操作系统内核管理，不会随进程切换而改变。内核空间由内核根据独立且唯一的页表init_mm.pgd进行内存映射，而用户空间的页表则每个进程一份。
9. 每个进程的内存空间完全独立。不同进程之间交换虚拟内存地址是毫无意义的。

范例：vm.c

10. 标准库内部通过一个双向链表，管理在堆中动态分配的内存。malloc函数分配内存时会附加若干(通常是12个)字节，存放控制信息。该信息一旦被意外损坏，可能在后续操作中引发异常。

范例：crash.c

11. 虚拟内存到物理内存的映射以页(4K=4096字节)为单位。
通过malloc函数首次分配内存，至少映射33页。
即使通过free函数释放掉全部内存，
最初的33页仍然保留。

图示: address_space.png

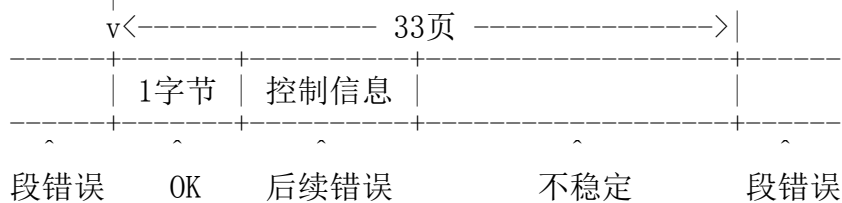
```
#include <unistd.h>
```

```
int getpagesize (void);
```

返回内存页的字节数。

范例: page.c

```
char* pc = malloc (sizeof (char));
```



六、内存管理APIs

1. 增量方式分配虚拟内存

```
#include <unistd.h>
```

```
void* sbrk (
    intptr_t increment // 内存增量(以字节为单位)
);
```

返回上次调用brk/sbrk后的末尾地址，失败返回-1。

increment取值：

0 - 获取末尾地址。

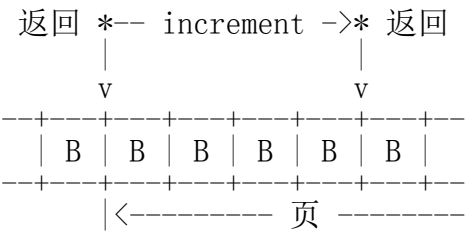
>0 - 增加内存空间。

<0 - 释放内存空间。

内部维护一个指针，
指向当前堆内存最后一个字节的下一个位置。
sbrk函数根据增量参数调整该指针的位置，
同时返回该指针原来的位置。
若发现页耗尽或空闲，则自动追加或取消页映射。

```
void* p=sbrk(4);      p=sbrk(0);
```

```
|                      |
```



2. 修改虚拟内存块末尾地址

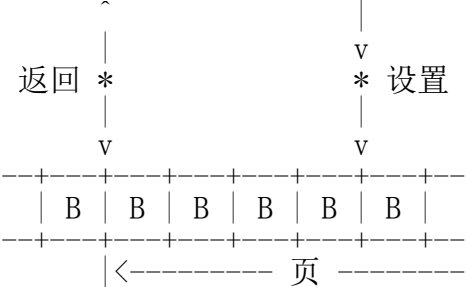
```
#include <unistd.h>

int brk (
    void* end_data_segment // 内存块末尾地址
);
```

成功返回0，失败返回-1。

内部维护一个指针，
指向当前堆内存最后一个字节的下一个位置。
brk函数根据指针参数设置该指针的位置。
若发现页耗尽或空闲，则自动追加或取消页映射。

```
void* p=sbrk(0); brk(p+4);
```



sbrk/brk底层维护一个指针位置，
以页(4K)为单位分配和释放虚拟内存。
简便起见，可用sbrk分配内存，用brk释放内存。

范例：brk.c、malloc.c

3. 创建虚拟内存到物理内存或文件的映射

```
#include <sys/mman.h>

void* mmap (
    void* start, // 映射区内存起始地址，
                // NULL系统自动选定，成功返回之
    size_t length, // 字节长度，自动按页(4K)对齐
    int prot, // 映射权限
    int flags, // 映射标志
    int fd, // 文件描述符
    off_t offset // 文件偏移量，自动按页(4K)对齐
);
```

成功返回映射区内存起始地址，失败返回MAP_FAILED(-1)。

prot取值：

PROT_EXEC - 映射区域可执行。

PROT_READ - 映射区域可读取。

PROT_WRITE - 映射区域可写入。

PROT_NONE - 映射区域不可访问。

flags取值：

MAP_FIXED - 若在start上无法创建映射，
则失败(无此标志系统会自动调整)。

MAP_SHARED - 对映射区域的写入操作直接反映到文件中。

MAP_PRIVATE - 对映射区域的写入操作只反映到缓冲区中，
不会真正写入文件。

MAP_ANONYMOUS - 匿名映射，
将虚拟地址映射到物理内存而非文件，
忽略fd。

MAP_DENYWRITE - 拒绝其它对文件的写入操作。

MAP_LOCKED - 锁定映射区域，保证其不被置换。

4. 销毁虚拟内存到物理内存或文件的映射

```
int munmap (
    void* start, // 映射区内存起始地址
    size_t length, // 字节长度，自动按页(4K)对齐
);
```

成功返回0，失败返回-1。

范例：mmap.c

mmap/munmap底层不维护任何东西，只是返回一个首地址，
所分配内存位于堆中。

brk/sbrk底层维护一个指针，记录所分配的内存结尾，
所分配内存位于堆中，底层调用mmap/munmap。

malloc底层维护一个双向链表和必要的控制信息，
不可越界访问，所分配内存位于堆中，底层调用brk/sbrk。

每个进程都有4G的虚拟内存空间，
虚拟内存地址只是一个数字，
并没有和实际的物理内存将关联。
所谓内存分配与释放，
其本质就是建立或取消虚拟内存和物理内存间的映射关系。

unix_c_02.txt

作业：实现一个基于顺序表的堆栈类模板，其数据缓冲区内存可根据数据元素的多少自动增减，但不得使用标准C的内存分配与释放函数。

代码：stack.cpp

思考：该堆栈模板是否适用于类类型的数据元素。