KWANGWOON UNIVERSITY

2024년 2학기 **운영체제실습** 10주차

Memory management

System Software Laboratory
School of Computer and Information Engineering
Kwangwoon Univ.

Contents

- 메모리 관리의 이해와 기법 소개
- 물리 메모리와 가상 메모리
- 메모리를 위한 자료 구조
- 메모리 매핑

- 실습 1
- 실습2

메모리 관리의 이해와 기법 소개

- **메모리 관리의 기본 핵심**
  - 커널은 task를 **언제, 어디에, 어떻게** 물리 메모리에 적재할 지 관리해야 함

- **한정적인 물리 메모리의 해결 방안**
  - 가상 메모리
  - 물리 메모리에는 수행에 필요한 부분만 적재

물리 메모리와 가상 메모리

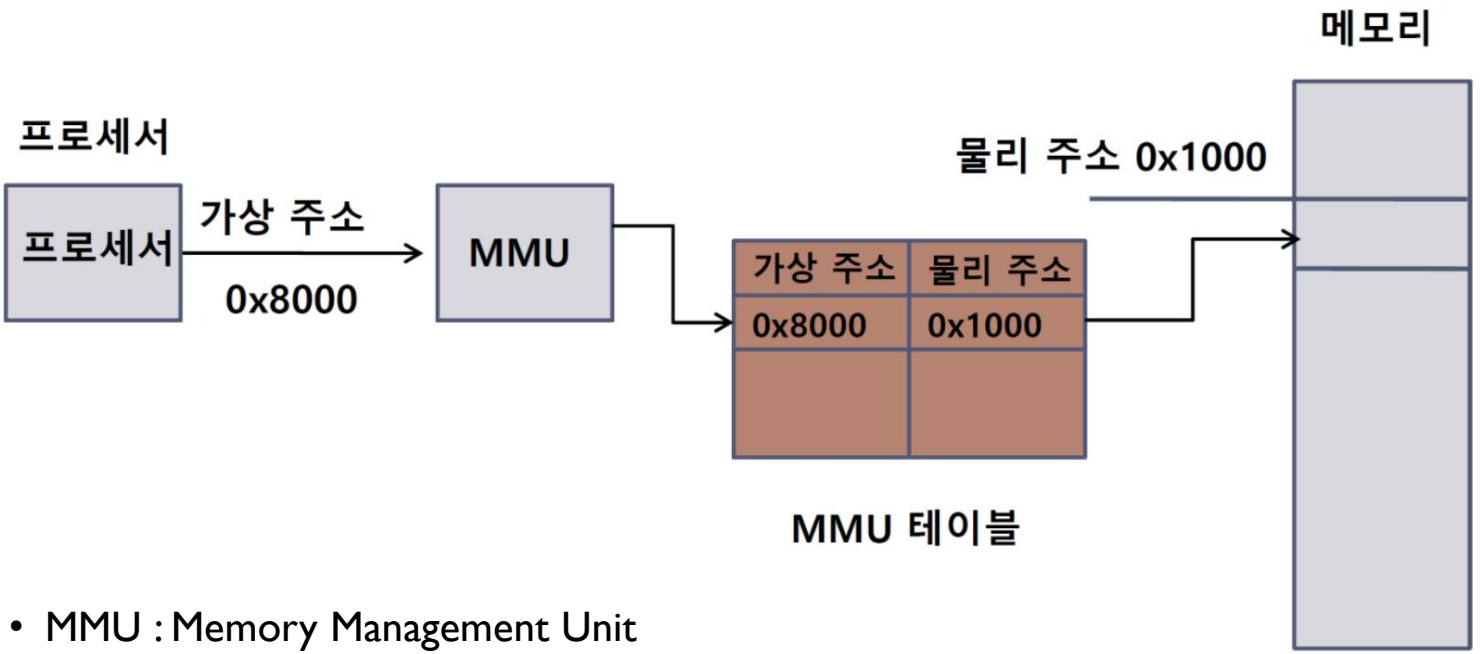
- **물리 메모리**
  - 시스템에 장착된 실제 메모리
  - 메모리에 대한 실제 물리 주소를 가짐
  - 0번지부터 장착된 메모리 크기까지의 범위

- **가상메모리**
  - 실제 존재하지는 않지만 큰 메모리가 존재하는 것과 같은 효과
  - 가상 주소는 물리 주소와 상관없이 각 task 마다 할당되는 논리적인 주소
  - 리눅스에서는 **각 task 마다 256TB 가상 주소공간**을 할당
    - 각 task: 128TB, 커널영역: 128TB

- **가상주소를 물리주소로 변환하는 기법 필요**
  - Paging 기법을 사용

물리 메모리와 가상 메모리

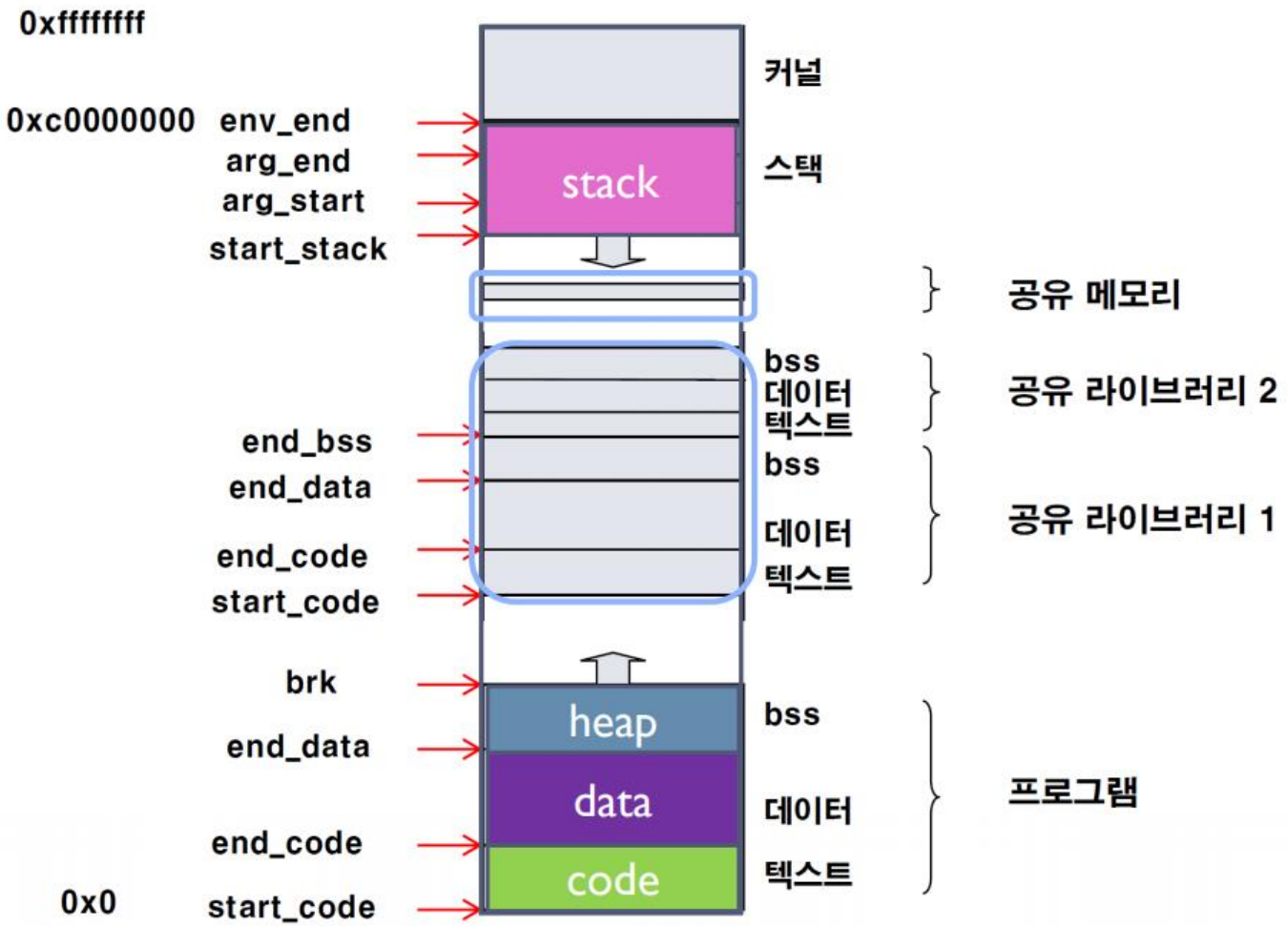
- **가상 주소는**
  - 내부적으로 메모리 관리 기능을 통해 물리 주소로 변환
  - 이를 실제 물리 메모리에 매핑



- MMU : Memory Management Unit

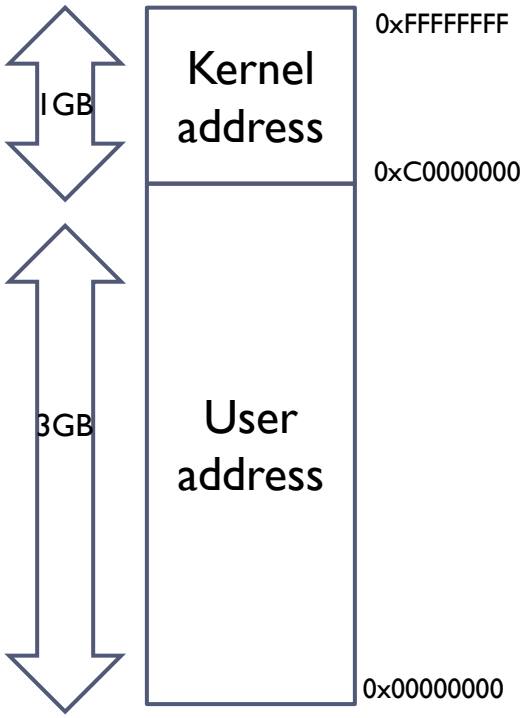
물리 메모리와 가상 메모리

- 리눅스 커널의 가상 메모리

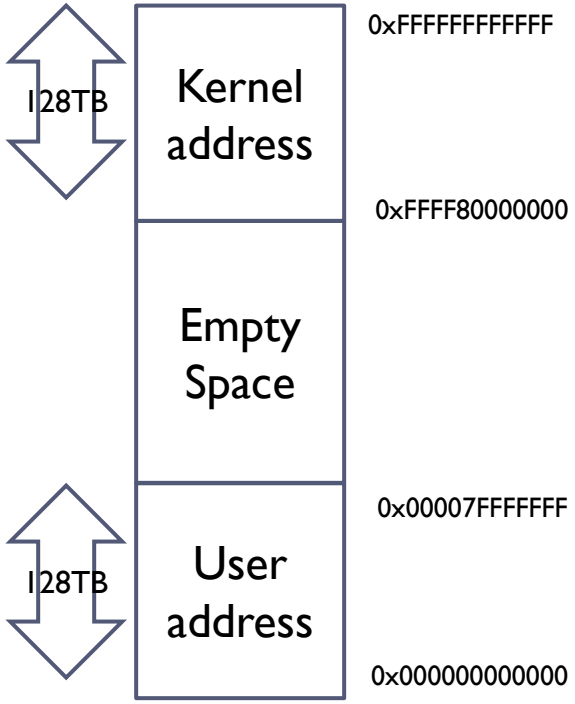


물리 메모리와 가상 메모리

- 리눅스 커널의 가상 메모리

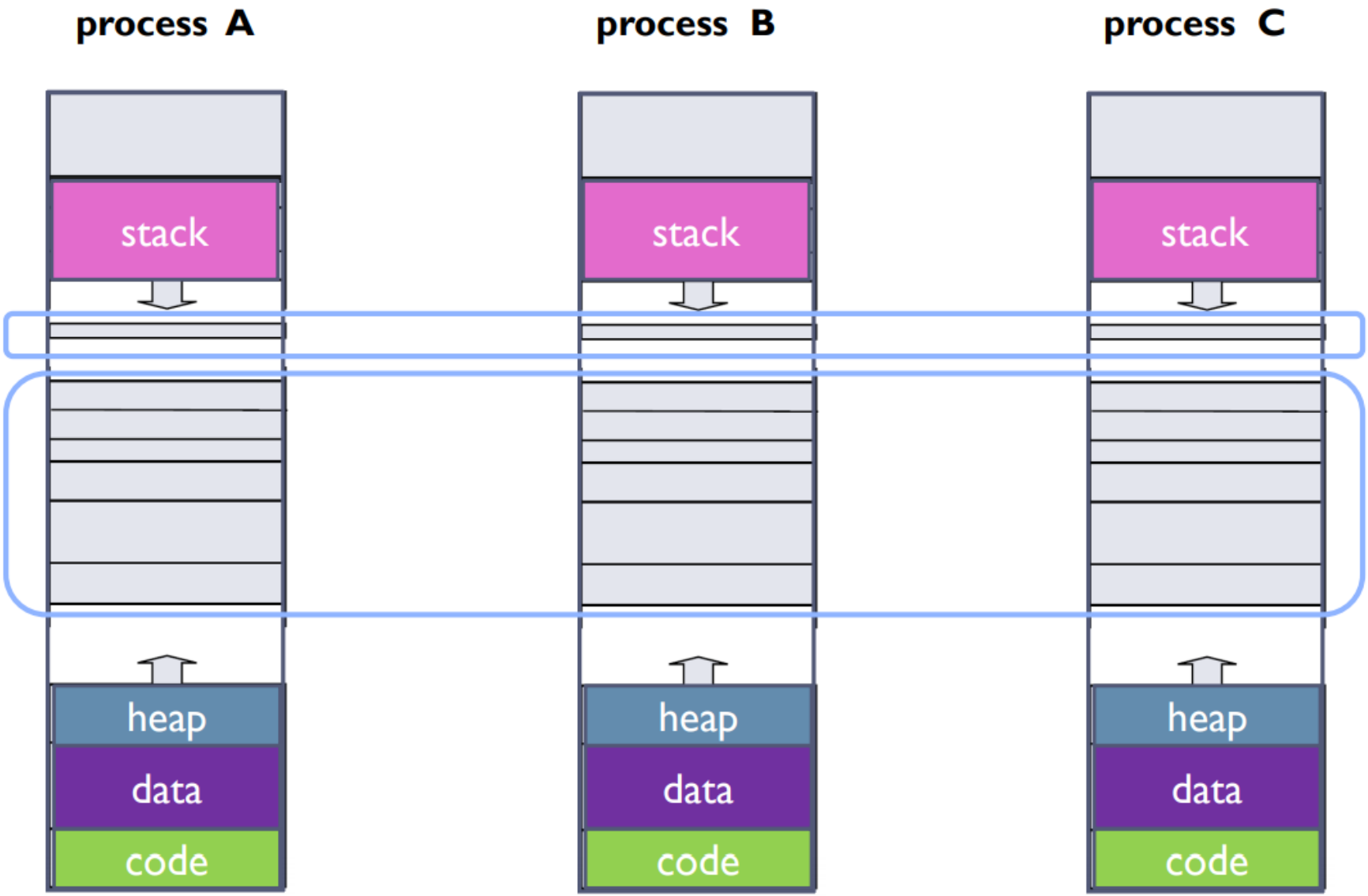


32bit 가상 메모리 공간

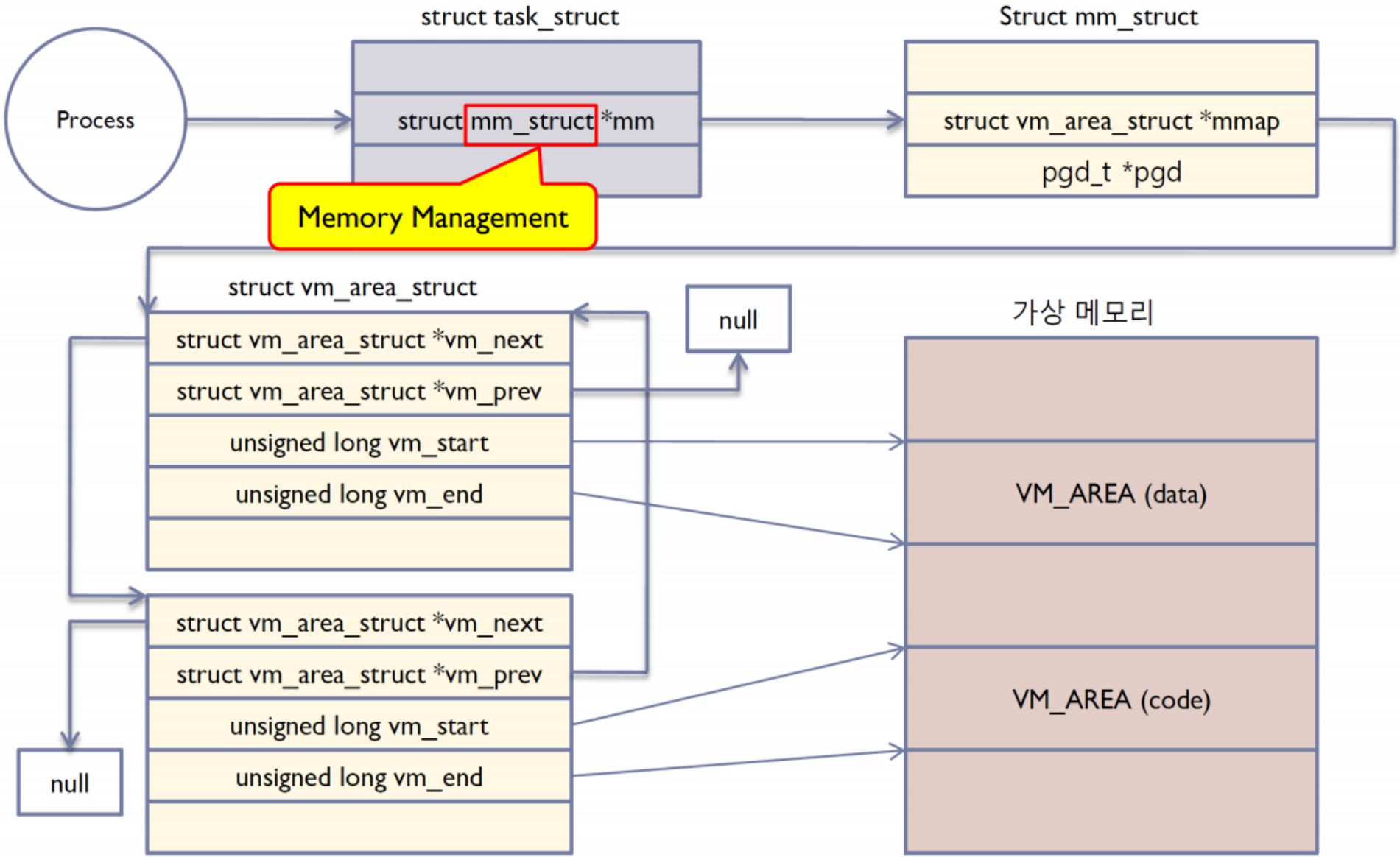


64bit 가상 메모리 공간

물리 메모리와 가상 메모리



메모리 관리를 위한 자료 구조



메모리 관리를 위한 자료 구조

- **mm_struct 주요 함수**
  - struct mm_struct *get_task_mm(struct task_struct *task)
    - use count를 1 증가
    - Task의 mm_struct를 가져옴
    - void mmput(struct mm_struct *mm)
      - use count를 1 감소
      - use count가 0이 되면 할당된 메모리 공간을 해제

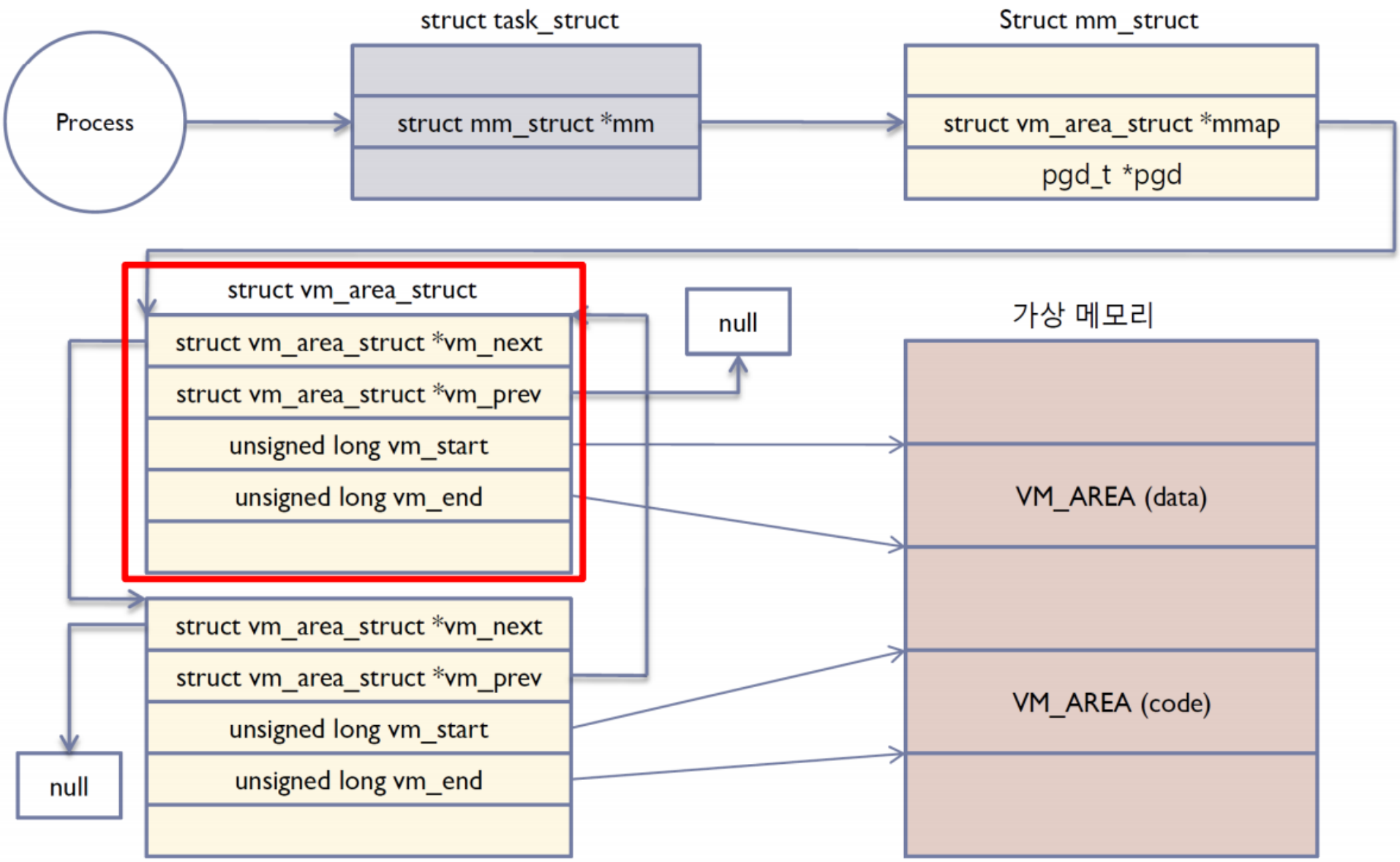
메모리 관리를 위한 자료 구조

- **mm_struct 주요 멤버 변수**
  - struct vm_area_struct *mmap
    - vm_area_struct list의 시작 주소
  - pgd_t *pgd
    - 페이지 글로벌 디렉토리의 시작 주소
    - 페이지 글로벌 디렉토리
      - 가상 주소를 물리 주소로 변환하기 위한 최상위 테이블
  - start_code, end_code
    - 코드 세그먼트 영역
      - 프로그램의 명령들이 들어가는 영역
  - start_data, end_data
    - 데이터 세그먼트 영역
      - 프로그램에 선언된 전역 변수들로 구성
      - 초기화 된 변수가 들어가는 데이터 영역과 초기화 되지 않은 변수가 들어가는 BSS(Block Started by Symbol)로 구분

메모리 관리를 위한 자료 구조

- **mm_struct 주요 멤버 변수 (cont'd)**
  - start_brk, brk
    - 힙(heap)의 시작과 끝 주소를 가지는 변수
  - start_stack
    - 스택의 시작 위치
    - 함수 호출 시 전달되는 인자들과 복귀 주소 및 지역 변수로 구성
    - 스택의 메모리 할당 방향은 힙과 반대
  - total_vm
    - 할당된 전체 가상 메모리 크기
  - reserved_vm
    - 예약된 메모리 크기

메모리 관리를 위한 자료 구조



메모리 관리를 위한 자료 구조

- **vm_area_struct 주요 멤버 변수**
  - vm_mm
    - 이 가상 메모리 영역을 사용하고 있는 mm_struct 구조체를 가리키는 포인터 변수
  - vm_start
    - 영역의 시작 주소
  - vm_end
    - 영역의 끝 주소
  - vm_next
    - 다른 가상 메모리 블록을 가리키는 포인터 변수
    - 이를 따라가면 task가 사용하는 전체 가상 공간을 알 수 있음
    - 마지막 노드의 vm_next는 NULL 값을 가짐

메모리 매핑

- **파일 시스템의 파일과 메모리 공간을 매핑하는 방법**
  - 파일에 대한 read/write 연산 마다,
    - 메모리 공간의 data를 업데이트 하고,
    - 저장장치의 내용을 업데이트 하는 것은 비효율적
  - 따라서 이를 **mapping 하여 처리**

메모리 매핑

- **관련 함수**

```
void * mmap(void *addr, size_t length, int prot,
            int flags, int fd, off_t offset);
```

- fd로 지정된 파일에서 offset을 시작으로 length 바이트 만큼을 addr로 대응시킴
  - 메모리에 파일이나 장치를 map
  - 호출한 프로세스의 가상 메모리 공간에 새로운 매핑을 생성
  - Parameters
    - addr : 가상 메모리 내 매핑하고자 하는 대략적인 위치 기록 (NULL: 커널이 할당)
    - length : 매핑 길이
    - prot : 페이지 권한
      - PROT_EXEC : 실행 권한
      - PROT_READ : 읽기 권한
      - PROT_WRITE : 쓰기 권한
      - PROT_NONE : 권한 없음
    - flags : 매핑 방식
      - MAP_SHARED : 같은 파일을 매핑한 다른 프로세스들에게 변경 사항 공유
      - MAP_PRIVATE : 변경 사항이 다른 프로세스들에게 공유되지 않음
      - …
    - fd : 장치나 파일에 대한 file descriptor
    - offset : fd에 해당하는 장치/파일에서의 시작 위치 (PAGE_SIZE의 배수)

메모리 매핑

- **관련 함수**

```
int munmap (void *start, size_t length);
```

  - 메모리에 매핑된 파일이나 장치를 unmap
  - Parameters
    - start : 매핑 시작 주소
    - length : 매핑된 길이

```
int msync (void *start, size_t length, int flags);
```

  - 메모리 매핑 후 변경된 사항을 파일에 반영 (동기화)
  - Parameters
    - start : 매핑 시작 주소
    - Length : 매핑된 길이
    - Flags : 동기화 방식
      - MS_SYNC : 동기화를 요청하고, 동기화가 끝날 때 까지 대기
      - MS_ASYNC : 동기화를 요청하고 즉시 return
      - …

메모리 매핑

- **관련 함수**

```
int mprotect (void *addr, size_t length, int prot);
```

  - 메모리 영역에 대한 접근 제어

  - Parameters
    - addr : 시작 주소
    - length : 범위
    - prot : 제어 설정
      - PROT_NONE : 접근 불가능
      - PROT_READ : read 권한 부여
      - PROT_WRITE : write 권한 부여
      - PROT_EXEC : execute 권한 부여

실습 1

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/mman.h>
#include <assert.h>


void create_data(const char *filename);
void display_data(const char *filename);
void change_data(const char *filename);
void mmap_data(const char *filename);

int main(int argc, const char *argv[])
{
        const char *filename;
        assert(argc == 2);
        filename = argv[1];
        create_data(filename);
        display_data(filename);
        change_data(filename);
        display_data(filename);
        mmap_data(filename);
        display_data(filename);

        return EXIT_SUCCESS;
}


void create_data(const char *filename)
{
        int fd;
        int i;

        fd = open(filename, O_WRONLY | O_CREAT, S_IRUSR|S_IWUSR);
        assert(fd != -1);
        write(fd, "hello", 5);
        close(fd);
}

void display_data(const char *filename)
{
        int fd;
        char data;
        int i;

        fd = open(filename, O_RDONLY);
        assert(fd != -1);
        for(i=0; i<5; ++i)
        {
                if(read(fd, &data, sizeof(char)) == sizeof(char))
                        printf("%c", data);
        }
        printf("\n");
        close(fd);
}

void change_data(const char *filename)
{
        int fd;
        char data;

        fd = open(filename, O_RDWR);
        assert(fd != -1);
        lseek(fd, 4*sizeof(char), SEEK_SET);
        data = '!';
        write(fd, &data, sizeof(char));
        close(fd);
}

void mmap_data(const char *filename)
{
        int fd;
        char *map;
        int pagesize;

        fd = open(filename, O_RDWR);
        pagesize = getpagesize();
        map = mmap(0, pagesize, PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED, fd, 0);
        assert(map != MAP_FAILED);

        map[0] &= ~0x20;
        map[1] ^= 0x20;
        map[2] &= 0xDF;
        map[3] ^= ~0xDF;
        msync(map, pagesize, MS_ASYNC);
        munmap(map, pagesize);
}
```

실습 1

```
sslab@ubuntu:~/test_memory$ ./a.out test
hello
hell!
HELL!
sslab@ubuntu:~/test_memory$ cat test
HELL!sslab@ubuntu:~/test_memory$
```

실습 2

- **PID를 입력 받고,**
  - 이에 대한 **프로세스의 이름**과
  - 코드 영역의 **시작 주소 값**, **끝 주소 값**을 가져오는 모듈 작성

- **결과 예시**

```
root@ubuntu:/home/sslab/test_memory# ./test
root@ubuntu:/home/sslab/test_memory# dmesg
[ 1960.424388] name[test]
               code[4194304~4196172]
```

- **Test program**

```c
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <linux/unistd.h>

#define __NR_ftrace 336
int main(void){
        syscall(__NR_ftrace,getpid());
        return 0;
}
```

실습 2

- ftrace를 warpping 하여 구현

```
#include <asm/ptrace.h>
#include <linux/sched.h>
#include <linux/module.h>
#include <linux/highmem.h>
#include <linux/sched/mm.h>
#include <linux/mm_types.h>
#include <linux/kallsyms.h>
#include <linux/init_task.h>

void **syscall_table;
void *real_ftrace;

void make_rw(void *addr)
{
        unsigned int level;
        pte_t *pte = lookup_address((u64)addr, &level);
        if(pte->pte &~ _PAGE_RW)
                pte->pte |= _PAGE_RW;
}

void make_ro(void *addr)
{
        unsigned int level;
        pte_t *pte = lookup_address((u64)addr, &level);
        pte->pte = pte->pte &~ _PAGE_RW;
}

static asmlinkage pid_t info(const struct pt_regs *regs){
        struct task_struct *task;
        struct mm_struct *mm;

        pid_t trace_task = regs->di;
        task = pid_task(find_vpid(trace_task), PIDTYPE_PID);
        mm = get_task_mm(task);

        printk(KERN_INFO "name[%s]\n code[%lx~%lx]\n",task->comm, mm->start_code, mm->end_code);
        mmput(mm);

        return trace_task;

}
```

실습 2

- ftrace를 warpping 하여 구현

```
static int __init info_init(void)
{
        syscall_table = (void**) kallsyms_lookup_name("sys_call_table");

        make_rw(syscall_table);

        real_ftrace = syscall_table[__NR_os_ftrace];
        syscall_table[__NR_os_ftrace] = info;

        make_ro(syscall_table);
        return 0;
}

static void __exit info_exit(void)
{
        make_rw(syscall_table);

        syscall_table[__NR_os_ftrace] = real_ftrace;

        make_ro(syscall_table);
}

module_init(info_init);
module_exit(info_exit);
MODULE_LICENSE("GPL");
```