

Факультет «Информатика и системы управления»
Кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

Отчет по лабораторной работе №3 по курсу:

«Операционные системы»

«Загружаемые модули ядра»

Студент группы ИУ7-63Б: Фурдик Н. О.
(Фамилия И.О.)

Преподаватель: Рязанова Н.Ю.
(Фамилия И.О.)

Оглавление

Задание 1	2
Постановка задачи	2
Листинг кода	2
Результат работы	3
Задание 2	5
Постановка задачи	5
Листинг кода	5
Результат работы	7
Список литературы	10

Задание 1

Постановка задачи

Реализовать загружаемый модуль ядра, выводящий информацию о процессах.

Листинг кода

Листинг 1: Листинг кода загружаемого модуль ядра для задания 1

```
#include <linux/init.h>
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/sched/task.h>
#include <linux/sched/signal.h>

MODULE_LICENSE("GPL");
MODULE_AUTHOR("Furdik");
MODULE_DESCRIPTION("Lab3");

static int __init my_module_init(void)
{
    printk(KERN_INFO "MODULE1: loaded!\n");

    struct task_struct *task = &init_task;
    do
    {
        printk(KERN_INFO "MODULE1: process: %s - %d, parent: %s - %d\n",
            task->comm, task->pid, task->parent->comm, task->parent->pid);
    }
    while ((task = next_task(task)) != &init_task);

    printk(KERN_INFO "MODULE1: current: %s - %d, parent: %s - %d",
        current->comm, current->pid, current->parent->comm, current->parent->pid);

    return 0;
}

static void __exit my_module_exit(void)
{
    printk(KERN_INFO "MODULE1: unloaded\n");
}

module_init(my_module_init);
module_exit(my_module_exit);
```

Результат работы

1. Скомпилируем модуль ядра и загрузим его, проверив успешную загрузку с помощью списка загруженных модулей ядра.

```
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task1$ make
make -C /lib/modules/5.3.0-51-generic/build M=/home/schoolboychik/lab3/task1 modules
make[1]: вход в каталог «/usr/src/linux-headers-5.3.0-51-generic»
CC [M] /home/schoolboychik/lab3/task1/md.o
/home/schoolboychik/lab3/task1/md.c: In function 'my_module_init':
/home/schoolboychik/lab3/task1/md.c:16:4: warning: ISO C90 forbids mixed declarations and code [-Wdeclaration-after-statement]
    struct task_struct *task = &init_task;
    ~~~~~
Building modules, stage 2.
MODPOST 1 modules
CC /home/schoolboychik/lab3/task1/md.mod.o
LD [M] /home/schoolboychik/lab3/task1/md.ko
make[1]: выход из каталога «/usr/src/linux-headers-5.3.0-51-generic»
```

```
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task1$ sudo insmod md.ko
[sudo] пароль для schoolboychik:
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task1$ lsmod | grep md
md                16384 0
```

2. Просмотрим сообщения буфера ядра, записанные в логи:

```
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task1$ sudo dmesg | grep MODULE1
[ 2182.182851] MODULE1: loaded!
[ 2182.182852] MODULE1: process: swapper/0 - 0, parent: swapper/0 - 0
[ 2182.182853] MODULE1: process: systemd - 1, parent: swapper/0 - 0
[ 2182.182854] MODULE1: process: kthreadd - 2, parent: swapper/0 - 0
[ 2182.182855] MODULE1: process: rcu_gp - 3, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182855] MODULE1: process: rcu_par_gp - 4, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182856] MODULE1: process: kworker/0:0H - 6, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182857] MODULE1: process: mm_percpu_wq - 9, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182864] MODULE1: process: ksoftirqd/0 - 10, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182865] MODULE1: process: rcu_sched - 11, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182865] MODULE1: process: migration/0 - 12, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182866] MODULE1: process: idle_inject/0 - 13, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182867] MODULE1: process: cpuhp/0 - 14, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182868] MODULE1: process: cpuhp/1 - 15, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182868] MODULE1: process: idle_inject/1 - 16, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182869] MODULE1: process: migration/1 - 17, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182870] MODULE1: process: ksoftirqd/1 - 18, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182871] MODULE1: process: kworker/1:0H - 20, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182872] MODULE1: process: kdevtmpfs - 21, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182872] MODULE1: process: netns - 22, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182873] MODULE1: process: rcu_tasks_kthre - 23, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182874] MODULE1: process: kauditd - 24, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182875] MODULE1: process: khungtaskd - 25, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182875] MODULE1: process: oom_reaper - 26, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182876] MODULE1: process: writeback - 27, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182877] MODULE1: process: kcompactd0 - 28, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182878] MODULE1: process: ksmd - 29, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182879] MODULE1: process: khugepaged - 30, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182880] MODULE1: process: kintegrityd - 123, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182880] MODULE1: process: kblockd - 124, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182881] MODULE1: process: blkcg_punt_bio - 125, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182882] MODULE1: process: tpm_dev_wq - 126, parent: kthreadd - 2
[ 2182.182883] MODULE1: process: ata_sff - 127, parent: kthreadd - 2
```



```

[ 2182.182987] MODULE1: process: gsd-printer - 1743, parent: systemd - 1
[ 2182.182988] MODULE1: process: colord - 1747, parent: systemd - 1
[ 2182.182989] MODULE1: process: nautilus-deskto - 1763, parent: gnome-session-b
- 1317
[ 2182.182989] MODULE1: process: gsd-disk-utilit - 1772, parent: gnome-session-b
- 1317
[ 2182.182990] MODULE1: process: gvfsd-trash - 1813, parent: gvfsd - 1540
[ 2182.182991] MODULE1: process: evolution-calen - 1832, parent: systemd - 1286
[ 2182.182992] MODULE1: process: dconf-service - 1836, parent: systemd - 1286
[ 2182.182993] MODULE1: process: evolution-calen - 1845, parent: evolution-calen
- 1832
[ 2182.182994] MODULE1: process: ibus-engine-sim - 1849, parent: ibus-daemon - 1
571
[ 2182.182994] MODULE1: process: evolution-addre - 1865, parent: systemd - 1286
[ 2182.182995] MODULE1: process: evolution-addre - 1877, parent: evolution-addre
- 1865
[ 2182.182996] MODULE1: process: gvfsd-metadata - 1896, parent: systemd - 1286
[ 2182.182997] MODULE1: process: update-notifier - 2069, parent: gnome-session-b
- 1317
[ 2182.182998] MODULE1: process: gnome-software - 2084, parent: gnome-session-b
- 1317
[ 2182.182999] MODULE1: process: fwupd - 2098, parent: systemd - 1
[ 2182.182999] MODULE1: process: cupsd - 3563, parent: systemd - 1
[ 2182.183000] MODULE1: process: cups-browsed - 3564, parent: systemd - 1
[ 2182.183001] MODULE1: process: nautilus - 3650, parent: systemd - 1286
[ 2182.183001] MODULE1: process: sh - 3662, parent: gvfsd - 1540
[ 2182.183002] MODULE1: process: gvfsd-admin - 3663, parent: sh - 3662
[ 2182.183003] MODULE1: process: kworker/0:0 - 3699, parent: kthreadd - 2
[ 2182.183004] MODULE1: process: kworker/1:0 - 3701, parent: kthreadd - 2
[ 2182.183005] MODULE1: process: kworker/1:1 - 3703, parent: kthreadd - 2
[ 2182.183005] MODULE1: process: gnome-terminal- - 4088, parent: systemd - 1286
[ 2182.183006] MODULE1: process: bash - 4097, parent: gnome-terminal- - 4088
[ 2182.183007] MODULE1: process: gedit - 4457, parent: systemd - 1286
[ 2182.183008] MODULE1: process: kworker/u4:0 - 5893, parent: kthreadd - 2
[ 2182.183009] MODULE1: process: kworker/u4:2 - 6298, parent: kthreadd - 2
[ 2182.183009] MODULE1: process: sudo - 6378, parent: bash - 4097
[ 2182.183010] MODULE1: process: insmod - 6379, parent: sudo - 6378
[ 2182.183011] MODULE1: current: insmod - 6379, parent: sudo - 6378

```

3. Выгрузим модуль:

```

schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task1$ sudo rmmod md
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task1$ sudo dmesg | tail
[ 2182.183005] MODULE1: process: kworker/1:1 - 3703, parent: kthreadd - 2
[ 2182.183005] MODULE1: process: gnome-terminal- - 4088, parent: systemd - 1286
[ 2182.183006] MODULE1: process: bash - 4097, parent: gnome-terminal- - 4088
[ 2182.183007] MODULE1: process: gedit - 4457, parent: systemd - 1286
[ 2182.183008] MODULE1: process: kworker/u4:0 - 5893, parent: kthreadd - 2
[ 2182.183009] MODULE1: process: kworker/u4:2 - 6298, parent: kthreadd - 2
[ 2182.183009] MODULE1: process: sudo - 6378, parent: bash - 4097
[ 2182.183010] MODULE1: process: insmod - 6379, parent: sudo - 6378
[ 2182.183011] MODULE1: current: insmod - 6379, parent: sudo - 6378
[ 2325.353254] MODULE1: unloaded

```

Задание 2

Постановка задачи

Реализовать три загружаемых модуля ядра:

- 1) вызываемый модуль md1;
- 2) вызывающий модуль md2;
- 3) «отладочный» модуль md3.

Листинг кода

Листинг 2: Листинг кода вызываемого модуля md1

```
#include <linux/init.h>
#include <linux/module.h>
#include "md.h"

MODULE_LICENSE("GPL");
MODULE_AUTHOR("Furdik");
MODULE_DESCRIPTION("Lab3");

char* md1_str_data = "Привет из модуля 1!";
int md1_int_data = 111;

extern char* md1_get_str(int n)
{
    printk(KERN_INFO "MODULE1: md1_get_str(%d) called\n", n);
    switch (n)
    {
        case 1:
            return "Привет!";
            break;
        case 2:
            return "Пока!";
            break;
        default:
            return "Передайте 1 для приветствия или 2 для прощания";
            break;
    }
}

extern int md1_factorial(int n)
{
    printk(KERN_INFO "MODULE1: md1_factorial(%d) called\n", n);

    int i, answer = 1;

    if (n <= 0)
        return 0;

    for (i = 2; i <= n; i++)
        answer *= i;
}
```

```

    return answer;
}

EXPORT_SYMBOL(md1_str_data);
EXPORT_SYMBOL(md1_int_data);
EXPORT_SYMBOL(md1_get_str);
EXPORT_SYMBOL(md1_factorial);

static int __init my_module_init(void)
{
    printk(KERN_INFO "MODULE1: loaded\n");
    return 0;
}

static void __exit my_module_exit(void)
{
    printk(KERN_INFO "MODULE1: unloaded\n");
}

module_init(my_module_init);
module_exit(my_module_exit);

```

Листинг 3: Листинг кода вызывающего модуля md2

```

#include <linux/init.h>
#include <linux/module.h>
#include "md.h"

MODULE_LICENSE("GPL");
MODULE_AUTHOR("Furdik");
MODULE_DESCRIPTION("Lab3");

static int __init my_module_init(void)
{
    printk(KERN_INFO "MODULE2: loaded\n");
    printk(KERN_INFO "MODULE2: Число экспортированное из md1 : %d\n", md1_int_data);
    printk(KERN_INFO "MODULE2: Строка экспортированная из md1 : %s\n", md1_str_data);
    printk(KERN_INFO "MODULE2: Результат работы функции md1_get_str(10) : %s\n",
           md1_get_str(10));
    printk(KERN_INFO "MODULE2: Результат работы функции md1_get_str(1) : %s\n", md1_get_str(1));
    printk(KERN_INFO "MODULE2: Результат работы функции md1_get_str(2) : %s\n", md1_get_str(2));
    printk(KERN_INFO "MODULE2: Результат работы функции md1_factorial(10) : %d\n",
           md1_factorial(10));
    return 0;
}

static void __exit my_module_exit(void)
{
    printk(KERN_INFO "MODULE2: unloaded\n");
}

```

```
module_init(my_module_init);  
module_exit(my_module_exit);
```

Листинг 4: Листинг кода "отладочного" модуля md3

```
#include <linux/init.h>  
#include <linux/module.h>  
#include "md.h"  
  
MODULE_LICENSE("GPL");  
MODULE_AUTHOR("Furdik");  
MODULE_DESCRIPTION("Lab3");  
  
static int __init my_module_init(void)  
{  
    printk(KERN_INFO "MODULE3: loaded\n");  
    printk(KERN_INFO "MODULE3: Число экспортированное из md1 : %d\n", md1_int_data);  
    printk(KERN_INFO "MODULE3: Строка экспортированная из md1 : %s\n", md1_str_data);  
    printk(KERN_INFO "MODULE3: Результат работы функции md1_get_str(2) : %s\n", md1_get_str(10));  
    printk(KERN_INFO "MODULE3: Результат работы функции md1_get_str(0) : %s\n", md1_get_str(1));  
    printk(KERN_INFO "MODULE3: Результат работы функции md1_get_str(1) : %s\n", md1_get_str(2));  
    printk(KERN_INFO "MODULE3: Результат работы функции md1_factorial(4) : %d\n", md1_factorial(10));  
    return -1;  
}  
  
module_init(my_module_init);
```

Результат работы

1. Скомпилируем модули ядра и загрузим первые два из них, проверив успешную загрузку с помощью списка загруженных модулей ядра.

```
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ make  
make -C /lib/modules/5.3.0-51-generic/build M=/home/schoolboychik/lab3/task2 modules  
make[1]: вход в каталог «/usr/src/linux-headers-5.3.0-51-generic»  
CC [M] /home/schoolboychik/lab3/task2/md1.o  
/home/schoolboychik/lab3/task2/md1.c: In function 'md1_factorial':  
/home/schoolboychik/lab3/task2/md1.c:33:3: warning: ISO C90 forbids mixed declarations and code [-Wdeclaration-after-statement]  
    int i, answer = 1;  
    ^~~  
CC [M] /home/schoolboychik/lab3/task2/md2.o  
CC [M] /home/schoolboychik/lab3/task2/md3.o  
Building modules, stage 2.  
MODPOST 3 modules  
CC /home/schoolboychik/lab3/task2/md1.mod.o  
LD [M] /home/schoolboychik/lab3/task2/md1.ko  
CC /home/schoolboychik/lab3/task2/md2.mod.o  
LD [M] /home/schoolboychik/lab3/task2/md2.ko  
CC /home/schoolboychik/lab3/task2/md3.mod.o  
LD [M] /home/schoolboychik/lab3/task2/md3.ko  
make[1]: выход из каталога «/usr/src/linux-headers-5.3.0-51-generic»
```



```
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo insmod md1.ko
[sudo] пароль для schoolboychik:
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo insmod md2.ko
```

Как видно из вывода команды `lsmod`, модуль `md1` используется модулем `md2`. Следовательно, важен порядок загрузки/выгрузки: загружать нужно сначала `md1`, затем `md2`; выгрузка должна происходить в обратном порядке.

```
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ lsmod | grep md
md2                16384  0
md1                16384  1 md2
ssuata_simd        16384  1 ssuata_intel
```

Пример ошибочного и правильного порядков выгрузки:

```
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo rmmod md1
rmmod: ERROR: Module md1 is in use by: md2
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo rmmod md2
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo rmmod md1
```

2. Просмотрим сообщения буфера ядра, записанные в логи:

```
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo dmesg | grep MODULE
[ 1583.556582] MODULE1: loaded
[ 1589.235665] MODULE2: loaded
[ 1589.235666] MODULE2: Число экспортированное из md1 : 111
[ 1589.235667] MODULE2: Строка экспортированная из md1 : Привет из модуля 1!
[ 1589.235667] MODULE1: md1_get_str(1) called
[ 1589.235674] MODULE2: Результат работы функции md1_get_str(1) : Привет!
[ 1589.235674] MODULE1: md1_factorial(10) called
[ 1589.235675] MODULE2: Результат работы функции md1_factorial(10) : 3628800
```

3. Выгрузим модули ядра в правильном порядке:

```
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo rmmod md1
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo dmesg | tail
[ 2472.328773] MODULE1: md1_get_str(10) called
[ 2472.328774] MODULE2: Результат работы функции md1_get_str(10) : Передайте 1 д
ля приветствия или 2 для прощания
[ 2472.328774] MODULE1: md1_get_str(1) called
[ 2472.328775] MODULE2: Результат работы функции md1_get_str(1) : Привет!
[ 2472.328775] MODULE1: md1_get_str(2) called
[ 2472.328776] MODULE2: Результат работы функции md1_get_str(2) : Пока!
[ 2472.328776] MODULE1: md1_factorial(10) called
[ 2472.328776] MODULE2: Результат работы функции md1_factorial(10) : 3628800
[ 2573.281988] MODULE2: unloaded
[ 2574.949243] MODULE1: unloaded
```

4. Теперь загрузим вызываемый и "отладочный" модули, последний из которых преднамеренно возвращает ненулевое значение, что означает ошибку инициализации модуля.

```
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo insmod md1.ko
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo insmod md3.ko
insmod: ERROR: could not insert module md3.ko: Operation not permitted
```

```

schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo dmesg | grep "\[ 16"
[ 1681.891903] MODULE2: unloaded
[ 1683.819228] MODULE1: unloaded
[ 1692.135433] MODULE1: loaded
[ 1695.360438] MODULE3: loaded
[ 1695.360439] MODULE3: Число экспортированное из md1 : 111
[ 1695.360440] MODULE3: Строка экспортированная из md1 : Привет из модуля 1!
[ 1695.360440] MODULE1: md1_get_str(1) called
[ 1695.360441] MODULE3: Результат работы функции md1_get_str(0) : Привет!
[ 1695.360441] MODULE1: md1_factorial(10) called
[ 1695.360442] MODULE3: Результат работы функции md1_factorial(4) : 3628800

```

"Отладочный" модуль не будет подгружен к ядру, однако это станет известно уже после выполнения кода инициализирующей функции модуля в пространстве ядра:

```

schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ lsmod | grep md
md1                16384  0
crypto_simd         16384  1 aesni_intel
cryptd              24576  2 crypto_simd,ghash_clmulni_intel
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$

```

5. Продемонстрируем ошибочную ситуацию. В данных модулях продемонстрирована работа экспортируемых данных и функций: модуль md1 экспортирует переменные md1_str_data и md1_int_data, которые импортируют модули md2 и md3. Поскольку md2 и md3 импортируют данные из модуля md1, то они не могут быть загружены до загрузки модуля md1:

```

schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo lsmod | grep md
[sudo] пароль для schoolboychik:
crypto_simd         16384  1 aesni_intel
cryptd              24576  2 crypto_simd,ghash_clmulni_intel
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo insmod md2.ko
insmod: ERROR: could not insert module md2.ko: Unknown symbol in module
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$ sudo insmod md3.ko
insmod: ERROR: could not insert module md3.ko: Unknown symbol in module
schoolboychik@schoolboychik-VirtualBox:~/lab3/task2$

```

Литература

1. Рязанова Н.Ю. - Курс лекций по "Операционным системам"[Текст], Москва 2020 год.
2. У. Ричард Стивенс, Стивен А. Раго - UNIX. Профессиональное программирование. 3-е изд. - Москва: Питер, 2018. - 944 с.