**Лабораторная работа «Загружаемые модули ядра»**

**Цель работы:** знакомство с базовыми принципами разработки и взаимодействия с загружаемыми модулями ядра ОС Linux.

**Теоретическая часть**

**Макросы module\_init и module\_init**

Загружаемые модули ядра должны содержать два макроса **module\_init** и **module\_exit**.

**Макрос module\_init**

Служит для регистрации функции инициализации модуля. Макрос принимает имя функции в качестве фактического параметра. В результате эта функция будет вызываться, при загрузке модуля в ядро. Передаваемая функция должна соответствовать следующему прототипу:

int func\_init(void);

Функция возвращает значение типа int. Если функция инициализации завершилась успешно, то возвращается значение ноль. В случае ошибки возвращается ненулевое значение.

Как правило, функция инициализации предназначена для запроса ресурсов и выделения памяти под структуры данных и т.п.. Так как функция инициализации редко вызывается за пределами модуля, ее обычно не нужно экспортировать и можно объявить с ключевым словом static.

Если функция не передается в макрос, то код, который необходимо выполнить при загрузке модуля может быть написан в самом макросе.

Определение макроса module\_init:

#define \_\_initcall(fn) \

static initcall\_t \_\_initcall\_##fn \_\_init\_call = fn

#define \_\_init\_call \_\_attribute\_\_ \

((unused,\_\_section\_\_ ("function\_ptrs")))

#define module\_init(x) \_\_initcall(x);

**Макрос module\_exit**

Макрос служит для регистрации функции, которая вызывается при удалении модуля из ядра. Обычно эта функция выполняет задачу освобождения ресурсов. После завершения функции модуль выгружается.

Функция завершения должна соответствовать прототипу:

void func\_exit(void);

Функцию завершения, как и инициализации, можно объявить как static.

Пример простого загружаемого модуля ядра:

static int \_\_init md\_init( void )

{

printk( "Module md loaded!\n" );

return 0;

}

static void \_\_exit md\_exit( void )

{

printk( "Module unloaded!\n" );

}

module\_init( md\_init );

module\_exit( md\_exit );

**Коментарии к примеру:**

В предложенном коде используются макросы \_\_init, \_\_exit а также функция printk. Макрос \_\_init используются для обозначения функций, встраиваемых в ядро, или инициализированных данных, которые ядро воспринимает как указание о том, что функция используется только на этапе инициализации и освобождает использованные ресурсы после. Это позволяет экономить ресурсы системы.

В ядре макрос определяется следующим образом:

#define \_\_init \_\_section(.init.text) \

\_\_cold \_\_latent\_entropy \_\_noinitretpoline

The \_\_exit macro causes the omission of the function when the module is built into the kernel, and like \_\_exit, has no effect for loadable modules. Again, if you consider when the cleanup function runs, this makes complete sense; built-in drivers don't need a cleanup function, while loadable modules do.

В ядре макрос определяется следующим образом:

#define \_\_exit \_\_section(.exit.text) \

\_\_exitused \_\_cold notrace

Макросы **\_\_init** и **\_\_exit** определены в linux/init.h.

<https://elixir.bootlin.com/linux/v3.14/source/include/linux/init.h>

Если файл будет статически скомпилирован с образом ядра, то данная функция не будет включена в образ и никогда не будет вызвана (так как если нет модуля, то код никогда не может быть удален из памяти).

Функция printk определена в ядре Linux и доступна модулям. Функция ведёт себя аналогично библиотечной функции printf. Став частью ядра модуль не может вызывать обычные библиотечные функции, поэтому ядро предоставляет модулю функцию printk.

Функция printk позволяет отправлять сообщения в системный журнал. Сама функция не производит запись в системный журнал, a записывает сообщение в специальный буфер ядра. Из буфера ядра записанные сообщения могут быть прочитаны демоном протоколирования.

Пример использования функции printk :

int var = 1;

printk(KERN\_INFO "var = %d\n", var);

где KERN\_INFO - уровень протоколирования сообщения.

Система поддерживает восемь уровней протоколирования, показанных в таблице 1. Все константы определены в файле linux/kernel.h.

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Уровень** | **Константа** | **Описание** |
| 7 | KERN\_DEBUG | Отладочные сообщения, самый низкий приоритет |
| 6 | KERN\_INFO | Информационные сообщения |
| 5 | KERN\_NOTICE | Это уже не информационное сообщение, но еще и не предупреждение |
| 4 | KERN\_WARNING | Предупреждение: скоро может пойти что-то не так |
| 3 | KERN\_ERR | Возникла ошибка |
| 2 | KERN\_CRIT | Возникла критическая ошибка |
| 1 | KERN\_ALERT | Тревога — система скоро "развалится" |
| 0 | KERN\_EMERG | Система "развалилась" (система больше не может использоваться) |

Стоит обратить внимание на то, что после уровня протоколирования не стоит запятая, так как она является частью строки форматирования, это сделано в системе для экономии памяти стека при вызове функции.

**Макросы для установки информации о модуле**

Макросы MODULE\_LICENSE, MODULE\_AUTHOR, MODULE\_DESCRIPTION, MODULE\_SUPPORTED\_DEVICE, MODULE\_VERSION — это макросы, которые «дают» linux информацию о модуле, которую потом можно получить с помощью команды modinfo. Описание макросов содержится в файле linux/module.h.

**Макрос MODULE\_LICENSE**

Макрос используется для того, чтобы сообщить ядру, под какой лицензией распространяется исходный код модуля, что влияет на то, к функциям и переменным (символы ядра) он может получить доступ в ядре. Например, модуль под лицензией GPLv2 имеет доступ ко всем символам ядра. Без этой декларации при загрузке модуля ядро выводит предупреждение.

Поддерживаемые варианты:

|  |  |
| --- | --- |
| **Параметр** | **Значение** |
| "GPL" | [GNU Public License v2 or later] |
| "GPL v2" | [GNU Public License v2] |
| "GPL and additional rights" | [GNU Public License v2 rights and more] |
| "Dual BSD/GPL" | [GNU Public License v2 or BSD license choice] |
| "Dual MIT/GPL" | [GNU Public License v2 or MIT license choice] |
| "Dual MPL/GPL" | [GNU Public License v2 or Mozilla license choice] |
| "Proprietary" | [Non free products] |

Загрузка в память модуля, для которого лицензия не соответствует GPL, приведет к установке в ядре флага tainted (испорчено), который служит для информационных целей (например, в сообщениях об ошибках).

Пример использования:

MODULE\_LICENSE("GPL");

**Макрос MODULE\_AUTHOR**

Позволяет указать автора модуля. Значение этого макроса служит только для информационных целей.

Пример использования:

MODULE\_AUTHOR("Author");

**Макрос MODULE\_DESCRIPTION**

Позволяет указать описание модуля. Значение этого макроса служит только для информационных целей.

**Макрос MODULE\_SUPPORTED\_DEVICE**

Помещает запись, описывающую, какое устройство поддерживается этим модулем. Комментарии в источниках ядра предполагают, что в конечном итоге эти параметры могут использоваться для автоматической загрузки модулей, но в настоящее время такое использование не производится.

**Макрос MODULE\_VERSION**

Позволяет указать версию модуля. Значение этого макроса служит только для информационных целей.

**Экспортируемые символы**

Экспортируемыми символами называются данные и функции, которыми могут пользоваться другие модули ядра. При загрузке модули динамически компонуются с ядром, в коде модулей могут вызываться только те функции ядра, которые явно экспортируются для использования.

**Макрос EXPORTOL**

В ядре экспортирование осуществляется с помощью специального макроса EXPORT\_SYMBOL(). Функции, которые экспортируются, доступны для использования модулям, остальные функции не могут быть вызваны из модулей. Для экспортируемых данных правило аналогично.

Пример использования:

int md1\_data = 42; // экспортируемые данные

extern int md1\_func(int n) // экспортируемая функция

{

return n \* 2;

}

EXPORT\_SYMBOL(md1\_data);

EXPORT\_SYMBOL(md1\_func);

Для того, чтобы другие модули могли использовать эспортированные символы, они должны “знать” их определение. Для этого применяются заголовочные файлы.

Пример заголовочного файла:

extern int md1\_data;

extern int md1\_func(int n);

**Макрос EXPORT\_SYMBOL\_GPL**

Иногда необходимо, чтобы символы были доступны только для модулей, имеющих соответствующую лицензию GPL. Для этого используют макрос EXPORT\_SYMBOL\_GPL().

**Команды linux для работы с загружаемыми модулями**

В OC Linux существуют специальные команды для работы с загружаемыми модулями ядра.

**insmod**

Загружает модуль в ядро из конкретного файла, если модуль зависит от других модулей, которые не загружены в ядро, то выдает ошибку и не загружает модуль. Только суперпользователь может загрузить модуль в ядро.

Пример использования: sudo insmod ./md.ko

**lsmod**

Выводит список модулей, загруженных в ядро.

**modinfo**

Извлекает информацию из модулей ядра (лицензия, автор, описание и т.д.).

Пример использования:

modinfo md.ko

filename: /home/alexander/Develop/OS/Kernel/TASK1/md.ko

author: Sychev Svyatoslav

license: GPL

srcversion: 10E5B7B44C5B0320F3FC7B2

depends:

name: md

vermagic: 4.13.0-32-generic SMP mod\_unload

**rmmod**

Команда используется для выгрузки модуля из ядра, в качестве параметра передается имя файла модуля. Только суперпользователь может выгрузить модуль из ядра.

Пример использования: sudo rmmod md1.ko

**dmesg**

Команда для вывода буфера сообщений ядра в стандартный поток вывода. Сообщения содержат информацию о драйверах устройств, загружаемых в ядро во время загрузки системы, а также при подключении аппаратного обеспечения к системе.

Замечание: системный журнал используется большим числом процессов, и для того чтобы было легче обнаружить сообщения конкретного модуля, рекомендуется в их начало помещать некоторый идентификатор (к примеру знак + или имя модуля). В этом случае просмотреть сообщения от модуля можно при помощи команды:

dmesg | tail -n60 | grep +

**Работа с деревом модулей**

Команда для загрузки модуля из дерева ядра со всеми зависимостями:

sudo modprobe

Команда работает только с деревом модулей, загрузка возможно только по имени модуля, а не имени файла. Используется для подгрузки готовых модулей, включенных в дерево модулей текущей версии ядра.

Для получения списка всех модулей из дерева каталогов, нужно выполнить команду:

find /lib/modules/`uname -r` -name '\*.ko'

Вместо `uname -r` подставляется текущая версия ядра.

Для выгрузки модуля и всех модулей, которые зависят от него, используется команда:

sudo modprobe -r

Для создания списка зависимостей модулей используется команда:

sudo depmod -a

Данная команда считывает каждый модуль из каталога /lib/modules/`uname -r` и определяет, какие символы они экспортируют. Результат работы команды хранится в файле modules.dep в каталоге /lib/modules/`uname -r`.

Пример файла modules.dep:

...

md1.ko:

md2.ko: md1.ko

...

Замечание:

Модуль md2.ko использует символы из md1.ko, а модулю md1.ko для работы другие модули не нужны.

**Задания на лабораторную работу**

**Задание 1**

Реализовать загружаемый модуль ядра, который при загрузке записывает в системный журнал сообщение “Hello world!”, а при выгрузке “Good by”. Модуль должен собираться при помощи Make-файла.

Загружаемый модуль должен содержать:

* Указание лицензии GPL
* Указание автора

**Задание 2**

Реализовать три загружаемых модуля ядра:

* Вызываемый модуль md1
* Вызывающий модуль md2
* «Отладочный» модуль md3

Каждый загружаемый модуль должен содержать:

* Указание лицензии GPL
* Указание автора

Загружаемые модули должны собираться при помощи Make-файла (сборка командой make). **Вызов каждой функции модуля должен сопровождаться записью в системный журнал** информации, какая функция какого модуля была вызвана.

**Модуль md1**

Модуль md1 демонстрирует возможность создания экспортируемых данных и функций. Данный модуль ядра должен содержать:

* Экспортируемые строковые (char \*) и численные (int) данные.
* Экспортируемые функции возвращающие строковые и числовые значения.

Например:

* + Функция, возвращающая в зависимости от переданного целочисленного параметра различные строки (на усмотрение студента);
  + Функция, производящая подсчет факториала переданного целочисленного параметра;
  + Функция возвращающая 0;

**Модуль md2**

Модуль md2 демонстрирует использование данных и функций экспортируемых первым модулем (md1).

Данный модуль должен при загрузке:

* Вызывать все экспортированные модулем md1 процедуры и вывести в системный журнал возвращаемые ими значения с указанием имени вызванной процедуры.
* Вывести в системный журнал все экспортированные модулем md1 данные.

**Модуль md3**

Модуль md3 демонстрирует сценарий некорректного завершения установки модуля, и возможность использования загружаемого модуля в качестве функции выполняемой в пространстве ядре.

Процедура инициализации этого загружаемого модуля должна возвращать ненулевое значение и выводить в системный журнал данные и возвращаемые значения экспортированных модулем md1 процедур (аналогично md2).

Данный модуль включен в работу для проработки вопросов, связанных с отладкой модулей ядра.

**Make-файл**

Make-файл должен быть написан так, чтобы при вызове команды make происходила компиляция всех реализованных загружаемых модулей. Это позволит упростить процесс компиляции. Также Make-файл должен содержать правило clean для очистки директории от промежуточных файлов компиляции.

Пример Make-файла предназначенного для сборки и компиляции загружаемого модуля ядра:

ifneq ($(KERNELRELEASE),)

obj-m := md.o

else

CURRENT = $(shell uname -r)

KDIR = /lib/modules/$(CURRENT)/build

PWD = $(shell pwd)

default:

$(MAKE) -C $(KDIR) M=$(PWD) modules

clean:

@rm -f \*.o .\*.cmd .\*.flags \*.mod.c \*.order

@rm -f .\*.\*.cmd \*~ \*.\*~ TODO.\*

@rm -fR .tmp\*

@rm -rf .tmp\_versions

disclean: clean

@rm \*.ko \*.symvers

endif

// $(MAKE) - вызов MAKE в режиме ядра.