



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

НА ТЕМУ:

Реализация межсетевого экрана

Студент ИУ7-72Б
(Группа)

(Подпись, дата) Е.В. Брянская
(И.О.Фамилия)

Руководитель курсового проекта

(Подпись, дата) Н.Ю. Рязанова
(И.О.Фамилия)

2021 г.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ИУ7
(Индекс)
И.В. Рудаков
(И.О.Фамилия)
« ____ » _____ 2021 г.

З А Д А Н И Е на выполнение курсового проекта

по дисциплине Операционные системы

Студент группы ИУ7-72Б

Брянская Екатерина Вадимовна
(Фамилия, имя, отчество)

Тема курсового проекта Реализация межсетевого экрана

Направленность КП (учебный, исследовательский, практический, производственный, др.)
учебный

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) кафедра

График выполнения проекта: 25% к 4 нед., 50% к 7 нед., 75% к 11 нед., 100% к 14 нед.

Задание Разработать межсетевой экран, осуществляющий контроль проходящего через него сетевого трафика, в виде загружаемого модуля, который использует для обработки пакетов символьное устройство. Предоставить пользователю возможность редактирования списка правил фильтрации и изменение видимости модуля в системе.

Оформление курсового проекта:

Расчетно-пояснительная записка на 20-30 листах формата А4.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать постановку задачи, введение, аналитическую, конструкторскую, технологическую части, заключение, список литературы.

Перечень графического (иллюстративного) материала (чертежи, плакаты, слайды и т.п.): на защиту работы должна быть предоставлена презентация, состоящая из 15-20 слайдов.

На слайдах должны быть отражены: постановка задачи, использованные методы и алгоритмы, расчетные соотношения, структура комплекса программ, интерфейс.

Дата выдачи задания «27» сентября 2021 г.

Руководитель курсового проекта	<u>Н.Ю. Рязанова</u> (Подпись, дата)	(И.О.Фамилия)
Студент	<u>Е.В. Брянская</u> (Подпись, дата)	(И.О.Фамилия)

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Аналитический раздел	6
1.1 Постановка задачи	6
1.2 Анализ процесса передачи информации	6
1.3 Загружаемые модули ядра	7
1.4 Анализ способа изменения видимости модуля	8
1.5 Анализ и выбор устройства для межсетевого экрана	9
1.6 Анализ точек перехватов пакетов	10
Выводы	12
2 Конструкторский раздел	13
2.1 IDEF0	13
2.2 Поддерживаемые возможности межсетевого экрана	14
2.3 Структура программного обеспечения	15
2.4 Алгоритм инициализации межсетевого экрана	15
2.5 Алгоритм завершения работы межсетевого экрана	17
2.6 Алгоритм чтения правил межсетевого экрана	18
2.7 Алгоритм обработки запроса	19
2.8 Алгоритм добавления правил	20
2.9 Алгоритм удаления правила	21
2.10 Алгоритм фильтрации пакетов	22
3 Технологический раздел	24
3.1 Выбор языка программирования	24
3.2 Структура загружаемого модуля	24
3.3 Сборка и запуск модуля	25
3.4 Функция фильтрации пакетов	25

4	Исследовательский раздел	28
4.1	Команды и формат задания правил	28
4.2	Видимость модуля	29
4.3	Фильтрация по протоколу	29
4.4	Фильтрация по IP-адресу	32
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	34
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	35
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	37

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач обеспечения безопасности взаимодействия процессов в распределённых системах является задача защиты отдельного хоста от потенциально вредоносных сообщений.

Для этого используется специальное программное средство: **межсетевой экран** (также известный, как сетевой фильтр, брандмауэр, Firewall), разработке которого и посвящена данная работа.

1 Аналитический раздел

1.1 Постановка задачи

В соответствии с заданием на курсовую работу необходимо разработать межсетевой экран, осуществляющий контроль проходящего сетевого трафика, в виде загружаемого модуля.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) ознакомиться с основными принципами работы отдельных узлов распределённой системы и межсетевых экранов;
- 2) ознакомиться со способом перехвата поступающих на хост пакетов;
- 3) выбрать тип устройства для перехвата входящих и исходящих пакетов;
- 4) разработать формат задания пользователем правил фильтрации пакетов и изменения видимости модуля в системе;
- 5) реализовать межсетевой экран.

1.2 Анализ процесса передачи информации

В распределённых системах информация передаётся в виде пакетов по протоколам. Передаваемые данные подвергаются процессам инкапсуляции и декапсуляции, в процессе которых каждый пакет проходит все уровни модели OSI (таблица 1) [1].

Таблица 1: Модель OSI

№	Название
7	Прикладной уровень
6	Уровень представления
5	Сеансовый уровень
4	Транспортный уровень
3	Сетевой уровень
2	Канальный уровень
1	Физический уровень

Широко распространённым средством перехвата и анализа входящих и исходящих пакетов принято называть межсетевым экраном. Он позволяет защищать как отдельный хост (рисунок 1), так и крупную сеть, в таком случае применяются аппаратно-программные комплексы.

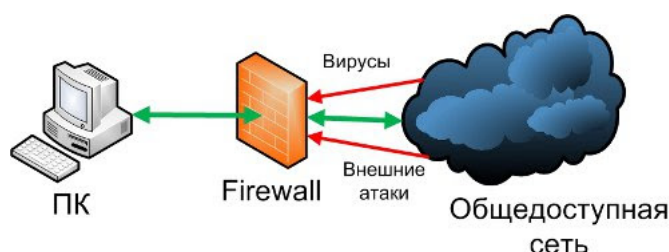


Рисунок 1 – Принцип работы межсетевого экрана

Фильтрация пакетов происходит на пакетном уровне (уровни 3 и 4 модели OSI [2]), и при их обработке учитывается информация об IP-адресе источника/назначения, номере порта источника/назначения и протоколе.

1.3 Загружаемые модули ядра

Для того, чтобы добавить новые функции в ядро Linux, нужно либо перекомпилировать его (что небезопасно), либо воспользоваться загружаемым мо-

дулем ядра [3].

После загрузки модуля он становится частью операционной системы и ему доступны все структуры и функции ядра. Когда функциональность, предоставляемая модулем, больше не требуется, то он может быть выгружен.

Модули загружаются и выгружаются с помощью специальных команд, приведённых в Листинге 1.

Листинг 1: Команды для загрузки и выгрузки загружаемого модуля ядра

```
1 insmod имя< модуля.ko>           // загрузить модуль в ядро
2 rmmod имя< модуля>                // выгрузить модуль из ядра
```

Загружаемый модуль ядра должен иметь определённую структуру. Обязательной частью любого загружаемого модуля являются:

- функция загрузки (инициализации) модуля;
- функция выгрузки модуля;
- макросы `module_init(init_func)`, `module_exit(exit_func)`;
- макрос `MODULE_LICENSE(char* license)`.

1.4 Анализ способа изменения видимости модуля

Для того, чтобы заинтересованный пользователь не смог удалить средство контроля трафика, его необходимо сделать невидимым. Удаляя соответствующий элемент из связного списка модулей, он становится скрытым, и система не может предоставить информацию о данном загружаемом модуле.

Для взаимодействия со списком модулей необходимо использовать структуру **struct list_head** и функции **list_add**, **list_del**. Перед удалением модуля из списка, следует сохранить его указатель для обеспечения возможности восстановить его видимость [7].

Структура **struct module** (Листинг 2), описывающая модуль, предоставляет доступ к связному списку, где поле `list` – его элемент.

Листинг 2: struct module

```
1 struct module
2 {
3     enum module_state state;
4     struct list_head list; /* Member of list of modules */
5     char name[MODULE_NAME_LEN]; /* Unique handle for this module */
6     ...
7 };
```

1.5 Анализ и выбор устройства для межсетевого экрана

Как правило, для реализации межсетевых экранов используется **char** устройства [4], но поскольку разрабатываемый модуль предназначен только для одной задачи, рекомендуется использовать **misc** устройство [4, 5].

Для работы со специальными файлами в обоих случаях используется структура **struct file_operations** (Листинг 3).

Листинг 3: struct file_operations

```
1 struct file_operations {
2     struct module *owner;
3     ...
4     ssize_t (*read) (struct file *, char __user *, size_t, loff_t *);
5     ssize_t (*write) (struct file *, const char __user *, size_t, loff_t *);
6     ...
7     int (*open) (struct inode *, struct file *);
8     ...
9     int (*release) (struct inode *, struct file *);
10    ...
11 }
```

Указатель на неё хранится в структуре – **struct miscdevice** (Листинг 4).

Листинг 4: struct miscdevice

```
1 struct miscdevice {
2     int minor;
3     const char *name;
4     struct file_operations *fops;
```

```

5     umode_t i_mode;
6     struct miscdevice *next, *prev;
7 };

```

Старший номер misc устройства задан и равен 10, младший должен быть определён разработчиком, либо создан динамически, если указано значение MISC_DYNAMIC_MINOR в поле minor структуры struct miscdevice [8]. Для char устройства необходимо задавать и старший, и младший номера.

Функции для регистрации и удаления приведены в Листинге 5. В процессе регистрации автоматически создаётся misc драйвер.

Листинг 5: Функции для регистрации и удаления misc устройства

```

1     int misc_register(struct miscdevice *misc);    // регистрация
2     int misc_deregister(struct miscdevice *misc); // удаление

```

1.6 Анализ точек перехватов пакетов

Существует 5 точек (рисунок 2), в которых пакет может быть перехвачен:

- 1) NF_INET_PRE_ROUTING – для всех входных пакетов;
- 2) NF_INET_LOCAL_IN – используется, чтобы перехватить пакеты, предназначенные для локального процесса;
- 3) NF_INET_FORWARD – используется для пакетов, предназначенных для другого интерфейса;
- 4) NF_INET_LOCAL_OUT – для пакетов, которые создают локальные процессы;
- 5) NF_INET_POST_ROUTING – для пакетов, которые уже настроены для дальнейшего прохождения по сети к своему адресату и готовы покинуть текущий сетевой стек.

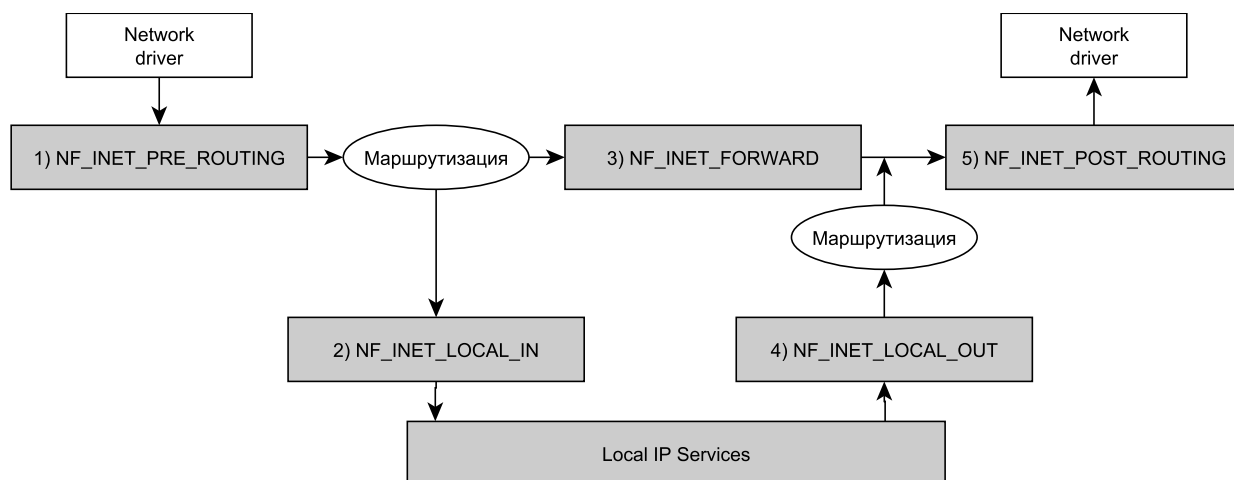


Рисунок 2 – Путь сетевого пакета

На этих точках могут быть определены функции перехвата, которые называются **хук-функциями**. Для их определения необходима структура **struct nf_hook_ops** (Листинг 6).

Листинг 6: struct nf_hook_ops

```

1 struct nf_hook_ops {
2     nf_hookfn      *hook;
3     ...
4     u_int8_t       pf;
5     unsigned int    hooknum;
6     int             priority;
7 };
  
```

В структуре находятся поля:

- **hook** – функция, которая будет вызвана для обработки пакета, принимается решение отбросить или принять пакет;
- **pf** – семейство протоколов;
- **hooknum** – точка перехвата;
- **priority** – приоритет.

Регистрация и удаление хуков осуществляется посредством вызова функ-

ций, которые представлены в Листинге 7.

Листинг 7: Функции для регистрации и удаления хук-функций

```
1 // регистрация
2 int nf_register_net_hook(struct net *net, const struct nf_hook_ops *ops);
3
4 // удаление
5 void nf_unregister_net_hook(struct net *net, const struct nf_hook_ops *
ops);
```

Выводы

В результате сравнительного анализа для реализации межсетевого экрана было выбрано `misc` устройство, для которого автоматически создаётся соответствующий `misc` драйвер, ориентированный на выполнение конкретной задачи. Для перехвата входящих и исходящих сетевых пакетов предлагается использовать хук-функции, определённые на точках перехвата до маршрутизации и после неё. Для увеличения безопасности работы загружаемого модуля предлагается способ его сокрытия в системе посредством удаления соответствующего элемента из связного списка модулей.

2 Конструкторский раздел

2.1 IDEF0

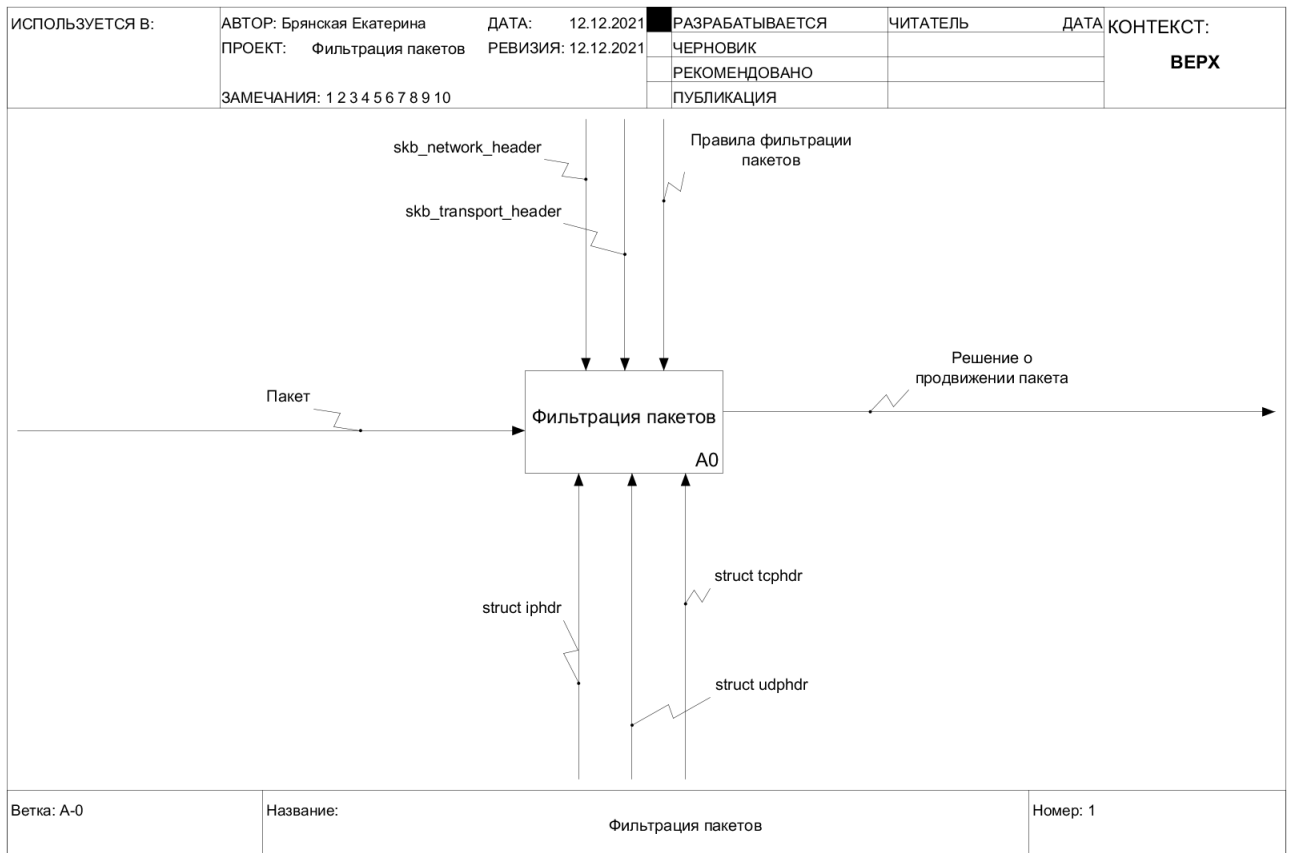


Рисунок 3 – Анализ входных и выходных данных

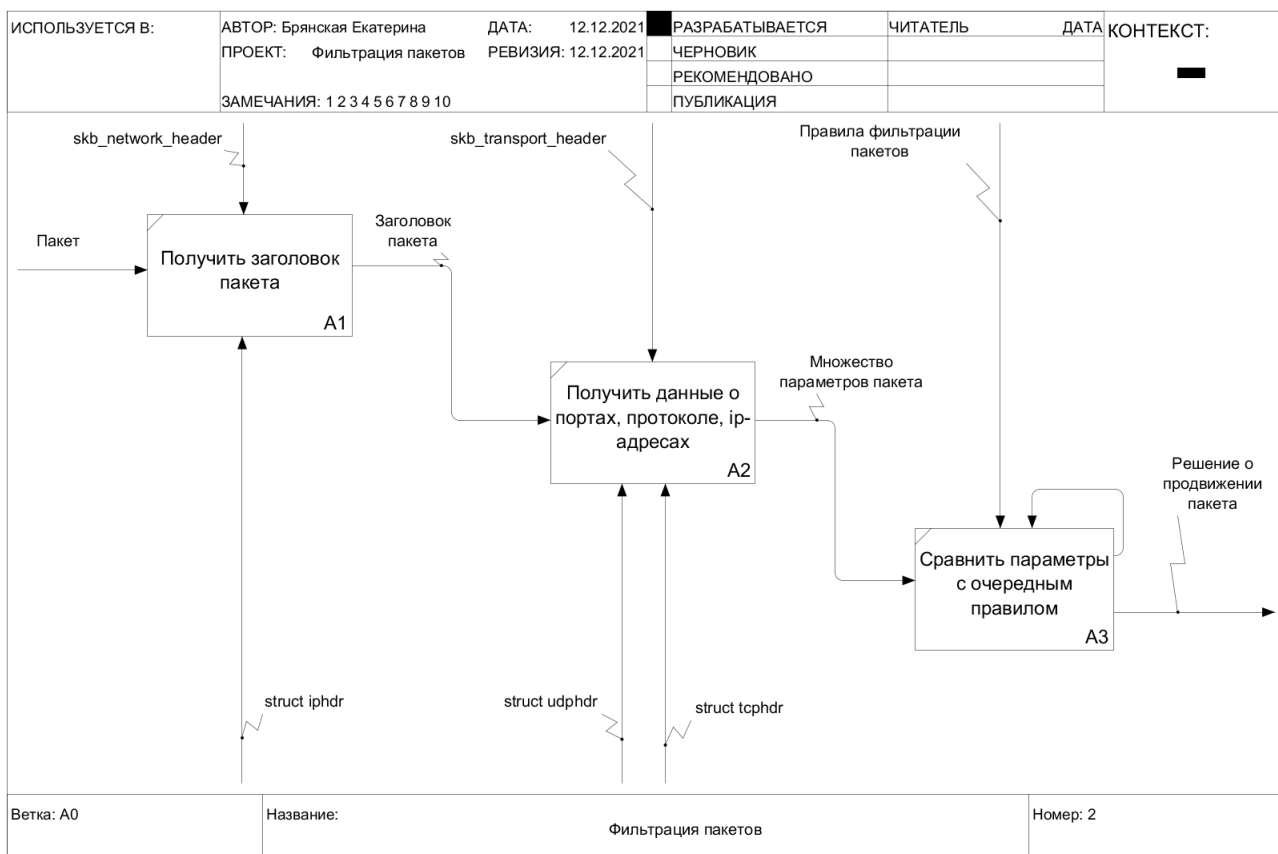


Рисунок 4 – Последовательность преобразований

2.2 Поддерживаемые возможности межсетевого экрана

В соответствии с параграфом 1.1 межсетевой экран должен предоставлять следующие возможности:

- добавление нового правила;
- удаление правила;
- просмотр всех правил;
- сокрытие модуля в системе;
- обнаружение модуля в системе.

Для непосредственного взаимодействия с пользователем необходимо разработать отдельную программу, представляющую из себя интерфейс для работы с загружаемым модулем. Программа выполняет не только функцию связующего звена между пользователем и межсетевым экраном, но и проверку вход-

ных данных: корректность вводимых команд и правил.

2.3 Структура программного обеспечения

Составляющие проекта приведены на Рисунке 5.

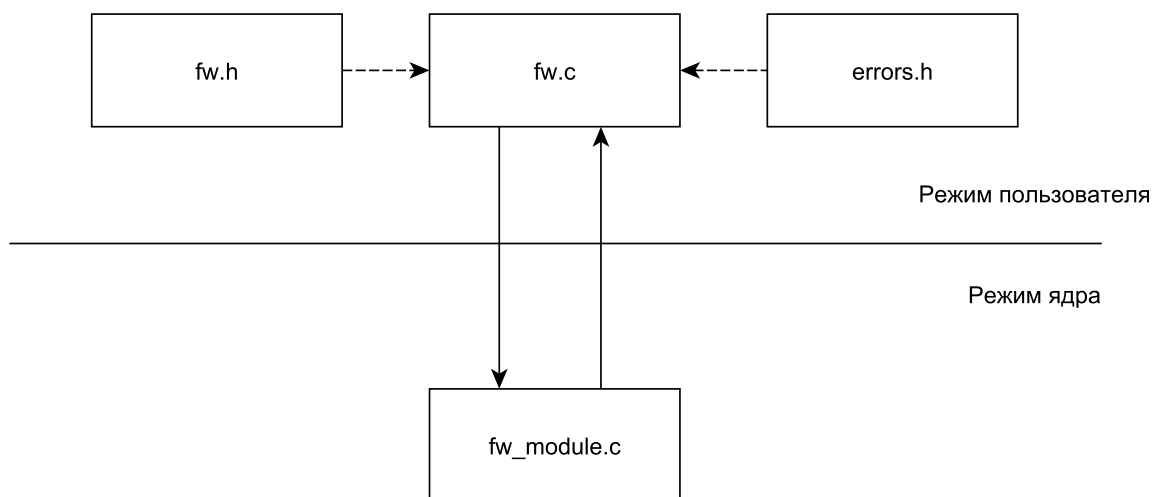


Рисунок 5 – Структура ПО

2.4 Алгоритм инициализации межсетевого экрана

На Рисунке 6 представлен алгоритм инициализации межсетевого экрана.

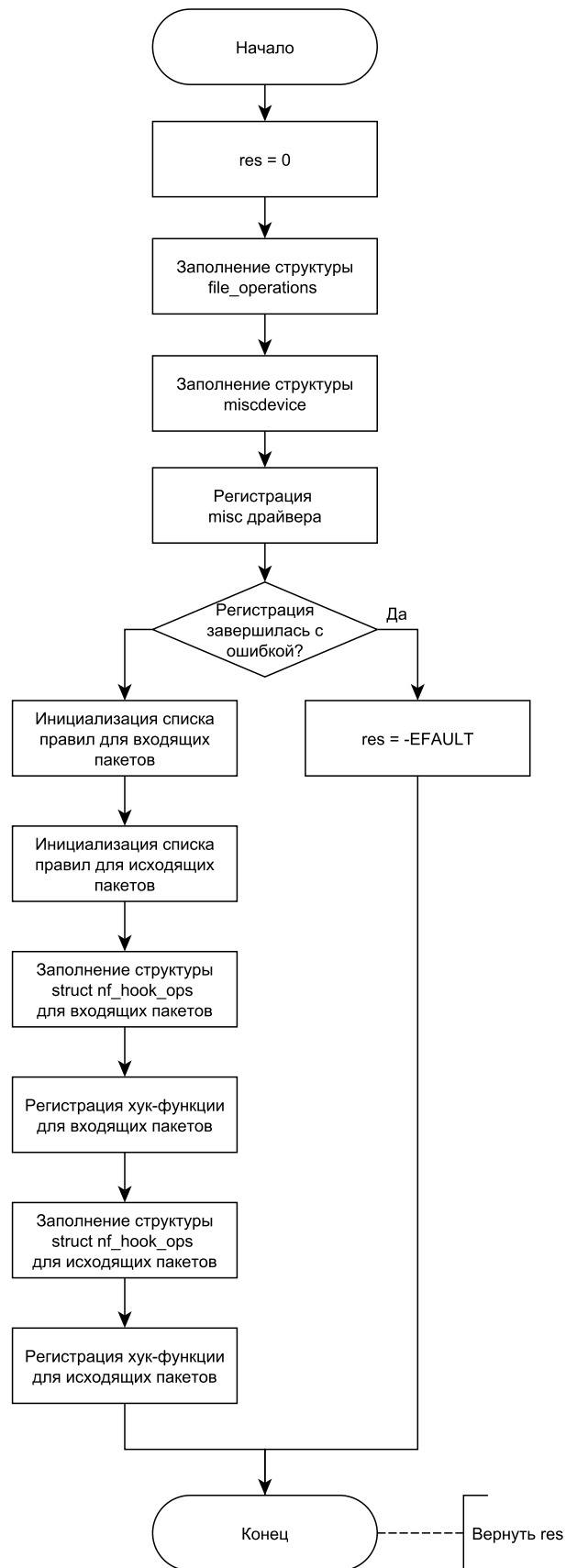


Рисунок 6 – Алгоритм инициализации межсетевого экрана

2.5 Алгоритм завершения работы межсетевого экрана

При выгрузке необходимо освободить все ресурсы, которые были зарезервированы. Детально алгоритм завершения работы межсетевого экрана изложен на Рисунке 7.

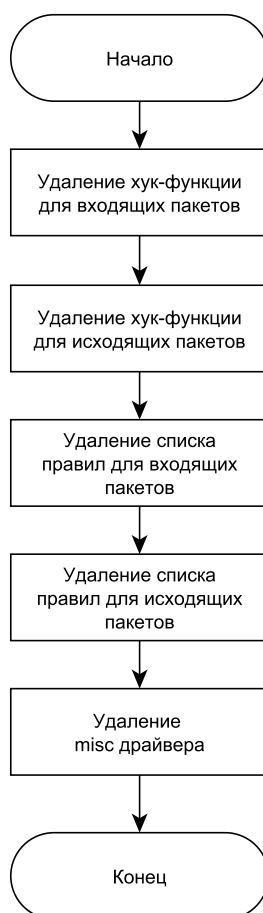


Рисунок 7 – Алгоритм завершения работы межсетевого экрана

2.6 Алгоритм чтения правил межсетевого экрана

На Рисунке 8 приведен алгоритм чтения правил.

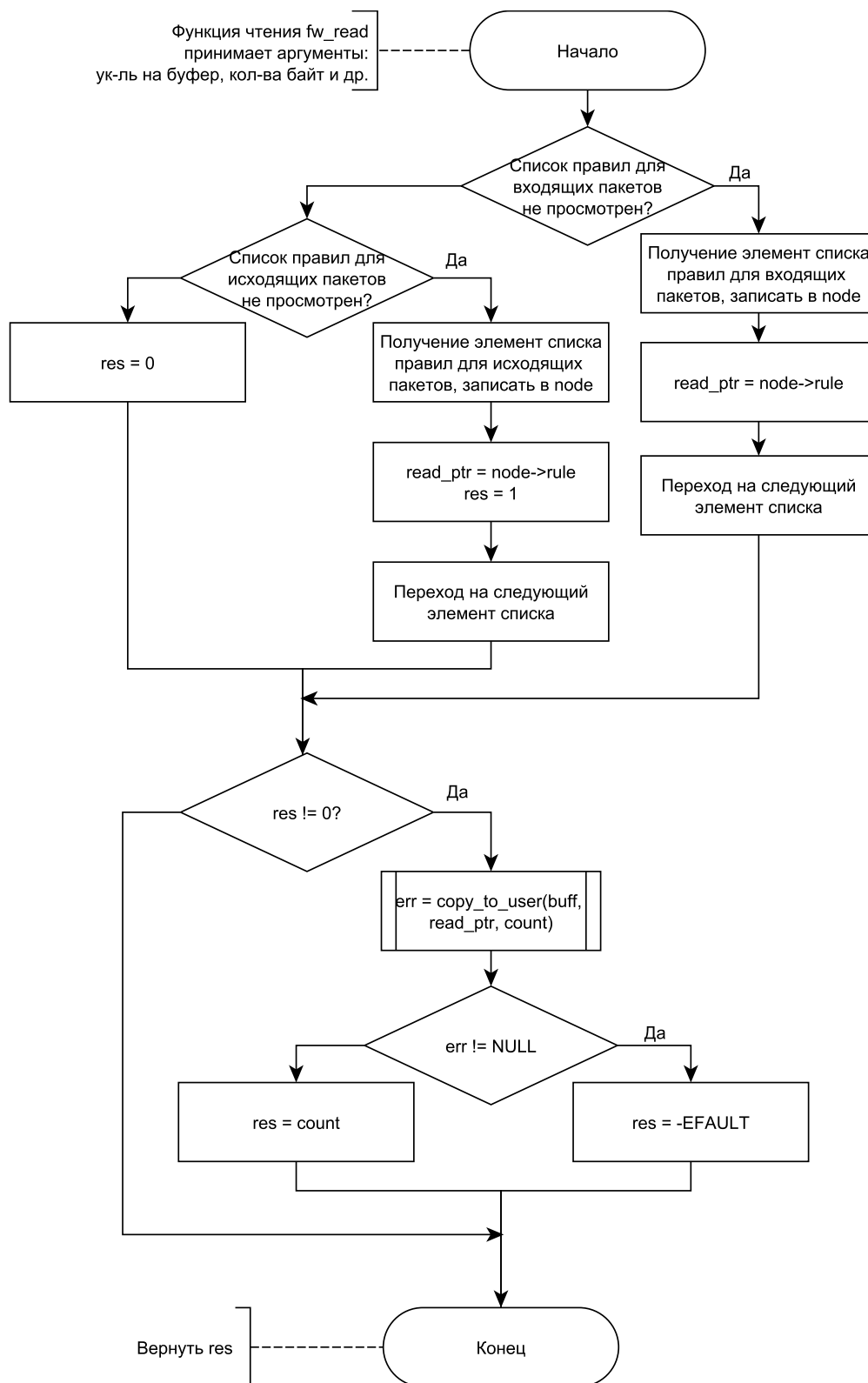


Рисунок 8 – Алгоритм чтения правил

2.7 Алгоритм обработки запроса

На Рисунке 9 приведен алгоритм обработки пользовательского запроса.

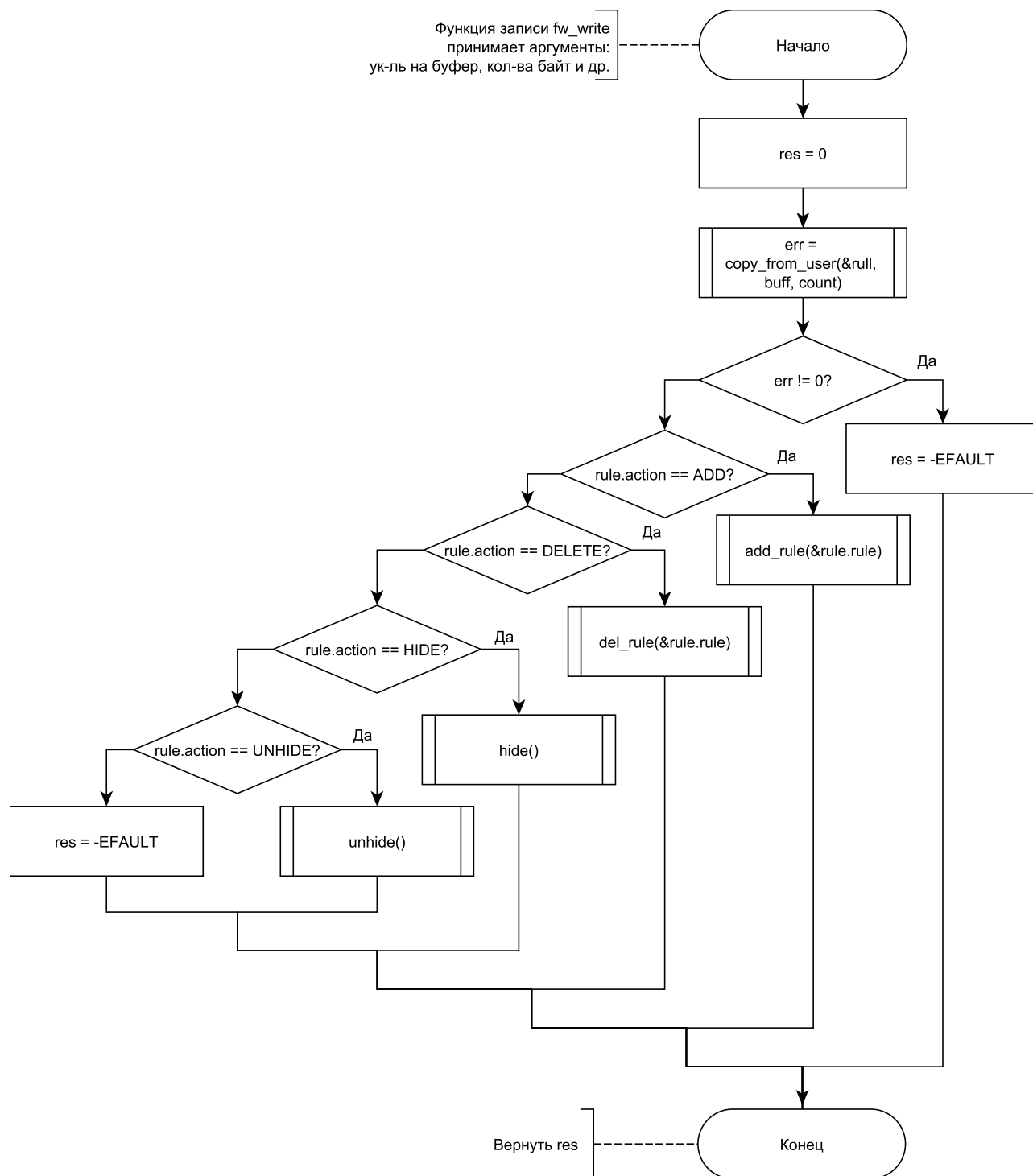


Рисунок 9 – Алгоритм обработки запроса

2.8 Алгоритм добавления правил

Пользователю предоставляется возможность добавить новое правило. На Рисунке 10 показан общий подход к реализации этой возможности.

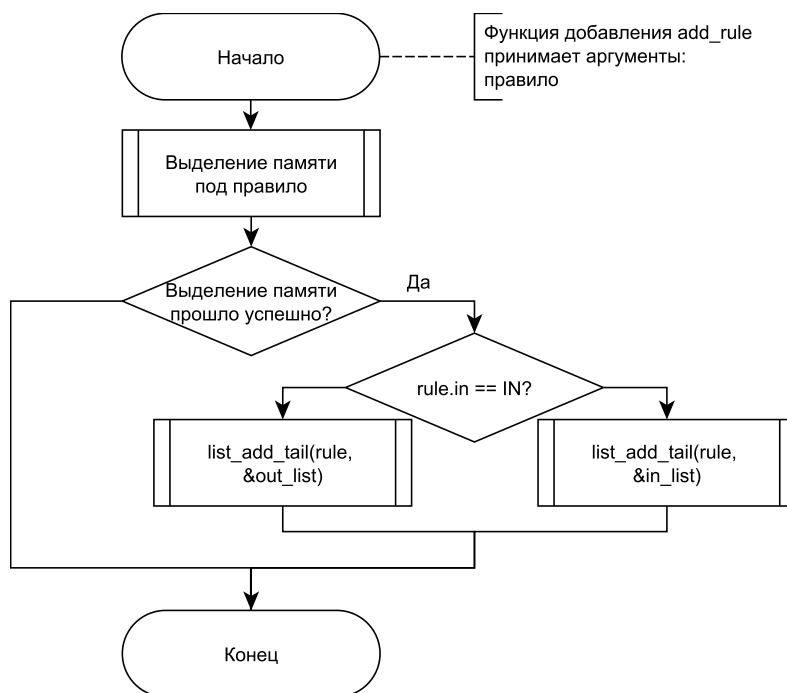


Рисунок 10 – Алгоритм добавления нового правила

2.9 Алгоритм удаления правила

Пользователь также может удалить уже существующее правило. На Рисунке 11 приведена соответствующая схема.

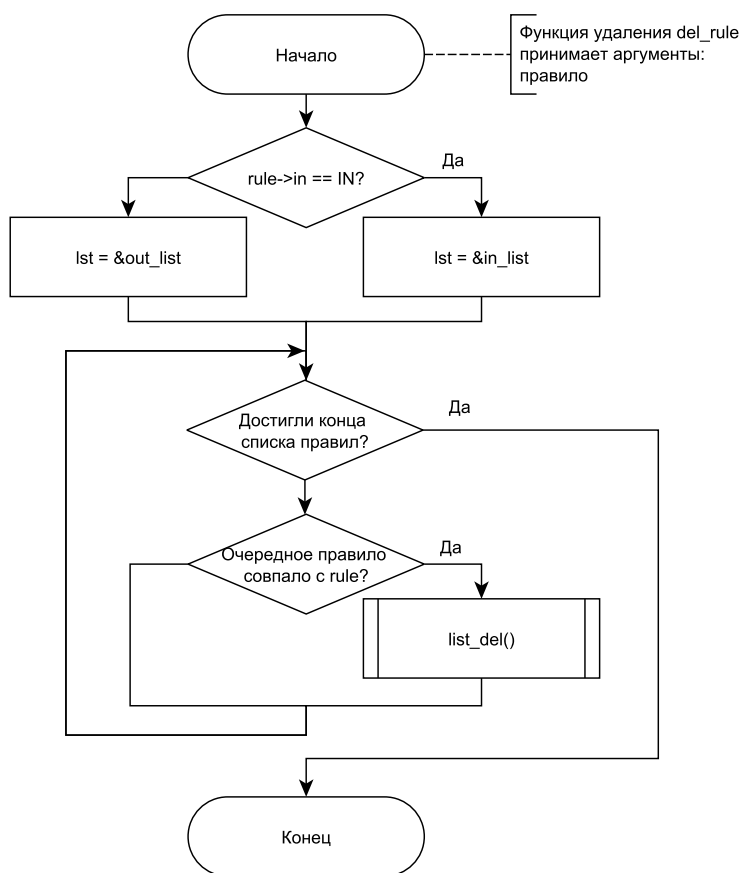


Рисунок 11 – Алгоритм удаления правила

2.10 Алгоритм фильтрации пакетов

В процессе инициализации также происходит регистрация хук-функций, заданных в структуре `struct nf_hook_ops`.

В рамках поставленной задачи регистрируются две функции: для обработки входящих и исходящих пакетов. Поскольку главное их отличие – направление анализируемых единиц, то рекомендуется реализовать одну функцию, в которую подаётся соответствующий список правил. Детали представлены на Рисунках 12 – 13.

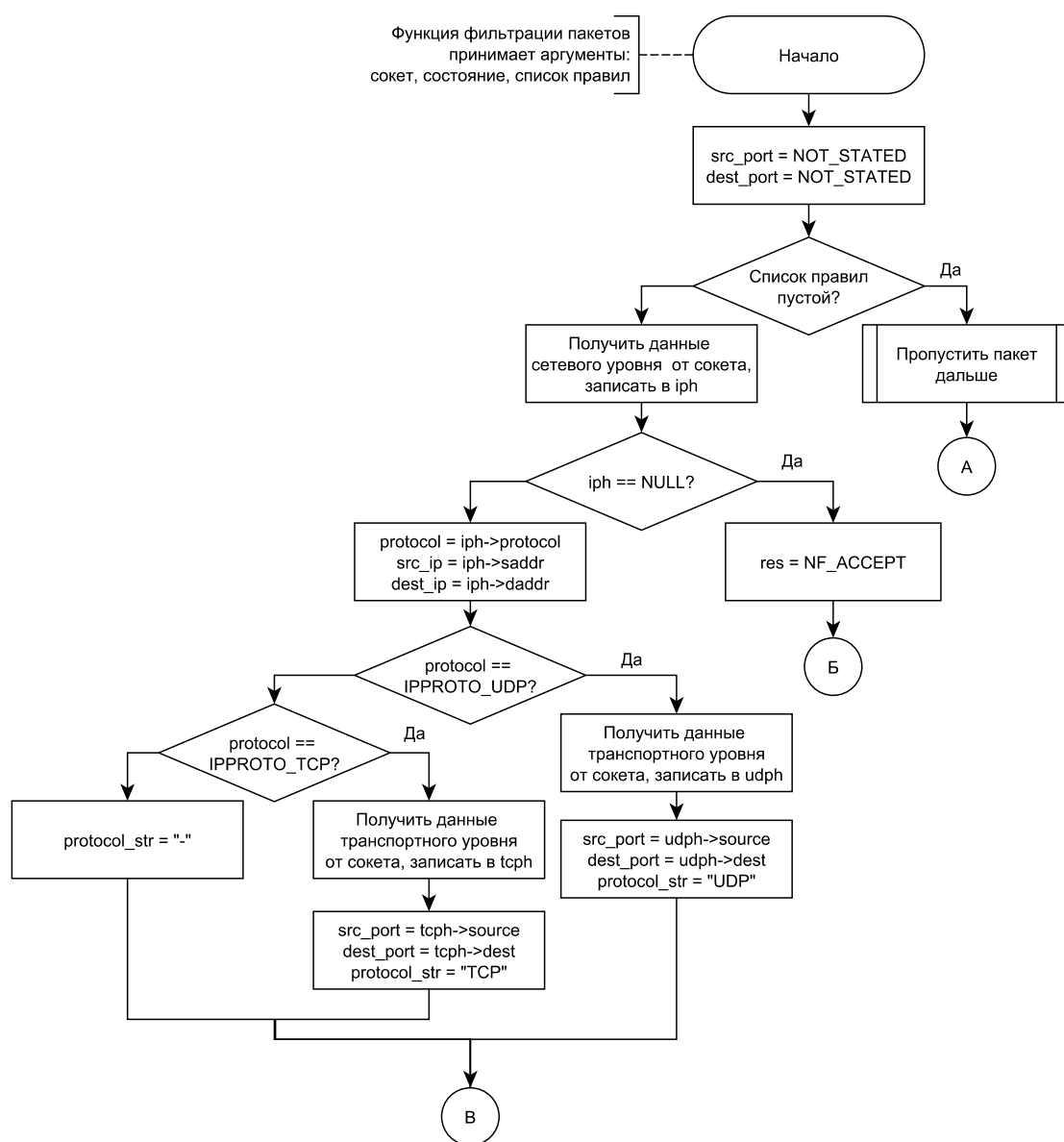


Рисунок 12 – Алгоритм фильтрации пакетов

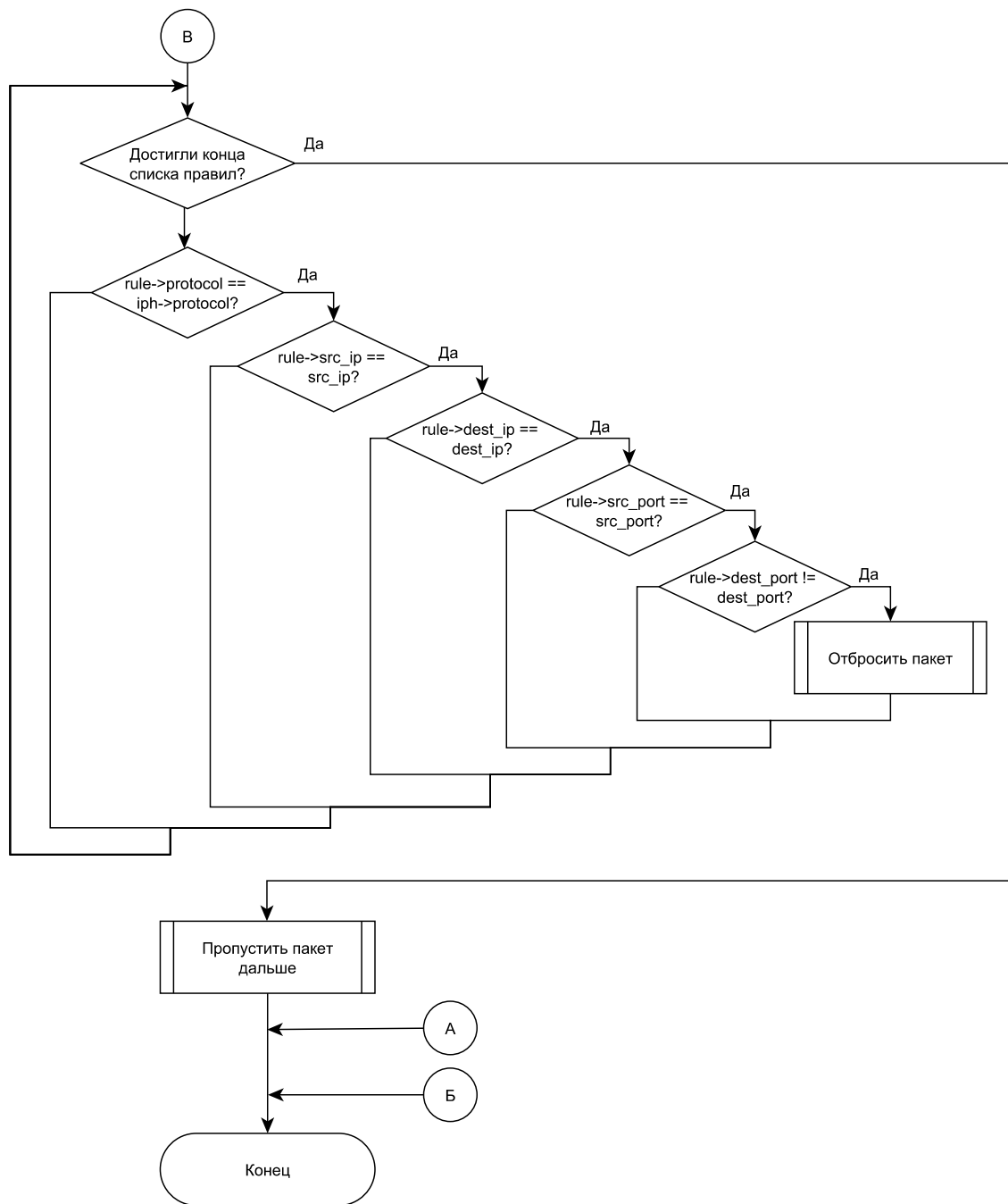


Рисунок 13 – Алгоритм фильтрации пакетов

3 Технологический раздел

3.1 Выбор языка программирования

В качестве языка программирования был выбран язык Си [10]. Для сборки модуля использовалась утилита `make`.

Была выбрана среда разработки Visual Studio Code [11], так как она бесплатная, кроссплатформенная, а также позволяет использовать все возможности консоли, не переключаясь между окнами.

3.2 Структура загружаемого модуля

Реализованный модуль включает в себя следующие функции:

- **`fw_init()`** – функция инициализации модуля;
- **`fw_exit()`** – функция выгрузки модуля;
- **`hide()`** – функция изменения видимости модуля (скрытие);
- **`unhide()`** – функция изменения видимости модуля (обнаружение);
- **`fw_read(struct file *filp, char __user *buff, size_t count, loff_t *f_pos)`** – функция чтения, описываемая в структуре `struct file_operations`;
- **`fw_write(struct file *filp, const char __user *buff, size_t count, loff_t *f_pos)`** – функция записи, описываемая в структуре `struct file_operations`;
- **`add_rule(struct fw_rule *rule)`** – добавление нового правила;
- **`del_rule(struct fw_rule *rule)`** – удаление правила;
- **`fw_in_filter(void *priv, struct sk_buff *skb, const struct nf_hook_state *state)`** – «обёртка» функции фильтрации для входящих пакетов;
- **`fw_out_filter(void *priv, struct sk_buff *skb, const struct nf_hook_state *state)`** – «обёртка» функции фильтрации для исходящих пакетов;
- **`filter(void *priv, struct sk_buff *skb, const struct nf_hook_state *state, struct list_head *list_rule)`** – основная функция фильтрации пакетов;
- **`str_rule(struct fw_rule *rule)`** – функция преобразования правила фильтрации в удобный для восприятия человеком вид;

- **str_packet(uint32_t src_ip, uint16_t src_port, uint32_t dest_ip, uint16_t dest_port, char *protocol_str)** – функция преобразования информации о перехваченном пакете в удобный для восприятия человеком вид.

3.3 Сборка и запуск модуля

Сборка модуля осуществляется командой **make**. На Листинге 8 приведено содержимое **Makefile**.

Листинг 8: Makefile

```
1 obj-m += fw_module.o
2
3 all: fw.o fw_module.o
4
5 fw.o: fw.c fw.h
6     gcc -o fw.o fw.c
7
8 fw_module.o: fw_module.c
9     make -C /lib/modules/$(shell uname -r)/build M=$(PWD) modules
10
11 clean:
12     rm -rf fw *.o
13     make -C /lib/modules/$(shell uname -r)/build M=$(PWD) clean
```

Для того, чтобы загрузить модуль, нужно воспользоваться командой **sudo insmod fw_module.ko**, для того, чтобы выгрузить – **sudo rmmod fw_module**.

3.4 Функция фильтрации пакетов

В параграфе 2.10 описывается основной алгоритм фильтрации пакетов, который реализован функцией **filter** (Листинг 9).

Листинг 9: Функция фильтрации пакетов

```
1 static unsigned int filter(void *priv, struct sk_buff *skb, const struct
    nf_hook_state *state, struct list_head *list_rule)
2 {
3     struct iphdr *iph;
```

```

4     struct tcphdr *tcph;
5     struct udphdr *udph;
6
7     unsigned char protocol;
8     char *protocol_str;
9     uint32_t src_ip, dest_ip;
10    uint16_t src_port = NOT_STATED, dest_port = NOT_STATED;
11
12    struct list_head *lst;
13    struct rule_item *node;
14    struct fw_rule *rule;
15
16    if (!skb || list_rule->next == list_rule)
17        return NF_ACCEPT;
18
19    iph = (struct iphdr *)skb_network_header(skb);
20    if (iph == NULL)
21        return NF_ACCEPT;
22
23    protocol = iph->protocol;
24    src_ip = iph->saddr;
25    dest_ip = iph->daddr;
26
27    if (protocol == IPPROTO_UDP)
28    {
29        udph = (struct udphdr *) (skb_transport_header(skb));
30        src_port = udph->source;
31        dest_port = udph->dest;
32        protocol_str = "UDP";
33    }
34    else if (protocol == IPPROTO_TCP)
35    {
36        tcph = (struct tcphdr *) (skb_transport_header(skb));
37        src_port = tcph->source;
38        dest_port = tcph->dest;
39        protocol_str = "TCP";
40    }
41    else
42        protocol_str = "-";
43

```

```

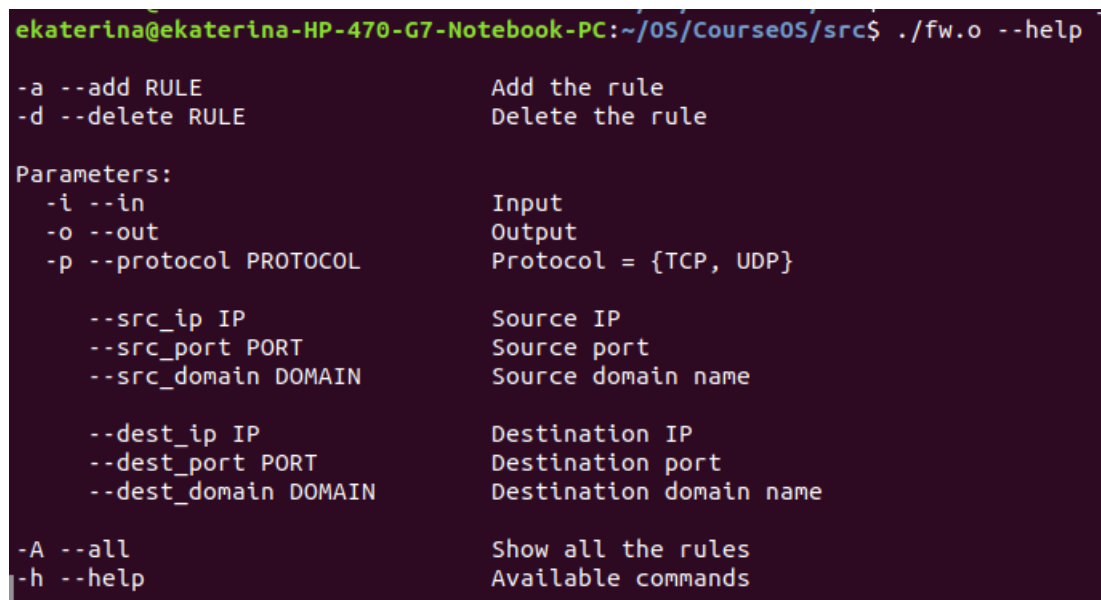
44     lst = list_rule;
45     list_for_each_entry(node, lst, list)
46     {
47         rule = &node->rule;
48
49         if (rule->protocol != NOT_STATED && rule->protocol != iph->protocol)
50             continue;
51         if (rule->src_ip != NOT_STATED && !SAME_ADDR(rule->src_ip, src_ip))
52             continue;
53         if (rule->dest_ip != NOT_STATED && !SAME_ADDR(rule->dest_ip, dest_ip)
54             )
55             continue;
56         if (rule->src_port != NOT_STATED && rule->src_port != src_port)
57             continue;
58         if (rule->dest_port != NOT_STATED && rule->dest_port != dest_port)
59             continue;
60
61         printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: packet was dropped. Details: %s",
62             str_packet(src_ip, src_port, dest_ip, dest_port, protocol_str));
63
64         return NF_DROP;
65     }
66
67     return NF_ACCEPT;
68 }
69
70 static unsigned int fw_in_filter(void *priv, struct sk_buff *skb, const
71     struct nf_hook_state *state)
72 {
73     return filter(priv, skb, state, &in_list);
74 }
75
76 static unsigned int fw_out_filter(void *priv, struct sk_buff *skb, const
77     struct nf_hook_state *state)
78 {
79     return filter(priv, skb, state, &out_list);
80 }

```

4 Исследовательский раздел

4.1 Команды и формат задания правил

Для того, чтобы посмотреть все команды и формат задаваемых правил, необходимо вызвать **help**. На Рисунке 14 представлен результат.



```
ekaterina@ekaterina-HP-470-G7-Notebook-PC:~/OS/CourseOS/src$ ./fw.o --help
-a --add RULE          Add the rule
-d --delete RULE       Delete the rule

Parameters:
-i --in               Input
-o --out              Output
-p --protocol PROTOCOL Protocol = {TCP, UDP}

    --src_ip IP        Source IP
    --src_port PORT    Source port
    --src_domain DOMAIN Source domain name

    --dest_ip IP       Destination IP
    --dest_port PORT   Destination port
    --dest_domain DOMAIN Destination domain name

-A --all              Show all the rules
-h --help             Available commands
```

Рисунок 14 – Вызов команды help

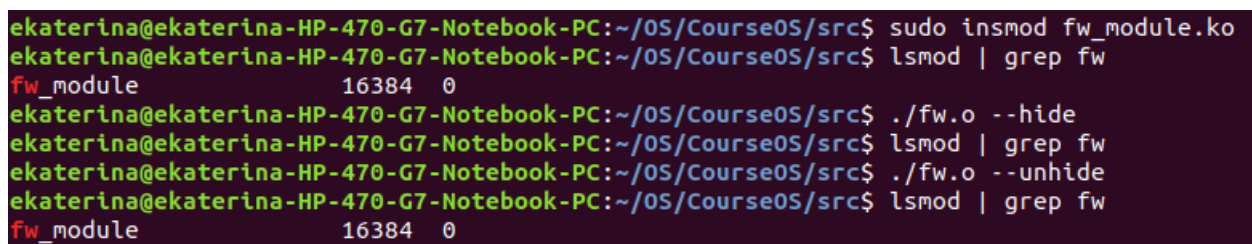
Для того, чтобы корректно задать правило фильтрации, необходимо соблюдать следующий формат.

- 1) Обязательным является указание действий: добавление (add) или удаление (del).
- 2) Также в обязательном порядке следует конкретизировать направление пакетов: входящие (in) или исходящие (out).
- 3) Далее указываются основные признаки фильтрации (один или несколько):
 - протокол (TCP/UDP);
 - IP-адрес (источника/назначения);
 - порт (источника/назначения);
 - доменное имя (источника/назначения).

4.2 Видимость модуля

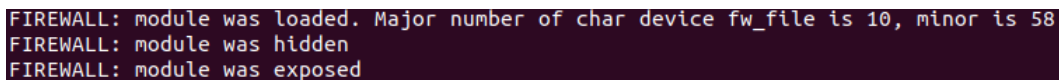
Для скрытия модуля следует вызвать команду **hide**, а для обратного действия **unhide**. На Рисунках 15 – 16 демонстрируется следующее:

- 1) модуль загружен и виден в системе;
- 2) вызвана команда **hide**;
- 3) модуль не отображается при вызове команды **lsmod**;
- 4) вызвана команда **unhide**;
- 5) модуль обнаруживается при вызове команды **lsmod**.



```
ekaterina@ekaterina-HP-470-G7-Notebook-PC:~/OS/Course05/src$ sudo insmod fw_module.ko
ekaterina@ekaterina-HP-470-G7-Notebook-PC:~/OS/Course05/src$ lsmod | grep fw
fw_module                16384  0
ekaterina@ekaterina-HP-470-G7-Notebook-PC:~/OS/Course05/src$ ./fw.o --hide
ekaterina@ekaterina-HP-470-G7-Notebook-PC:~/OS/Course05/src$ lsmod | grep fw
ekaterina@ekaterina-HP-470-G7-Notebook-PC:~/OS/Course05/src$ ./fw.o --unhide
ekaterina@ekaterina-HP-470-G7-Notebook-PC:~/OS/Course05/src$ lsmod | grep fw
fw_module                16384  0
```

Рисунок 15 – Порядок действий



```
FIREWALL: module was loaded. Major number of char device fw_file is 10, minor is 58
FIREWALL: module was hidden
FIREWALL: module was exposed
```

Рисунок 16 – Логи

4.3 Фильтрация по протоколу

Для наглядности было добавлено правило, блокирующее все входящие пакеты, для передачи которых используется протокол TCP.

До того, как правило было добавлено, наблюдалась следующая динамика (Рисунок 17): происходил активный обмен пакетами, ошибки в процессе были, но не значительные.

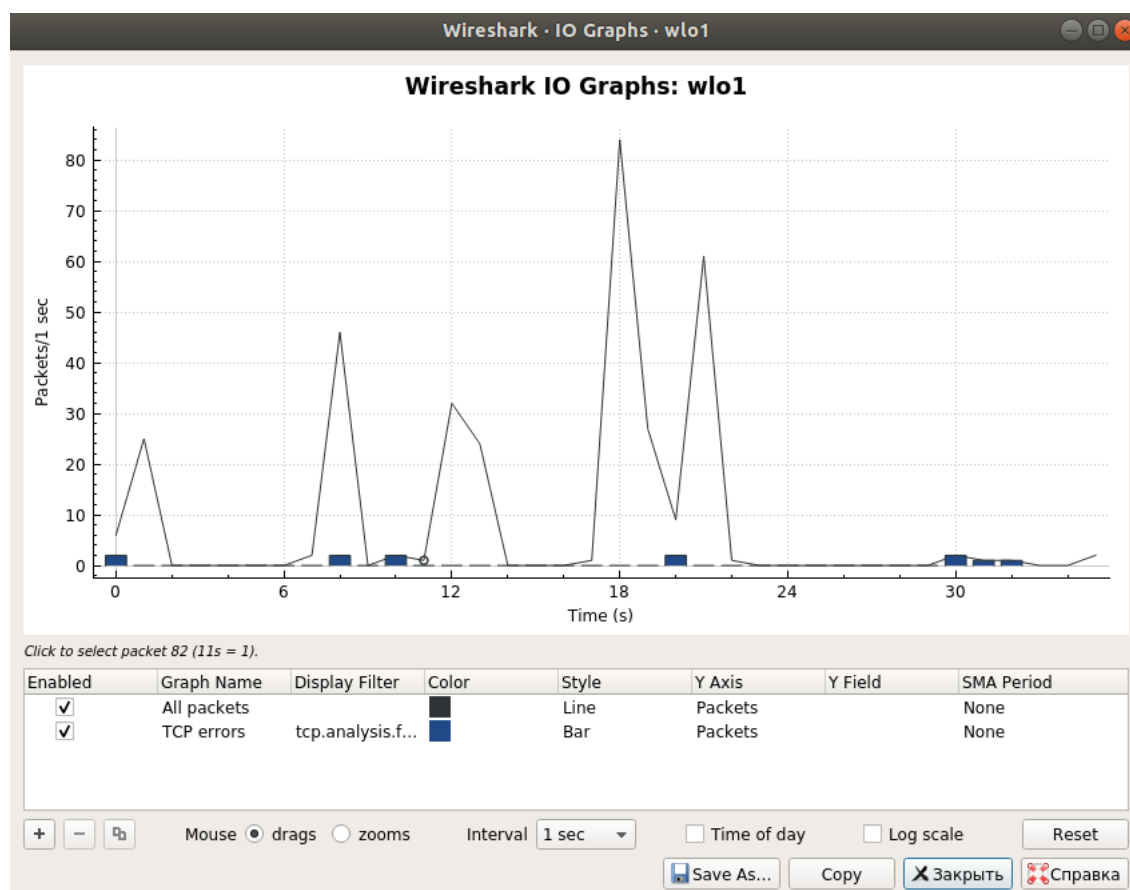


Рисунок 17 – До добавления правила фильтрации

Когда же правило было зарегистрировано, ситуация изменилась (Рисунок 18). Примерно с 50 секунды наблюдается увеличение непринятых пакетов, более детальную информацию о них можно получить из log-файла (Рисунок 19). Легко заметить, что общее у всех непринятых пакетов – поле протокола.

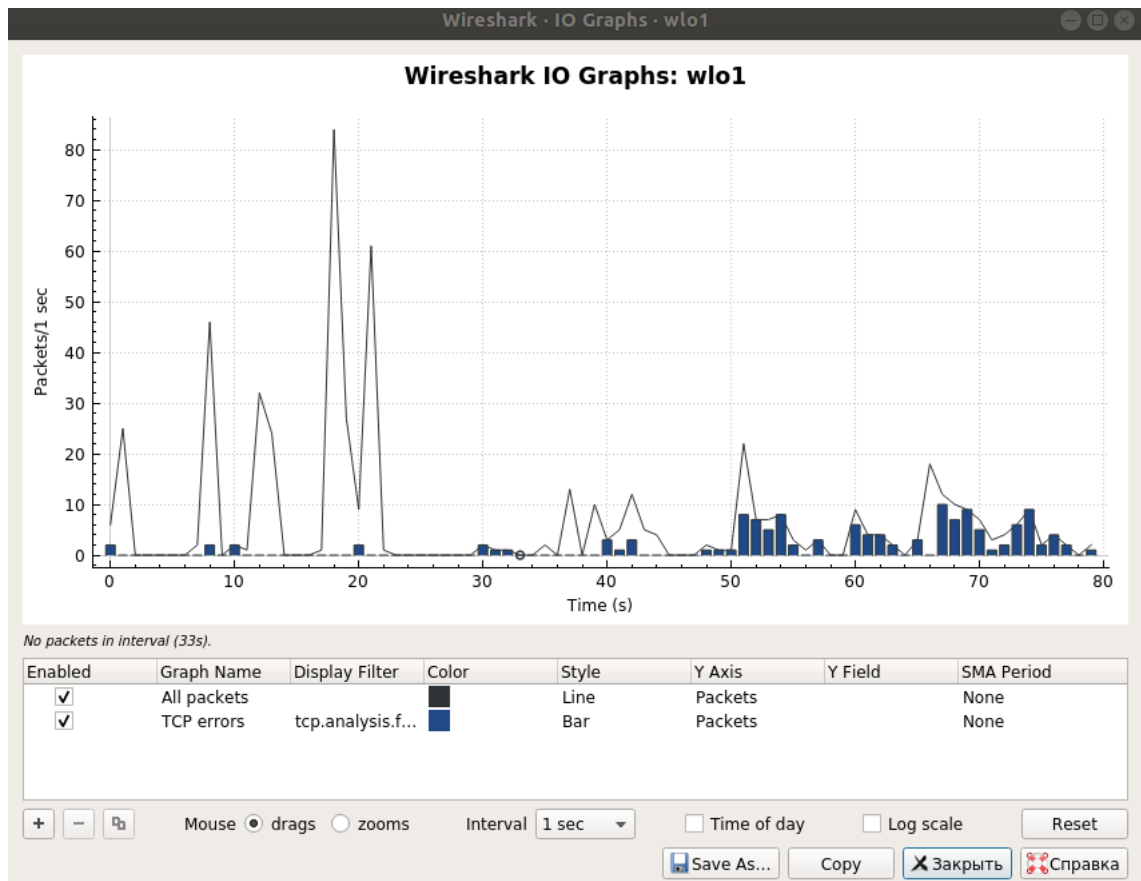


Рисунок 18 – После добавления правила фильтрации

```

Details: src_ip: 140.82.112.26    src_port: 443    dest_ip: 192.168.67.4    dest_port: 49048    protocol: TCP
Details: src_ip: 140.82.121.3    src_port: 443    dest_ip: 192.168.67.4    dest_port: 49548    protocol: TCP
Details: src_ip: 140.82.121.3    src_port: 443    dest_ip: 192.168.67.4    dest_port: 49548    protocol: TCP
Details: src_ip: 93.184.220.29    src_port: 80     dest_ip: 192.168.67.4    dest_port: 34002    protocol: TCP
  
```

Рисунок 19 – Подробная информация о заблокированных пакетах

При удалении правила, пакеты больше не блокируются, и это видно на Рисунке 20.

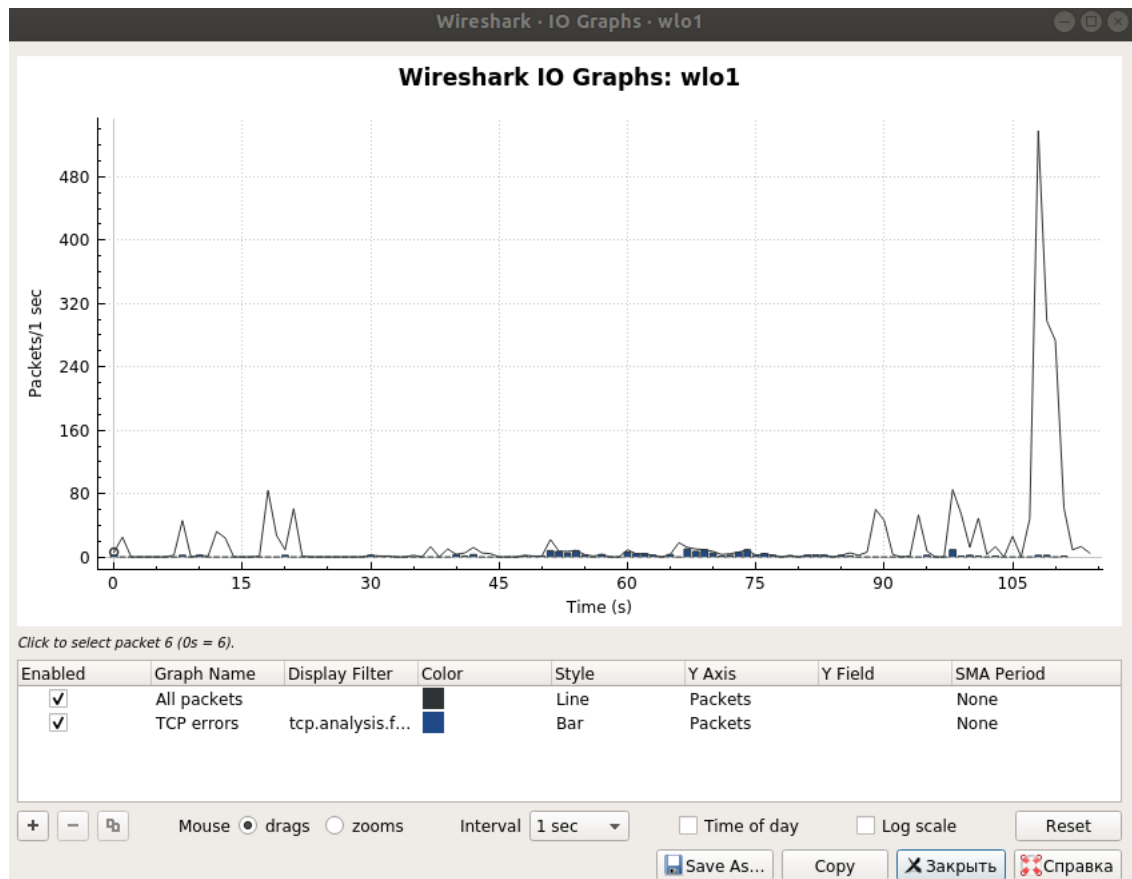


Рисунок 20 – После удаления правила фильтрации

С 80 секунды наблюдается резкое уменьшение ошибок и увеличение успешно обработанных пакетов.

4.4 Фильтрация по IP-адресу

Модуль также предоставляет возможность отбора пакетов по IP-адресу получателя (в случае исходящих пакетов) и отправителя (входящие).

Было добавлено следующее правило (Рисунок 21) и через некоторое время удалено (Рисунок 22).

```
./fw.o --add --out --dest_ip 192.168.67.132
```

Рисунок 21 – Добавление правила фильтрации по IP-адресу


```
./fw.o --del --out --dest_ip 192.168.67.132
```

Рисунок 22 – Удаление правила фильтрации по IP-адресу

Устройство, имеющее IP-адрес 192.168.67.132, и устройство, на котором работает межсетевой экран находятся в одной подсети. Поэтому можно с помощью команды **ping** проверить соединение.

Рисунок 23 – результат. Первые 5 и последние 6 пакетов успешно были отправлены в силу того, что правило ещё не было задано или уже удалено на момент их отправки.

```
ekaterina@ekaterina-HP-470-G7-Notebook-PC:~$ ping 192.168.67.132
PING 192.168.67.132 (192.168.67.132) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=1 ttl=64 time=6.14 ms
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.47 ms
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.13 ms
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.15 ms
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=5 ttl=64 time=4.19 ms
ping: sendmsg: Операция не позволена
ping: sendmsg: Операция не позволена
ping: sendmsg: Операция не позволена
ping: sendmsg: Операция не позволена
ping: sendmsg: Операция не позволена
ping: sendmsg: Операция не позволена
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=12 ttl=64 time=6.33 ms
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=13 ttl=64 time=6.52 ms
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=14 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=15 ttl=64 time=3.92 ms
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=16 ttl=64 time=4.52 ms
64 bytes from 192.168.67.132: icmp_seq=17 ttl=64 time=5.10 ms
^C
--- 192.168.67.132 ping statistics ---
17 packets transmitted, 11 received, 35% packet loss, time 16149ms
rtt min/avg/max/mdev = 3.923/4.908/6.524/0.928 ms
```

Рисунок 23 – Результат

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения данной работы были изучены основные принципы функционирования отдельных узлов распределённой системы и межсетевых экранов.

Для реализации межсетевого экрана было выбрано `misc` устройство, поскольку направлено на выполнение одной конкретной задачи и наиболее соответствует требованиям, выдвигаемым к задаче.

Для фильтрации поступающих на хост пакетов были разработаны специальные хук-функции, заданные в точках перехвата до маршрутизации и после неё, в процессе реализации были определены необходимые для их регистрации структуры ядра `struct nf_hook_ops`.

В целях увеличения эффективности и безопасности работы загружаемого модуля реализована функция его сокрытия в системе с возможностью дальнейшего восстановления видимости.

Были проработаны следующие признаки для фильтрации сетевых пакетов: по протоколу (TCP или UDP), по направлению (входящие или исходящие), по IP-адресу (источника или назначения), по порту и доменному имени аналогично.

Разработан формат правил фильтрации, необходимых для работы межсетевого экрана, позволяющий анализировать пакеты не только по одному, но и по нескольким признакам одновременно.

Все заявленные возможности межсетевого экрана были успешно протестированы.

Таким образом, был разработан загружаемый модуль ядра, выполняющий роль межсетевого экрана, осуществляющего контроль проходящего сетевого трафика в соответствии с правилами, которые задаёт и может корректировать пользователь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Список литературы

1. Рогозин Н.О., Курс лекций по дисциплине «Компьютерные сети» [Текст]
2. Программные межсетевые экраны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/analytics/240197.php> (дата обращения 01.10.2021).
3. Рязанова Н.Ю., Курс лекций по дисциплине «Операционные системы» [Текст]
4. Alessandro Rubini, Jonathan Corbet Linux Device Drivers. – 2nd Edition изд. O'Reilly Media, 2001. – 562 с.
5. Misc Device Driver – Linux Device Driver Tutorial Part 32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://embetronicx.com/tutorials/linux/device-drivers/misc-device-driver/#Misc_Device_Driver (дата обращения 05.10.2021).
6. lsmod [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.opennet.ru/man.shtml?topic=lsmod&category=8&russian=2>
7. Простая маскировка модуля ядра Linux с применением DKOM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/205274/>
8. Jonathan Corbet, Alessandro Rubini, Greg Kroah-Hartman Linux Device Drivers. – Third Edition изд. – Gravenstein Highway North, Sebastopo: O'Reilly Media, 2005. – 630 с.
9. NETFILTER [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://samag.ru/archive/article/169> (дата обращения 07.10.2021).
10. Документация по языку C [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/cpp/c-language/?view=msvc-170> (дата обращения 01.10.2021).

11. Документация по Visual Studio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://code.visualstudio.com/docs> (дата обращения 01.10.2021).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг 10: fw_module.c

```
1 #include "fw.h"
2
3 #define IP_POS(ip, pos) (ip >> ((8 * (3 - pos))) & 0xFF)
4 #define SAME_ADDR(ip1, ip2) ((ip1 ^ ip2) == 0)
5
6 MODULE_LICENSE("GPL");
7 MODULE_AUTHOR("Bryanskaya Ekaterina <bryanskayakatyayandex.ru>");
8
9 static char *buffer;
10 static int flag_hidden = 0;
11
12 struct list_head in_list;
13 struct list_head out_list;
14
15 struct list_head *module_prev;
16
17 struct rule_item {
18     struct fw_rule rule;
19     struct list_head list;
20 };
21
22 void hide(void)
23 {
24     if (flag_hidden)
25         return;
26
27     module_prev = THIS_MODULE->list.prev;
28     list_del(&THIS_MODULE->list);
29     flag_hidden = 1;
30
31     printk(">>> FIREWALL: module was hidden");
32 }
33
34 void unhide(void)
35 {
36     if (!flag_hidden)
```

```

37         return;
38
39     list_add(&THIS_MODULE->list, module_prev);
40     flag_hidden = 0;
41
42     printk(">>> FIREWALL: module was exposed");
43 }
44
45 int fw_open(struct inode *inode, struct file *file)
46 {
47     printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: associated char device was opened");
48     return 0;
49 }
50
51 int fw_release(struct inode *inode, struct file *file)
52 {
53     printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: associated char device was closed");
54     return 0;
55 }
56
57 char* str_rule(struct fw_rule *rule)
58 {
59     int count_bytes = 0;
60
61     char *res = kmalloc(BUF_LEN, GFP_KERNEL);
62     if (!res)
63     {
64         printk(KERN_INFO "FIREWALL: error in formating rule");
65         return NULL;
66     }
67
68     if (rule->in == IN)
69         count_bytes += snprintf(res, 10, "IN \t ");
70     else if (rule->in == OUT)
71         count_bytes += snprintf(res, 10, "OUT \t ");
72     else
73         printk(KERN_INFO "%d", rule->in);
74
75     if (rule->src_ip != NOT_STATED)

```

```

76     count_bytes = snprintf(res, 30, "src_ip: %u.%u.%u.%u \t ", IP_POS(
rule->src_ip, 3), IP_POS(rule->src_ip, 2), IP_POS(rule->src_ip, 1), IP_POS
(rule->src_ip, 0));
77
78     if (rule->src_port != NOT_STATED)
79         count_bytes += snprintf(res + count_bytes, 20, "src_port: %u \t ",
ntohs(rule->src_port));
80
81     if (rule->dest_ip != NOT_STATED)
82         count_bytes += snprintf(res + count_bytes, 30, "dest_ip: %u.%u.%u.%u
\t ", IP_POS(rule->dest_ip, 3), IP_POS(rule->dest_ip, 2), IP_POS(rule->
dest_ip, 1), IP_POS(rule->dest_ip, 0));
83
84     if (rule->dest_port != NOT_STATED)
85         count_bytes += snprintf(res + count_bytes, 20, "dest_port: %u \t ",
ntohs(rule->dest_port));
86
87     if (rule->protocol != NOT_STATED)
88     {
89         if (rule->protocol == IPPROTO_TCP)
90             snprintf(res + count_bytes, 20, "protocol: TCP");
91         else if (rule->protocol == IPPROTO_UDP)
92             snprintf(res + count_bytes, 20, "protocol: UDP");
93     }
94
95     return res;
96 }
97
98 char* str_packet(uint32_t src_ip, uint16_t src_port, uint32_t dest_ip,
uint16_t dest_port, char *protocol_str)
99 {
100     int count_bytes = 0;
101
102     char *res = kmalloc(BUF_LEN, GFP_KERNEL);
103     if (!res)
104     {
105         printk(KERN_INFO "FIREWALL: error in formating rule");
106         return NULL;
107     }
108

```

```

109     if (src_ip != NOT_STATED)
110         count_bytes = snprintf(res, 30, "src_ip: %u.%u.%u.%u \t ", IP_POS(
src_ip, 3), IP_POS(src_ip, 2), IP_POS(src_ip, 1), IP_POS(src_ip, 0));
111
112     if (src_port != NOT_STATED)
113         count_bytes += snprintf(res + count_bytes, 20, "src_port: %u \t ",
ntohs(src_port));
114     else
115         count_bytes += snprintf(res + count_bytes, 20, "src_port: - \t ");
116
117     if (dest_ip != NOT_STATED)
118         count_bytes += snprintf(res + count_bytes, 30, "dest_ip: %u.%u.%u.%u
\t ", IP_POS(dest_ip, 3), IP_POS(dest_ip, 2), IP_POS(dest_ip, 1), IP_POS(
dest_ip, 0));
119
120     if (dest_port != NOT_STATED)
121         count_bytes += snprintf(res + count_bytes, 20, "dest_port: %u \t ",
ntohs(dest_port));
122     else
123         count_bytes += snprintf(res + count_bytes, 20, "dest_port: - \t ");
124
125     snprintf(res + count_bytes, 20, "protocol: %s", protocol_str);
126
127     return res;
128 }
129
130 static void add_rule(struct fw_rule *rule)
131 {
132     struct rule_item *node;
133
134     node = (struct rule_item *)kmalloc(sizeof(struct rule_item), GFP_KERNEL);
135     if (node == NULL)
136     {
137         printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: addition a new rule was failed");
138         return;
139     }
140
141     node->rule = *rule;
142
143     if (node->rule.in == IN)

```



```

144         list_add_tail(&node->list, &in_list);
145     else
146         list_add_tail(&node->list, &out_list);
147
148     printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: new rule was added. Rule: %s", str_rule
149             (&(node->rule)));
150 }
151
152 static void del_rule(struct fw_rule *rule)
153 {
154     struct list_head *lst, *temp;
155     struct rule_item *node;
156
157     if (rule->in == IN)
158         lst = &in_list;
159     else
160         lst = &out_list;
161
162     for (temp = lst; temp->next != lst; temp = temp->next)
163     {
164         node = list_entry(temp->next, struct rule_item, list);
165
166         if (node->rule.in == rule->in && node->rule.src_ip == rule->src_ip &&
167             node->rule.src_port == rule->src_port && node->rule.dest_ip ==
168             rule->dest_ip &&
169             node->rule.dest_port == rule->dest_port && node->rule.protocol ==
170             rule->protocol)
171         {
172             list_del(temp->next);
173             kfree(node);
174
175             printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: rule was removed. Rule: %s",
176                     str_rule(rule));
177             return;
178         }
179     }
180
181     printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: rule was not found. Rule: %s", str_rule(
182             rule));
183 }

```

```

179
180 ssize_t fw_read(struct file *filp, char __user *buff, size_t count, loff_t *
    f_pos)
181 {
182     static struct list_head *in_lst = &in_list;
183     static struct list_head *out_lst = &out_list;
184     struct rule_item *node;
185     char *read_ptr;
186
187     if (in_lst->next != &in_list)
188     {
189         node = list_entry(in_lst->next, struct rule_item, list);
190         read_ptr = (char *)&node->rule;
191         in_lst = in_lst->next;
192     }
193     else if (out_lst->next != &out_list)
194     {
195         node = list_entry(out_lst->next, struct rule_item, list);
196         read_ptr = (char *)&node->rule;
197         out_lst = out_lst->next;
198     }
199     else
200     {
201         in_lst = &in_list;
202         out_lst = &out_list;
203
204         return 0;
205     }
206
207     if (copy_to_user(buff, read_ptr, count))
208     {
209         printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: copy_to_user error");
210         return -EFAULT;
211     }
212
213     return count;
214 }
215
216 ssize_t fw_write(struct file *filp, const char __user *buff, size_t count,
    loff_t *f_pos)

```

```

217 {
218     struct fw_comm rule_full;
219
220     if (count < sizeof(struct fw_comm))
221     {
222         printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: incorrect rule");
223         return -EFAULT;
224     }
225
226     if (copy_from_user(&rule_full, buff, count))
227     {
228         printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: copy_from_user error");
229         return -EFAULT;
230     }
231
232     switch (rule_full.action)
233     {
234         case ADD:
235             add_rule(&rule_full.rule);
236             break;
237         case DELETE:
238             del_rule(&rule_full.rule);
239             break;
240         case HIDE:
241             hide();
242             break;
243         case UNHIDE:
244             unhide();
245             break;
246         default:
247             printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: unknown command");
248             break;
249     }
250
251     return 0;
252 }
253
254 static unsigned int filter(void *priv, struct sk_buff *skb, const struct
    nf_hook_state *state,
255 struct list_head *list_rule)

```

```

256 {
257     struct iphdr *iph; /* An IPv4 packet header */
258     struct tcphdr *tcph;
259     struct udphdr *udph;
260
261     unsigned char protocol;
262     char *protocol_str;
263     uint32_t src_ip, dest_ip;
264     uint16_t src_port = NOT_STATED, dest_port = NOT_STATED;
265
266     struct list_head *lst;
267     struct rule_item *node;
268     struct fw_rule *rule;
269
270     if (!skb || list_rule->next == list_rule)
271         return NF_ACCEPT;
272
273     iph = (struct iphdr *)skb_network_header(skb);
274     if (iph == NULL)
275         return NF_ACCEPT;
276
277     protocol = iph->protocol;
278     src_ip = iph->saddr;
279     dest_ip = iph->daddr;
280
281     if (protocol == IPPROTO_UDP)
282     {
283         udph = (struct udphdr *) (skb_transport_header(skb));
284         src_port = udph->source;
285         dest_port = udph->dest;
286         protocol_str = "UDP";
287     }
288     else if (protocol == IPPROTO_TCP)
289     {
290         tcph = (struct tcphdr *) (skb_transport_header(skb));
291         src_port = tcph->source;
292         dest_port = tcph->dest;
293         protocol_str = "TCP";
294     }
295     else

```

```

296     protocol_str = "-";
297
298     lst = list_rule;
299     list_for_each_entry(node, lst, list)
300     {
301         rule = &node->rule;
302
303         if (rule->protocol != NOT_STATED && rule->protocol != iph->protocol)
304             continue;
305         if (rule->src_ip != NOT_STATED && !SAME_ADDR(rule->src_ip, src_ip))
306             continue;
307         if (rule->dest_ip != NOT_STATED && !SAME_ADDR(rule->dest_ip, dest_ip)
308         )
309             continue;
310         if (src_port == NOT_STATED)
311             continue;
312         if (rule->src_port != NOT_STATED && rule->src_port != src_port)
313             continue;
314         if (rule->dest_port != NOT_STATED && rule->dest_port != dest_port)
315             continue;
316
317         printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: packet was dropped. Details: %s",
318             str_packet(src_ip, src_port, dest_ip, dest_port, protocol_str));
319
320         return NF_DROP; /* discarded the packet */
321     }
322
323     return NF_ACCEPT; /* the packet passes, continue iterations */
324 }
325
326 static unsigned int fw_in_filter(void *priv, struct sk_buff *skb, const
327     struct nf_hook_state *state)
328 {
329     return filter(priv, skb, state, &in_list);
330 }
331
332 static unsigned int fw_out_filter(void *priv, struct sk_buff *skb, const
333     struct nf_hook_state *state)
334 {
335     return filter(priv, skb, state, &out_list);

```

```

333 }
334
335 static struct file_operations fw_fops = {
336     .owner = THIS_MODULE,
337     .read = fw_read,
338     .write = fw_write,
339     .open = fw_open,
340     .release = fw_release,
341 };
342
343 struct miscdevice dev = {
344     .minor = MISC_DYNAMIC_MINOR,
345     .name = DEVICE_FNAME,
346     .fops = &fw_fops,
347     .mode = S_IRWXU | S_IWGRP | S_IWOTH | S_IROTH,
348 };
349
350 static struct nf_hook_ops fw_in_hook_ops =
351 {
352     .hook = fw_in_filter,
353     .pf = PF_INET,
354     .hooknum = NF_INET_PRE_ROUTING,
355     .priority = NF_IP_PRI_FIRST
356 };
357
358 static struct nf_hook_ops fw_out_hook_ops =
359 {
360     .hook = fw_out_filter,
361     .pf = PF_INET,
362     .hooknum = NF_INET_LOCAL_OUT,
363     .priority = NF_IP_PRI_FIRST
364 };
365
366 static int __init fw_init(void)
367 {
368     int res = 0;
369
370     res = misc_register(&dev);
371     if (res)
372     {

```

```

373     printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: registration was failed");
374     return res;
375 }
376
377 buffer = (char *)kmallocc(sizeof(struct fw_comm*), GFP_KERNEL);
378 if (buffer == NULL)
379 {
380     printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: kmallocc error");
381     return -EFAULT;
382 }
383
384 INIT_LIST_HEAD(&in_list);
385 INIT_LIST_HEAD(&out_list);
386
387 nf_register_net_hook(&init_net, &fw_in_hook_ops);
388 nf_register_net_hook(&init_net, &fw_out_hook_ops);
389
390 printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: module was loaded. Major number of char
device %s is 10, minor is %d", DEVICE_FNAME, dev.minor);
391
392 return res;
393 }
394
395 static void __exit fw_exit(void)
396 {
397     struct rule_item *node;
398     struct rule_item *node_temp;
399
400     kfree(buffer);
401
402     list_for_each_entry_safe(node, node_temp, &in_list, list)
403     {
404         printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: rule was removed. Rule: %s", str_rule
(&(node->rule)));
405         list_del(&node->list);
406         kfree(node);
407     }
408
409     list_for_each_entry_safe(node, node_temp, &out_list, list)
410     {

```

```
411     printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: rule was removed. Rule: %s", str_rule
    (&(node->rule)));
412     list_del(&node->list);
413     kfree(node);
414 }
415
416 misc_deregister(&dev);
417
418 nf_unregister_net_hook(&init_net, &fw_in_hook_ops);
419 nf_unregister_net_hook(&init_net, &fw_out_hook_ops);
420
421 printk(KERN_INFO ">>> FIREWALL: module was unloaded!\n");
422 }
423
424 module_init(fw_init);
425 module_exit(fw_exit);
```


Листинг 11: fw.h

```
1 #define IN          1
2 #define OUT         2
3 #define NOT_STATED  10 /* Because there is no such tcp/udp port + define for
   protocols */
4
5 #define DEVICE_FNAME      "fw_file"
6 #define DEVICE_CLASS     "fw_class"
7
8 struct fw_rule
9 {
10     u_int32_t in;
11
12     u_int32_t src_ip;
13     u_int16_t src_port;
14
15     u_int32_t dest_ip;
16     u_int32_t dest_port;
17
18     u_int8_t protocol;
19 };
20
21 enum fw_action
22 {
23     ADD = 1,
24     DELETE = 2,
25     SHOW = 3,
26     HIDE = 4,
27     UNHIDE = 5,
28     NONE = 0
29 };
30
31 struct fw_comm
32 {
33     enum fw_action action;
34     struct fw_rule rule;
35 };
```

Листинг 12: fw.c

```

1 #include "errors.h"
2 #include "fw.h"
3
4 #define TCP_PROTOCOL    "TCP"
5 #define UDP_PROTOCOL    "UDP"
6
7 #define SRC              1
8 #define DEST             2
9
10 char ip_arr[64][INET_ADDRSTRLEN];
11 int domain_flag = NOT_STATED;
12
13 void show_info()
14 {
15     printf("\n"
16         "-a --add RULE \t\t\t Add the rule\n"
17         "-d --delete RULE \t\t\t Delete the rule\n"
18         "\n"
19         "Parameters:\n"
20         "  -i --in \t\t\t Input\n"
21         "  -o --out \t\t\t Output\n"
22         "  -p --protocol PROTOCOL \t Protocol = {TCP, UDP}\n"
23         "\n"
24         "    --src_ip IP \t\t Source IP\n"
25         "    --src_port PORT \t\t Source port\n"
26         "    --src_domain DOMAIN \t Source domain name\n"
27         "\n"
28         "    --dest_ip IP \t\t Destination IP\n"
29         "    --dest_port PORT \t\t Destination port\n"
30         "    --dest_domain DOMAIN \t Destination domain name\n"
31         "\n"
32         "-A --all \t\t\t Show all the rules\n"
33         "-h --help \t\t\t Available commands\n");
34 }
35
36 void print_head()
37 {
38     printf("IN/OUT \t source address \t source port \t destination address \t\n"
39         "destination port \t protocol\n");

```

```

39
40     for (int i = 0; i < 110; i++)
41         printf("-");
42     printf("\n");
43 }
44
45 int show_rules()
46 {
47     int fd;
48     char *buf;
49     struct fw_rule *rule;
50     struct in_addr addr;
51
52     fd = open("/dev/fw_file", O_RDONLY);
53     if (fd < 0)
54         return DEVICE_NOT_AVAILABLE;
55
56     buf = (char *)malloc(sizeof(struct fw_rule));
57     if (buf == NULL)
58         return MEMORY_ERROR;
59
60     print_head();
61
62     while (read(fd, buf, sizeof(struct fw_comm)) > 0)
63     {
64         rule = (struct fw_rule *)buf;
65
66         printf("%-8s ", rule->in == IN ? "IN" : "OUT");
67
68         if (rule->src_ip != NOT_STATED)
69         {
70             addr.s_addr = rule->src_ip;
71             printf("%-23s ", inet_ntoa(addr));
72         }
73         else
74             printf("%-23s ", "---");
75
76         if (rule->src_port != NOT_STATED)
77             printf("%-15d ", ntohs(rule->src_port));
78         else

```

```

79         printf("%-15s ", "---");
80
81     if (rule->dest_ip != NOT_STATED)
82     {
83         addr.s_addr = rule->dest_ip;
84         printf("%-23s ", inet_ntoa(addr));
85     }
86     else
87         printf("%-23s ", "---");
88
89     if (rule->dest_port != NOT_STATED)
90         printf("%-23d ", ntohs(rule->dest_port));
91     else
92         printf("%-23s ", "---");
93
94     if (rule->protocol != NOT_STATED)
95     {
96         if (rule->protocol == IPPROTO_TCP)
97             printf("%-5s ", "TCP");
98         else if (rule->protocol == IPPROTO_UDP)
99             printf("%-5s ", "UDP");
100    }
101    else
102        printf("%-8s ", "---");
103    printf("\n");
104 }
105
106 free(buf);
107 close(fd);
108
109 return EXIT_SUCCESS;
110 }
111
112 int write_rule(struct fw_comm *comm)
113 {
114     int fd;
115     int count_byte;
116
117     fd = open("/dev/fw_file", O_WRONLY | O_APPEND);
118     if (fd < 0)

```

```

119         return DEVICE_NOT_AVAILABLE;
120
121     write(fd, comm, sizeof(*comm));
122
123     close(fd);
124
125     return EXIT_SUCCESS;
126 }
127
128 void init_comm(struct fw_comm *comm)
129 {
130     comm->action = NONE;
131     comm->rule.in = NOT_STATED;
132     comm->rule.src_ip = NOT_STATED;
133     comm->rule.src_port = NOT_STATED;
134     comm->rule.dest_ip = NOT_STATED;
135     comm->rule.dest_port = NOT_STATED;
136     comm->rule.protocol = NOT_STATED;
137 }
138
139 uint64_t parse_add_arg(const char *str, int min_value, int max_value)
140 {
141     int num;
142     char *end;
143
144     num = strtol(str, &end, 10);
145     if (num < min_value || num > max_value || str == end)
146         return EXIT_FAILURE;
147     return num;
148 }
149
150 int parse_add_prot(const char *protocol)
151 {
152     if (strcmp(protocol, TCP_PROTOCOL) == 0)
153         return IPPROTO_TCP;
154     if (strcmp(protocol, UDP_PROTOCOL) == 0)
155         return IPPROTO_UDP;
156     return EXIT_FAILURE;
157 }
158

```

```

159 int get_ip_from_domain(const char *str)
160 {
161     struct hostent* host = NULL;
162     char tmpIp[INET_ADDRSTRLEN];
163
164     host = gethostbyname(str);
165     if (host == NULL)
166         return INCORRECT_DOMAIN;
167
168     for (int i = 0; host->h_addr_list[i] != NULL; i++)
169     {
170         memset(tmpIp, 0, sizeof(tmpIp));
171         inet_ntop(host->h_addrtype, host->h_addr_list[i], tmpIp,
INET_ADDRSTRLEN);
172
173         if (strlen(tmpIp) > 0)
174             strcpy(ip_arr[i], tmpIp);
175     }
176     return EXIT_SUCCESS;
177 }
178
179 int parse_comm(int argc, char **argv, struct fw_comm *res_comm)
180 {
181     int res, comm_ind, protocol;
182     int64_t param;
183     const char* short_comm = "ad:Aiop:s:r:m:t:e:M:h10";
184     struct in_addr addr;
185     struct fw_comm comm;
186
187     if (argc == 1)
188     {
189         show_info();
190         return LACK_ARGUMENTS;
191     }
192
193     struct option long_comm[] =
194     {
195         {"add", no_argument, 0, 'a'},
196         {"delete", no_argument, 0, 'd'},
197         {"all", no_argument, 0, 'A'},

```

```

198     {"in", no_argument, 0, 'i'},
199     {"out", no_argument, 0, 'o'},
200     {"protocol", required_argument, 0, 'p'},
201     {"src_ip", required_argument, 0, 's'},
202     {"src_port", required_argument, 0, 'r'},
203     {"src_domain", required_argument, 0, 'm'},
204     {"dest_ip", required_argument, 0, 't'},
205     {"dest_port", required_argument, 0, 'e'},
206     {"dest_domain", required_argument, 0, 'M'},
207     {"help", no_argument, 0, 'h'},
208     {"hide", no_argument, 0, '1'},
209     {"unhide", no_argument, 0, '0'},
210     {NULL, 0, NULL, 0}
211 };
212
213 init_comm(&comm);
214
215 while (1)
216 {
217     res = getopt_long(argc, argv, short_comm, long_comm, &comm_ind);
218     if (res < 0)
219         break;
220
221     switch (res)
222     {
223         case 'a':
224             if (comm.action != NONE)
225                 return ACTION_MENTIONED;
226             comm.action = ADD;
227             break;
228         case 'd':
229             if (comm.action != NONE)
230                 return ACTION_MENTIONED;
231             comm.action = DELETE;
232             break;
233         case 'A':
234             if (comm.action != NONE)
235                 return ACTION_MENTIONED;
236             comm.action = SHOW;
237             break;

```

```

238     case 'i':
239         if (comm.rule.in == OUT)
240             return DIRECTION_MENTIONED;
241         comm.rule.in = IN;
242         break;
243     case 'o':
244         if (comm.rule.in == IN)
245             return DIRECTION_MENTIONED;
246         comm.rule.in = OUT;
247         break;
248     case 'p':
249         if (comm.rule.protocol != NOT_STATED)
250             return PROTOCOL_MENTIONED;
251         protocol = parse_add_prot(optarg);
252         if (protocol == EXIT_FAILURE)
253             return WRONG_PROTOCOL;
254         comm.rule.protocol = protocol;
255         break;
256     case 's':
257         if (comm.rule.src_ip != NOT_STATED)
258             return SRC_IP_MENTIONED;
259         if (!inet_aton(optarg, &addr))
260             return INCORRECT_SRC_IP;
261         comm.rule.src_ip = addr.s_addr;
262         break;
263     case 't':
264         if (comm.rule.dest_ip != NOT_STATED)
265             return DEST_IP_MENTIONED;
266         if (!inet_aton(optarg, &addr))
267             return INCORRECT_DEST_IP;
268         comm.rule.dest_ip = addr.s_addr;
269         break;
270     case 'r':
271         if (comm.rule.src_port != NOT_STATED)
272             return SRC_PORT_MENTIONED;
273         param = parse_add_arg(optarg, 0, USHRT_MAX);
274         if (param == EXIT_FAILURE)
275             return INCORRECT_SRC_PORT;
276         comm.rule.src_port = htons((uint16_t)param);
277         break;

```



```

278     case 'm':
279         if (comm.rule.src_ip != NOT_STATED)
280             return SRC_IP_MENTIONED;
281         if (domain_flag != NOT_STATED)
282             return DOMAIN_MENTIONED;
283         param = get_ip_from_domain(optarg);
284         if (param == INCORRECT_DOMAIN)
285             return INCORRECT_DOMAIN;
286         if (!inet_aton(ip_arr[0], &addr))
287             return INCORRECT_DEST_IP;
288         comm.rule.src_ip = addr.s_addr;
289         domain_flag = SRC;
290         break;
291     case 'M':
292         if (comm.rule.dest_ip != NOT_STATED)
293             return DEST_IP_MENTIONED;
294         if (domain_flag != NOT_STATED)
295             return DOMAIN_MENTIONED;
296         param = get_ip_from_domain(optarg);
297         if (param == INCORRECT_DOMAIN)
298             return INCORRECT_DOMAIN;
299         if (!inet_aton(ip_arr[0], &addr))
300             return INCORRECT_DEST_IP;
301         comm.rule.dest_ip = addr.s_addr;
302         domain_flag = DEST;
303         break;
304     case 'e':
305         if (comm.rule.dest_port != NOT_STATED)
306             return DEST_PORT_MENTIONED;
307         param = parse_add_arg(optarg, 0, USHRT_MAX);
308         if (param == EXIT_FAILURE)
309             return INCORRECT_DEST_PORT;
310         comm.rule.dest_port = htons((uint16_t)param);
311         break;
312     case '1':
313         if (comm.action != NONE)
314             return ACTION_MENTIONED;
315         comm.action = HIDE;
316         break;
317     case '0':

```

```

318         if (comm.action != NONE)
319             return ACTION_MENTIONED;
320         comm.action = UNHIDE;
321         break;
322     default:
323         show_info();
324         return EXIT_FAILURE;
325     }
326 }
327
328 if (comm.action == NONE)
329     return ACTION_NOT_MENTIONED;
330
331 if (comm.action == SHOW || comm.action == HIDE || comm.action == UNHIDE)
332 {
333     *res_comm = comm;
334     return EXIT_SUCCESS;
335 }
336
337 if (comm.rule.in == NOT_STATED)
338     return DIRECTION_NOT_MENTIONED;
339
340 if (comm.rule.src_ip == NOT_STATED && comm.rule.src_port == NOT_STATED &&
341     \
342     comm.rule.dest_ip == NOT_STATED && comm.rule.dest_port == NOT_STATED
343     && \
344     comm.rule.protocol == NOT_STATED)
345     return KEYS_NOT_MENTIONED;
346
347 *res_comm = comm;
348
349 return EXIT_SUCCESS;
350 }
351
352 int main(int argc, char *argv[])
353 {
354     struct fw_comm comm;
355     struct in_addr addr;
356     int res, ip_ind = 1;

```

```

356     res = parse_comm(argc, argv, &comm);
357
358     if (res)
359     {
360         switch (res)
361         {
362             case LACK_ARGUMENTS:
363                 printf("ERROR: not enough arguments.\n");
364                 break;
365             case ACTION_MENTIONED:
366                 printf("ERROR: action is already mentioned\n");
367                 break;
368             case DIRECTION_MENTIONED:
369                 printf("ERROR: direction is already mentioned\n");
370                 break;
371             case PROTOCOL_MENTIONED:
372                 printf("ERROR: protocol is already mentioned\n");
373                 break;
374             case WRONG_PROTOCOL:
375                 printf("ERROR: wrong parameter of protocol\n");
376                 break;
377             case SRC_IP_MENTIONED:
378                 printf("ERROR: source IP is already mentioned\n");
379                 break;
380             case INCORRECT_SRC_IP:
381                 printf("ERROR: incorrect source IP\n");
382                 break;
383             case DEST_IP_MENTIONED:
384                 printf("ERROR: destination IP is already mentioned\n");
385                 break;
386             case INCORRECT_DEST_IP:
387                 printf("ERROR: incorrect destination IP\n");
388                 break;
389             case SRC_PORT_MENTIONED:
390                 printf("ERROR: source port is already mentioned\n");
391                 break;
392             case INCORRECT_SRC_PORT:
393                 printf("ERROR: incorrect source port\n");
394                 break;
395             case DEST_PORT_MENTIONED:

```

```

396         printf("ERROR: destination port is already mentioned\n");
397         break;
398     case INCORRECT_DEST_PORT:
399         printf("ERROR: incorrect destination port\n");
400         break;
401     case ACTION_NOT_MENTIONED:
402         printf("ERROR: action (add/delete) is not mentioned\n");
403         break;
404     case DIRECTION_NOT_MENTIONED:
405         printf("ERROR: direction (in/out) is not mentioned\n");
406         break;
407     case INCORRECT_INDEX_RULE:
408         printf("ERROR: incorrect index of rule\n");
409         break;
410     case KEYS_NOT_MENTIONED:
411         printf("ERROR: keys are not mentioned\n");
412         break;
413     case INCORRECT_DOMAIN:
414         printf("ERROR: domain name is wrong\n");
415         break;
416     case DOMAIN_MENTIONED:
417         printf("ERROR: prohibited to mention more than one domain
name\n");
418         break;
419     default:
420         break;
421 }
422 return res;
423 }
424
425 do
426 {
427     switch (comm.action)
428     {
429         case ADD:
430         case DELETE:
431         case HIDE:
432         case UNHIDE:
433             res = write_rule(&comm);
434

```

```

435         switch (res)
436         {
437             case DEVICE_NOT_AVAILABLE:
438                 printf("ERROR: denied access to the device\n");
439                 break;
440             case RULE_ADDITION_FAILED:
441                 printf("ERROR: operation was failed.\n");
442                 break;
443             case EXIT_SUCCESS:
444                 break;
445             default:
446                 break;
447         }
448         break;
449     case SHOW:
450         res = show_rules();
451
452         switch (res)
453         {
454             case DEVICE_NOT_AVAILABLE:
455                 printf("ERROR: denied access to the device\n");
456                 break;
457             case MEMORY_ERROR:
458                 printf("ERROR: problems with memory allocation");
459                 break;
460             default:
461                 break;
462         }
463         break;
464     }
465
466     if (ip_ind < strlen(*ip_arr) && strcmp(ip_arr[ip_ind], ""))
467     {
468         if (!inet_aton(ip_arr[ip_ind], &addr))
469             return INCORRECT_SRC_IP;
470
471         if (domain_flag == SRC)
472             comm.rule.src_ip = addr.s_addr;
473         else if (domain_flag == DEST)
474             comm.rule.dest_ip = addr.s_addr;

```

```
475         ip_ind++;
476     }
477     else
478     {
479         for (int i = 0; i < strlen(*ip_arr) && strcmp(ip_arr[i], ""); i
480         ++)
481             strcpy(ip_arr[ip_ind], "");
482         break;
483     }
484 } while (1);
485
486 domain_flag = NOT_STATED;
487 return EXIT_SUCCESS;
488 }
```

Листинг 13: errors.c

```
1 #define LACK_ARGUMENTS          1000
2 #define DEVICE_NOT_AVAILABLE    1001
3 #define RULE_ADDITION_FAILED    1002
4 #define MEMORY_ERROR            1003
5
6 #define ACTION_MENTIONED        2000
7 #define DIRECTION_MENTIONED    2001
8 #define PROTOCOL_MENTIONED     2002
9 #define DOMAIN_MENTIONED       2003
10 #define WRONG_PROTOCOL          2004
11 #define SRC_IP_MENTIONED        2005
12 #define DEST_IP_MENTIONED       2006
13 #define SRC_PORT_MENTIONED      2007
14 #define DEST_PORT_MENTIONED     2008
15
16 #define ACTION_NOT_MENTIONED    2010
17 #define DIRECTION_NOT_MENTIONED 2011
18 #define KEYS_NOT_MENTIONED     2012
19
20 #define INCORRECT_SRC_IP        3000
21 #define INCORRECT_DEST_IP       3001
22 #define INCORRECT_SRC_PORT      3002
23 #define INCORRECT_DEST_PORT     3003
24 #define INCORRECT_INDEX_RULE    3004
25 #define INCORRECT_DOMAIN        3005
```