

# Оглавление

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Введение</b>                                                                                | <b>5</b>  |
| <b>1 Аналитическая часть</b>                                                                   | <b>6</b>  |
| 1.1 Постановка задачи . . . . .                                                                | 6         |
| 1.2 Обработка событий от USB-устройств . . . . .                                               | 6         |
| 1.2.1 Уведомители . . . . .                                                                    | 7         |
| 1.2.2 usbmon . . . . .                                                                         | 8         |
| 1.2.3 udevadm . . . . .                                                                        | 10        |
| 1.3 USB-устройства в ядре Linux . . . . .                                                      | 11        |
| 1.3.1 Структура <code>usb_device</code> . . . . .                                              | 11        |
| 1.3.2 Структура <code>usb_device_id</code> . . . . .                                           | 14        |
| 1.4 Особенности разработки загружаемых модулей ядра Linux .                                    | 15        |
| 1.4.1 Пользовательское пространство памяти и простран-<br>ство памяти ядра . . . . .           | 15        |
| 1.4.2 Запуск программ пользовательского пространства в<br>пространстве ядра . . . . .          | 16        |
| <b>2 Конструкторская часть</b>                                                                 | <b>18</b> |
| 2.1 IDEF0 последовательность преобразований . . . . .                                          | 18        |
| 2.2 Структура программного обеспечения . . . . .                                               | 19        |
| 2.3 Алгоритм отслеживания событий . . . . .                                                    | 19        |
| 2.4 Алгоритм добавления подключаемых<br>устройств в список подключенных<br>устройств . . . . . | 20        |
| 2.5 Алгоритм работы обработчика событий . . . . .                                              | 21        |
| <b>3 Технологическая часть</b>                                                                 | <b>22</b> |
| 3.1 Выбор языка и среды программирования . . . . .                                             | 22        |
| 3.2 Хранение информации об отслеживаемых устройствах . . .                                     | 22        |
| 3.3 Идентификация устройства как доверенного . . . . .                                         | 23        |
| 3.4 Обработка событий USB-устройства . . . . .                                                 | 25        |
| 3.5 Регистрация уведомления<br>для USB-устройств . . . . .                                     | 27        |

|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| 3.6 Примеры работы разработанного ПО . . . . . | 29        |
| <b>Заключение</b>                              | <b>31</b> |
| <b>Литература</b>                              | <b>32</b> |
| <b>Приложение А</b>                            | <b>32</b> |

# Введение

На сегодняшний день вычислительные мощности компьютера это один из самых ценных ресурсов любой компании. Графические ускорители системы необходимы для реализации любых высокотехнологичных проектов.

В связи с высокой ценой графических вычислительных мощностей компьютера, вероятность взлома и использования в целях злоумышленников компьютеров, оснащёнными такими мощностями повышена.

Существует много способов для проведения кибератаки, одним из которых является атака при помощи USB-устройства. При проведении такой атаки при подключении устройства к компьютеру можно запустить вредоносный программный код на выполнение, который может как удалить важные данные из системы, так и запустить ПО, паразитирующее графические ускорители системы [?].

Для того, чтобы предотвратить кибератаку, проводимую посредством подключенного USB-устройства, следует строго отслеживать активные устройства в системе. С точки зрения пользовательского опыта, нет возможности запретить подключать новые устройства к компьютеру, так как большинство устройств ввода-вывода подключаются через USB, поэтому мониторинг активных устройств, их анализ и последующее принятие решений являются хорошим способом для избежания кибератаки.

Чтобы обезопасить свои вычислительные мощности, при подключении устройства можно отключать графический ускоритель системы. Таким образом исключается возможность использования вычислительных мощностей в целях злоумышленников.

Цель работы — разработать загружаемый модуль ядра Linux для отключения графического ускорителя системы при подключении USB-устройства.

# 1 Аналитическая часть

## 1.1 Постановка задачи

В соответствии с заданием на курсовую работу необходимо разработать загружаемый модуль ядра Linux для отключения графического ускорителя системы при подключении USB-устройства. Для решения данной задачи необходимо:

- проанализировать методы обработки событий, возникающих при взаимодействии с USB-устройствами;
- проанализировать структуры и функции ядра, предоставляющие информацию о USB-устройствах;
- разработать алгоритмы и структуру программного обеспечения;
- реализовать программное обеспечение;
- исследовать разработанное программное обеспечение.

## 1.2 Обработка событий от USB-устройств

Для обработки событий, возникающих при работе с USB-устройствами, например, таких как подключение или отключение устройства, необходимо узнать о возникновении события и выполнить необходимую обработку после возникновения события.

Далее будут рассмотрены существующие различные подходы к определению возникновения событий от USB-устройств и выбран наиболее подходящий для реализации.

## 1.2.1 Уведомители

Ядро Linux содержит механизм, называемый «уведомителями» (**notifiers**) или «цепочками уведомлений» (**notifiers chains**), который позволяет различным подсистемам подписываться на асинхронные события от других подсистем. Цепочки уведомлений в настоящее время активно используется в ядре; существуют цепочки для событий **hotplug** памяти, изменения политики частоты процессора, события **USB hotplug**, загрузки и выгрузки модулей, перезагрузки системы, изменения сетевых устройств [?].

В листинге 1.1 представлена структура **notifier\_block** [?].

Листинг 1.1 – Структура **notifier\_block**

```
1 struct notifier_block {  
2     notifier_fn_t notifier_call;  
3     struct notifier_block __rcu *next;  
4     int priority;  
5 };
```

Данная структура описана в `/include/linux/notifier.h`. Она содержит указатель на функцию–обработчик уведомления (**notifier\_call**), указатель на следующий уведомитель (**next**) и приоритет уведомителя (**priority**). Уведомители с более высоким значением приоритета выполняются первее.

В листинге 1.2 представлена сигнатура функции **notifier\_call**.

Листинг 1.2 – Тип **notifier\_fn\_t**

```
1 typedef int (*notifier_fn_t)(struct notifier_block *nb, unsigned long action, void  
    *data);
```

Сигнатура содержит указатель на уведомитель (**nb**), действие, при котором срабатывает функция (**action**) и данные, которые передаются от действия в обработчик (**data**).

Для регистрации уведомителя для USB-портов используются функции регистрации и удаления уведомителя, представленные в листинге 1.3.

Листинг 1.3 – Уведомители на USB-портах

```
1 /* Events from the usb core */
2 #define USB_DEVICE_ADD  0x0001
3 #define USB_DEVICE_REMOVE 0x0002
4 #define USB_BUS_ADD  0x0003
5 #define USB_BUS_REMOVE 0x0004
6 extern void usb_register_notify(struct notifier_block *nb);
7 extern void usb_unregister_notify(struct notifier_block *nb);
```

Прототипы и константы для действий описаны в файле `/include/linux/notifier.h`, а реализации функций — в файле `/drivers/usb/core/notify.c`. Соответственно действие `USB_DEVICE_ADD` означает подключение нового устройства, а `USB_DEVICE_REMOVE` — удаление.

Особенности уведомителей:

- возможность привязки своего обработчика к событию;
- возможность добавления более чем одного обработчика событий;
- возможность использования интерфейса в загружаемом модуле ядра;

## 1.2.2 usbmon

`usbmon` [?] — средство ядра Linux, используемое для сбора информации о событиях, произошедших на устройствах ввода-вывода, подключенных через USB.

`usbmon` предоставляет информацию о запросах, сделанных драйверами устройств к драйверам хост-контроллера (HCD). Если драйвера хост-контроллера неисправны, то данные, предоставленные `usbmon`, могут не соответствовать действительным переданным данным.

В настоящее время реализованы два программных интерфейса для взаимодействия с `usbmon`: текстовый и двоичный. Двоичный интерфейс доступен через символьное устройство в пространстве имен `/dev`. Текстовый интерфейс устарел, но сохраняется для совместимости.

В листинге 1.4 представлена структура ответа, полученного после события, случившегося на USB-устройстве (например, подключение к компьютеру).

Листинг 1.4 – Структура `usbmon_packet`

```
1 struct usbmon_packet {
2     u64 id; /* 0: URB ID - from submission to callback */
3     unsigned char type; /* 8: Same as text; extensible. */
4     unsigned char xfer_type; /* ISO (0), Intr, Control, Bulk (3) */
5     unsigned char epnum; /* Endpoint number and transfer direction */
6     unsigned char devnum; /* Device address */
7     u16 busnum; /* 12: Bus number */
8     char flag_setup; /* 14: Same as text */
9     char flag_data; /* 15: Same as text; Binary zero is OK. */
10    s64 ts_sec; /* 16: gettimeofday */
11    s32 ts_usec; /* 24: gettimeofday */
12    int status; /* 28: */
13    unsigned int length; /* 32: Length of data (submitted or actual) */
14    unsigned int len_cap; /* 36: Delivered length */
15    union { /* 40: */
16        unsigned char setup[SETUP_LEN]; /* Only for Control S-type */
17        struct iso_rec { /* Only for ISO */
18            int error_count;
19            int numdesc;
20        } iso;
21    } s;
22    int interval; /* 48: Only for Interrupt and ISO */
23    int start_frame; /* 52: For ISO */
24    unsigned int xfer_flags; /* 56: copy of URB's transfer_flags */
25    unsigned int ndesc; /* 60: Actual number of ISO descriptors */
26 }; /* 64 total length */
```

Особенности `usbmon`:

- возможность просматривать собранную информацию через специальное ПО (например, `Wireshark`);
- возможность отслеживать события на одном порте USB или на всех сразу;
- отсутствие возможности вызова обработчика при возникновении определенного события.

`usbmon` позволяет отслеживать события, но не позволяет реагировать на них без программной доработки для реализации обработчика.

### 1.2.3 udevadm

`udevadm` [?] — инструмент для управления устройствами `udev`. Структура `udev` описана в библиотеке `libudev` [?], которая не является системной библиотекой Linux. В данной библиотеке представлен программный интерфейс для мониторинга и взаимодействия с локальными устройствами.

При помощи `udevadm` можно получить полную информацию об устройстве, полученную из его представления в `sysfs`, чтобы создать корректные правила и обработчики событий для устройства. Кроме того можно получить список событий для устройства, установить наблюдение за ним.

В листинге 1.5 представлен пример правила обработки событий, задаваемого с помощью `udevadm`.

Листинг 1.5 – Правила `udevadm`

```
1 /* rules file */
2 SUBSYSTEM=="usb", ACTION=="add", ENV{DEVTYPE}=="usb_device", RUN+="/bin/device_added.sh"
3 SUBSYSTEM=="usb", ACTION=="remove", ENV{DEVTYPE}=="usb_device",
  RUN+="/bin/device_removed.sh"
4
5 /* device_added.sh */
6 #!/bin/bash
7 echo "USB_device_added_at_$(date)" >>/tmp/scripts.log
8
9 /* device_removed.sh */
10 #!/bin/bash
11 echo "USB_device_removed_at_$(date)" >>/tmp/scripts.log
```

Особенности `udevadm`:

- возможность привязки своего обработчика к событию;
- невозможность использования интерфейса в ядре Linux;



## 1.3 USB-устройства в ядре Linux

### 1.3.1 Структура usb\_device

Для хранения информации о USB-устройстве в ядре используется структура `usb_device`, описанная в `/include/linux/usb.h` [?].

Структура `usb_device` представлена в листинге 1.6.

Листинг 1.6 – Структура `usb_device`

```
1 struct usb_device {
2     int devnum;
3     char devpath[16];
4     u32 route;
5     enum usb_device_state state;
6     enum usb_device_speed speed;
7     unsigned int rx_lanes;
8     unsigned int tx_lanes;
9     enum usb_ssp_rate ssp_rate;
10
11     struct usb_tt *tt;
12     int ttport;
13
14     unsigned int toggle[2];
15
16     struct usb_device *parent;
17     struct usb_bus *bus;
18     struct usb_host_endpoint ep0;
19
20     struct device dev;
21
22     struct usb_device_descriptor descriptor;
23     struct usb_host_bos *bos;
24     struct usb_host_config *config;
25
26     struct usb_host_config *actconfig;
27     struct usb_host_endpoint *ep_in[16];
28     struct usb_host_endpoint *ep_out[16];
29
30     char **rawdescriptors;
31
32     unsigned short bus_mA;
33     u8 portnum;
34     u8 level;
35     u8 devaddr;
```

```

36
37     unsigned can_submit:1;
38     unsigned persist_enabled:1;
39     unsigned have_langid:1;
40     unsigned authorized:1;
41     unsigned authenticated:1;
42     unsigned wusb:1;
43     unsigned lpm_capable:1;
44     unsigned usb2_hw_lpm_capable:1;
45     unsigned usb2_hw_lpm_besl_capable:1;
46     unsigned usb2_hw_lpm_enabled:1;
47     unsigned usb2_hw_lpm_allowed:1;
48     unsigned usb3_lpm_u1_enabled:1;
49     unsigned usb3_lpm_u2_enabled:1;
50     int string_langid;
51
52     /* static strings from the device */
53     char *product;
54     char *manufacturer;
55     char *serial;
56
57     struct list_head filelist;
58
59     int maxchild;
60
61     u32 quirks;
62     atomic_t urbnum;
63
64     unsigned long active_duration;
65
66 #ifdef CONFIG_PM
67     unsigned long connect_time;
68
69     unsigned do_remote_wakeup:1;
70     unsigned reset_resume:1;
71     unsigned port_is_suspended:1;
72 #endif
73     struct wusb_dev *wusb_dev;
74     int slot_id;
75     enum usb_device_removable removable;
76     struct usb2_lpm_parameters l1_params;
77     struct usb3_lpm_parameters u1_params;
78     struct usb3_lpm_parameters u2_params;
79     unsigned lpm_disable_count;
80
81     u16 hub_delay;
82     unsigned use_generic_driver:1;
83 };

```

Каждое USB-устройство должно соответствовать спецификации USB-IF [?], одним из требований которой является наличие идентификатора поставщика (**Vendor ID (VID)**) и идентификатор продукта (**Product ID (PID)**). Эти данные присутствуют в поле **descriptor** структуры **usb\_device**. В листинге 1.7 представлена структура дескриптора **usb\_device\_descriptor**, описанная в `/include/uapi/linux/usb/ch9.h`.

Листинг 1.7 – Структура **usb\_device\_descriptor**

```
1 /* USB_DT_DEVICE: Device descriptor */
2 struct usb_device_descriptor {
3     __u8 bLength;
4     __u8 bDescriptorType;
5
6     __le16 bcdUSB;
7     __u8 bDeviceClass;
8     __u8 bDeviceSubClass;
9     __u8 bDeviceProtocol;
10    __u8 bMaxPacketSize0;
11    __le16 idVendor;
12    __le16 idProduct;
13    __le16 bcdDevice;
14    __u8 iManufacturer;
15    __u8 iProduct;
16    __u8 iSerialNumber;
17    __u8 bNumConfigurations;
18 } __attribute__((packed));
19
20 #define USB_DT_DEVICE_SIZE 18
```

### 1.3.2 Структура usb\_device\_id

При подключении USB-устройства к компьютеру, оно идентифицируется и идентификационная информация записывается в структуру `usb_device_id` [?].

Структура `usb_device_id` представлена в листинге 1.8.

Листинг 1.8 – Структура `usb_device_id`

```
1 struct usb_device_id {
2     /* which fields to match against? */
3     __u16  match_flags;
4
5     /* Used for product specific matches; range is inclusive */
6     __u16  idVendor;
7     __u16  idProduct;
8     __u16  bcdDevice_lo;
9     __u16  bcdDevice_hi;
10
11     /* Used for device class matches */
12     __u8   bDeviceClass;
13     __u8   bDeviceSubClass;
14     __u8   bDeviceProtocol;
15
16     /* Used for interface class matches */
17     __u8   bInterfaceClass;
18     __u8   bInterfaceSubClass;
19     __u8   bInterfaceProtocol;
20
21     /* Used for vendor-specific interface matches */
22     __u8   bInterfaceNumber;
23
24     /* not matched against */
25     kernel_ulong_t driver_info
26     __attribute__((aligned(sizeof(kernel_ulong_t))));
27 };
```

## 1.4 Особенности разработки загружаемых модулей ядра Linux

### 1.4.1 Пользовательское пространство памяти и пространство памяти ядра

Пользовательские программы работают в пользовательском пространстве, а ядро и его модули — в пространстве ядра.

Операционная система должна обеспечивать программы доступом к аппаратной части компьютера, независимую работу программ и защиту от несанкционированного доступа к ресурсам. Решение этих задач становится возможным в случае, если процессор обеспечивает защиту системного программного обеспечения от прикладных программ.

Ядро Linux выполняется на самом высоком уровне, где разрешено выполнение любых инструкций и доступ к произвольным участкам памяти, а приложения выполняются на самом низком уровне, в котором процессор регулирует прямой доступ к аппаратной части и несанкционированный доступ к памяти. Ядро выполняет переход из пользовательского пространства в пространство ядра, когда приложение делает системный вызов или приостанавливается аппаратным прерыванием. Код ядра, выполняя системный вызов, работает в контексте процесса — он действует от имени вызывающего процесса и в состоянии получить данные в адресном пространстве процесса. Код, который обрабатывает прерывания, является асинхронным по отношению к процессам и не связан с каким-либо определенным процессом.

Ролью модуля ядра является расширение функциональности ядра без его перекомпиляции. Код модулей выполняется в пространстве ядра.

## 1.4.2 Запуск программ пользовательского пространства в пространстве ядра

Для запуска программ пространства пользователя из пространства ядра используется `usermode-helper` API. Чтобы создать процесс из пространства пользователя необходимо указать имя исполняемого файла, аргументы, с которыми требуется запустить программу, и переменные окружения [?].

В листинге 1.9 представлена структура процесса, использующегося в `usermode-helper` API и сигнатура функции вызова [?].

Листинг 1.9 – `usermode-helper` API

```
1 #define UMH_NO_WAIT 0 /* don't wait at all */
2 #define UMH_WAIT_EXEC 1 /* wait for the exec, but not the process */
3 #define UMH_WAIT_PROC 2 /* wait for the process to complete */
4 #define UMH_KILLABLE 4 /* wait for EXEC/PROC killable */
5
6 struct subprocess_info {
7     struct work_struct work;
8     struct completion *complete;
9     const char *path;
10    char **argv;
11    char **envp;
12    int wait;
13    int retval;
14    int (*init)(struct subprocess_info *info, struct cred *new);
15    void (*cleanup)(struct subprocess_info *info);
16    void *data;
17 } __randomize_layout;
18
19 extern int call_usermodehelper(const char *path, char **argv, char **envp, int wait);
```

## Выводы

Были рассмотрены методы обработки событий, возникающих при взаимодействии с USB-устройствами. Среди рассмотренных методов был выбран механизм уведомителей, так как он позволяет привязать свой обработчик события, а также реализован на уровне ядра Linux. Были рассмотрены структуры и функции ядра для работы с уведомителями, а также особенности разработки загружаемых модулей ядра.

## 2 Конструкторская часть

### 2.1 IDEF0 последовательность преобразований

На рисунках 2.1 и 2.2 представлена IDEF0 последовательность преобразований.

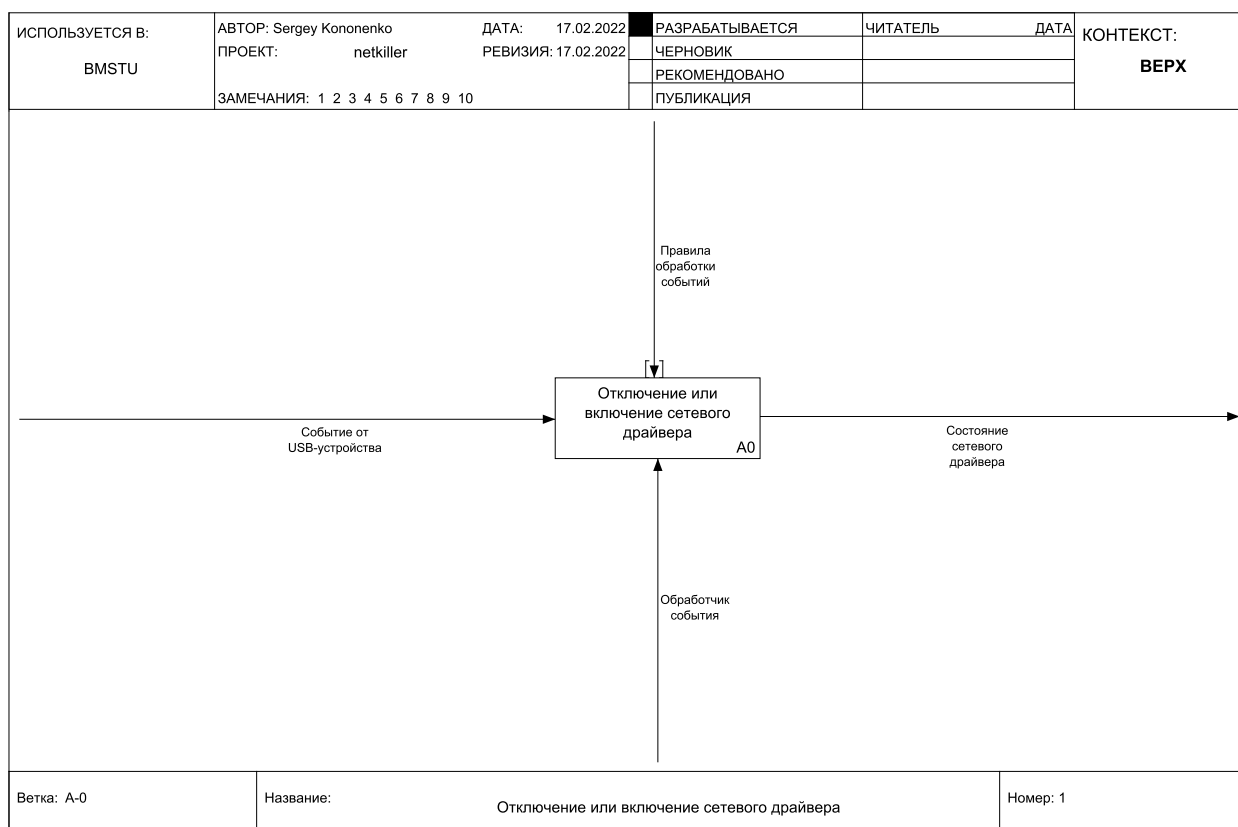


Рисунок 2.1 – Нулевой уровень преобразований



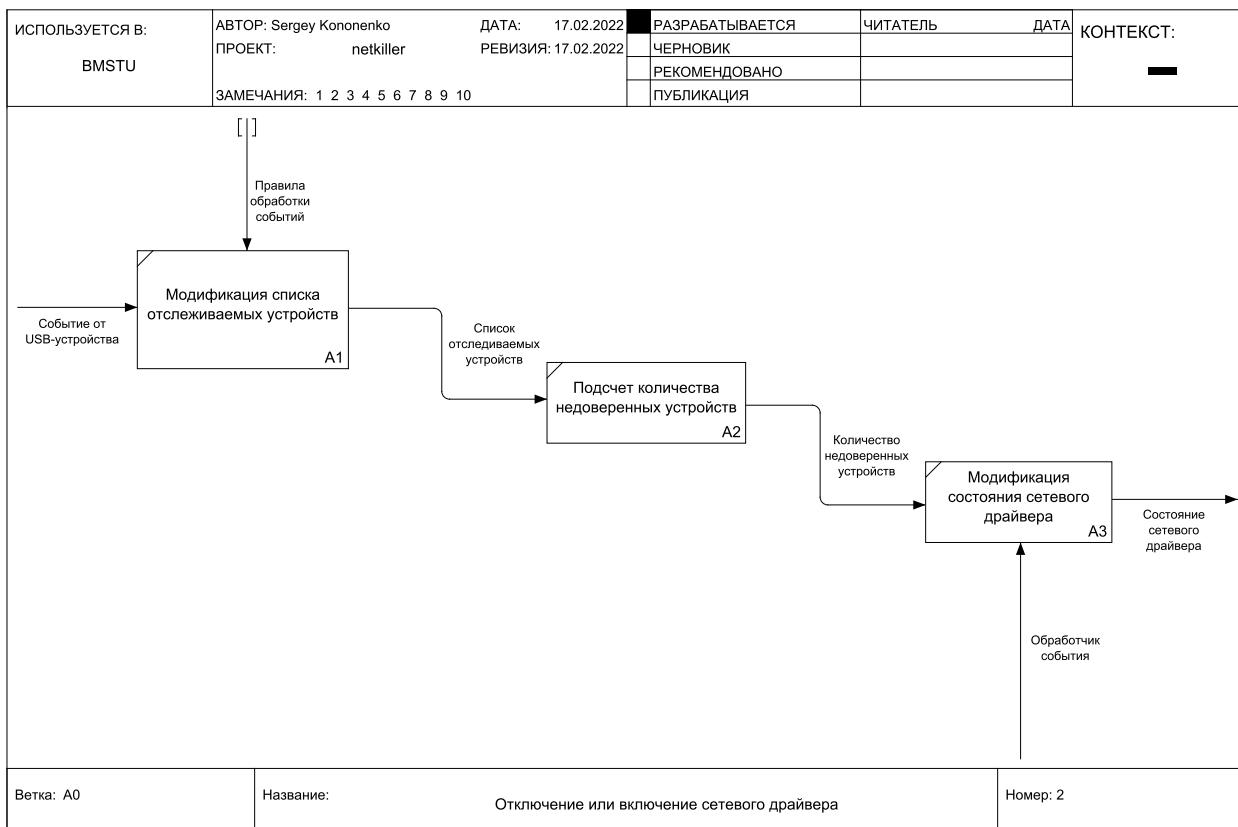


Рисунок 2.2 – Первый уровень преобразований

## 2.2 Структура программного обеспечения

В состав разрабатываемого программного обеспечения входит один загружаемый модуль ядра, который отслеживает подключенные USB-устройства и программно отключает сетевые устройства при наличии недоверенного устройства. Недоверенным устройством считается устройство, которое не идентифицируется в соответствии со списком допустимых устройств модуля. Список допустимых устройств задается в исходном коде модуля.

## 2.3 Алгоритм отслеживания событий

Для отслеживания событий подключения и отключения устройств в модуле ядра размещен соответствующий уведомитель, который будет зарегистрирован при загрузке модуля и удален при его удалении.

В листинге 2.1 представлена функция обработки событий.

## Листинг 2.1 – Обработка событий

```
1 // Handler for event's notifier.
2 static int notify(struct notifier_block *self, unsigned long action, void *dev)
3 {
4     // Events, which our notifier react.
5     switch (action)
6     {
7         case USB_DEVICE_ADD:
8             usb_dev_insert(dev);
9             break;
10        case USB_DEVICE_REMOVE:
11            usb_dev_remove(dev);
12            break;
13        default:
14            break;
15    }
16
17    return 0;
18 }
19
20 // React on different notifies.
21 static struct notifier_block usb_notify = {
22     .notifier_call = notify,
23 };
```

Для каждого события есть отдельный обработчик.

## 2.4 Алгоритм добавления подключаемых устройств в список подключенных устройств

Для хранения информации о подключенных устройствах будет использован связный список, хранящий информацию об идентификационных данных устройства.

Алгоритм модификации списка отслеживаемых устройств представлен в схеме на рисунке 2.3.

## 2.5 Алгоритм работы обработчика событий

На рисунке 2.3 представлен алгоритм работы обработчика событий .

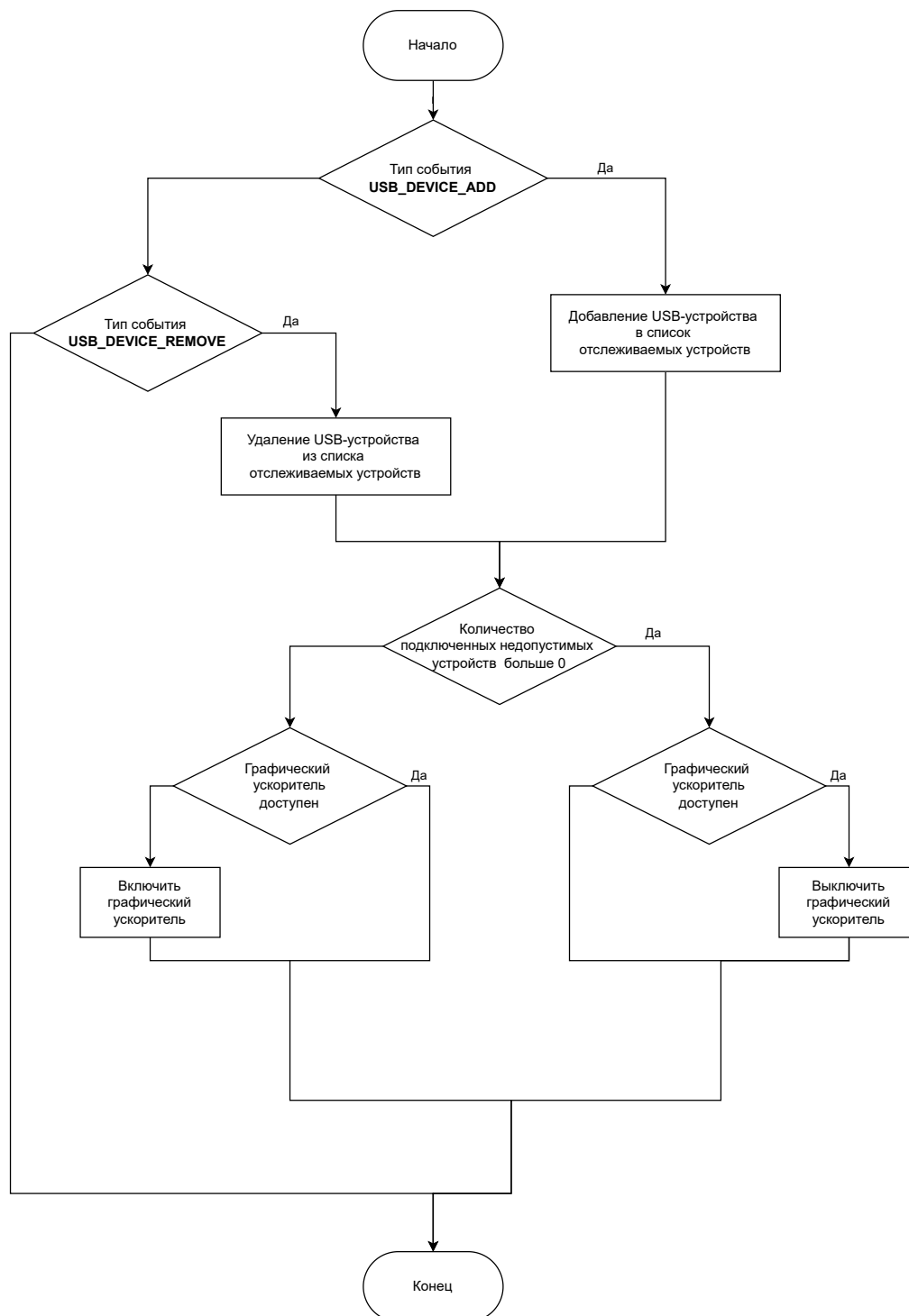


Рисунок 2.3 – Алгоритм обработчика событий

## 3 Технологическая часть

### 3.1 Выбор языка и среды программирования

Разработанный модуль ядра написан на языке программирования C [?]. Выбор языка программирования C основан на том, что исходный код ядра Linux, все его модули и драйверы написаны на данном языке.

В качестве компилятора выбран gcc [?].

В качестве среды разработки выбрана среда Visual Studio Code [?].

### 3.2 Хранение информации об отслеживаемых устройствах

Для хранения информации об отслеживаемых устройствах объявлена структура `int_usb_device`, которая хранит в себе идентификационные данные устройства (PID, VID) и указатель на элемент списка.

Структура `int_usb_device` представлена в листинге 3.1.

Листинг 3.1 – Структура `int_usb_device`

```
1 // Wrapper for usb_device_id with added list_head field to track devices.
2 typedef struct int_usb_device
3 {
4     struct usb_device_id dev_id;
5     struct list_head list_node;
6 } int_usb_device_t;
```

При подключении или удалении устройства, создается экземпляр данной структуры и помещается в список отслеживаемых устройств.

В листинге 3.2 представлены функции для работы со списком отслеживаемых устройств.

Листинг 3.2 – Функции для работы со списком отслеживаемых устройств

```
1 // Add connected device to list of tracked devices.
2 static void add_int_usb_dev(struct usb_device *dev)
3 {
4     int_usb_device_t *new_usb_device = (int_usb_device_t
5         *)kmalloc(sizeof(int_usb_device_t), GFP_KERNEL);
6     struct usb_device_id new_id = {USB_DEVICE(dev->descriptor.idVendor,
7         dev->descriptor.idProduct)};
8     new_usb_device->dev_id = new_id;
9     list_add_tail(&new_usb_device->list_node, &connected_devices);
10 }
11
12 // Delete device from list of tracked devices.
13 static void delete_int_usb_dev(struct usb_device *dev)
14 {
15     int_usb_device_t *device, *temp;
16     list_for_each_entry_safe(device, temp, &connected_devices, list_node)
17     {
18         if (is_dev_matched(dev, &device->dev_id))
19         {
20             list_del(&device->list_node);
21             kfree(device);
22         }
23     }
24 }
```

### 3.3 Идентификация устройства как доверенного

Для проверки устройства необходимо проверить его идентификационные данные с данными доверенных устройств. В листинге 3.3 представлены объявление списка доверенных устройств и функции для идентификации устройства.

### Листинг 3.3 – Функции для идентификации устройств

```
1 struct usb_device_id allowed_devs[] = {
2     {USB_DEVICE(0x13fe, 0x3e00)},
3 };
4 // Match device with device id.
5 static bool is_dev_matched(struct usb_device *dev, const struct usb_device_id *dev_id)
6 {
7     // Check idVendor and idProduct, which are used.
8     if (dev_id->idVendor != dev->descriptor.idVendor || dev_id->idProduct !=
9         dev->descriptor.idProduct)
10    {
11        return false;
12    }
13    return true;
14 }
15
16 // Match device id with device id.
17 static bool is_dev_id_matched(struct usb_device_id *new_dev_id, const struct
18     usb_device_id *dev_id)
19 {
20     // Check idVendor and idProduct, which are used.
21     if (dev_id->idVendor != new_dev_id->idVendor || dev_id->idProduct !=
22         new_dev_id->idProduct)
23    {
24        return false;
25    }
26    return true;
27 }
28 // Check if device is in allowed devices list.
29 static bool *is_dev_allowed(struct usb_device_id *dev)
30 {
31     unsigned long allowed_devs_len = sizeof(allowed_devs) / sizeof(struct usb_device_id);
32
33     int i;
34     for (i = 0; i < allowed_devs_len; i++)
35     {
36         if (is_dev_id_matched(dev, &allowed_devs[i]))
37         {
38             return true;
39         }
40     }
41
42     return false;
43 }
44
```

```

45 // Check if changed device is acknowledged.
46 static int count_not_acked_devs(void)
47 {
48     int_usb_device_t *temp;
49     int count = 0;
50
51     list_for_each_entry(temp, &connected_devices, list_node)
52     {
53         if (!is_dev_allowed(&temp->dev_id))
54         {
55             count++;
56         }
57     }
58
59     return count;
60 }

```

## 3.4 Обработка событий USB-устройства

При подключении устройство добавляется в список отслеживаемых устройств. После этого происходит проверка на наличие среди отслеживаемых устройств недоверенных, и, в случае если такие были найдены, происходит отключение драйвера сети. Отключение происходит путем вызова программы `nvidia-smi` через `usermode-helper` API.

В листинге 3.4 представлен обработчик подключения USB-устройства.

Листинг 3.4 – Обработчик подключения USB-устройства

```

1 // Handler for USB insertion.
2 static void usb_dev_insert(struct usb_device *dev)
3 {
4     printk(KERN_INFO "gpufreezer: device connected with PID '%d' and VID '%d'\n",
5         dev->descriptor.idProduct, dev->descriptor.idVendor);
6     add_int_usb_dev(dev);
7     int not_acked_devs = count_not_acked_devs();
8
9     if (!not_acked_devs)
10    {
11        printk(KERN_INFO "gpufreezer: there are no not allowed devices connected, skipping GPU freezing\n");
12    }
13    else
14    {

```

```

15     printk(KERN_INFO "gpufreezer: there are %d not allowed devices connected,
16         freezing GPU\n", not_acked_devs);
17     if (!is_gpu_down)
18     {
19         char *argv[] = {"/usr/bin/nvidia-smi", "-i", "0000:01:00.0-pm0", NULL};
20         char *envp[] = {"HOME=/", "TERM=linux", "PATH=/sbin:/bin:/usr/sbin:/usr/bin",
21             NULL};
22         if (call_usermodehelper(argv[0], argv, envp, UMH_WAIT_PROC > 0))
23         {
24             printk(KERN_WARNING "gpufreezer: unable to freeze GPU\n");
25         }
26         else
27         {
28             char *argv[] = {"/usr/bin/nvidia-smi", "drain-p", "0000:01:00.0-m1",
29                 NULL};
30             char *envp[] = {"HOME=/", "TERM=linux",
31                 "PATH=/sbin:/bin:/usr/sbin:/usr/bin", NULL};
32             if (call_usermodehelper(argv[0], argv, envp, UMH_WAIT_PROC > 0))
33             {
34                 printk(KERN_WARNING "gpufreezer: unable to freeze GPU\n");
35             }
36             else
37             {
38                 printk(KERN_INFO "gpufreezer: GPU is frozen\n");
39                 is_gpu_down = true;
40             }
41         }
42     }
43 }
44 }
45 }

```

При отключении устройство удаляется из списка отслеживаемых устройств. После этого происходит проверка на наличие среди отслеживаемых устройств недоверенных, и, в случае если такие не были найдены, происходит включение драйвера сети. Включение также происходит путем вызова программы `nvidia-smi` через `usermode-helper` API.

В листинге 3.5 представлен обработчик отключения USB-устройства.

### Листинг 3.5 – Обработчик отключения USB-устройства

```

1 // Handler for USB removal.
2 static void usb_dev_remove(struct usb_device *dev)
3 {
4     printk(KERN_INFO "gpufreezer: device disconnected with PID '%d' and VID '%d'\n",
5         dev->descriptor.idProduct, dev->descriptor.idVendor);
6     delete_int_usb_dev(dev);
7     int not_acked_devs = count_not_acked_devs();

```



```

8
9     if (not_acked_devs)
10    {
11        printk(KERN_INFO "gpufreezer: there are %d not allowed devices connected, nothing to do\n", not_acked_devs);
12    }
13    else
14    {
15        if (is_gpu_down)
16        {
17            printk(KERN_INFO "gpufreezer: every not allowed devices are disconnected, bringing GPU back\n");
18
19            char *argv[] = {"/usr/bin/nvidia-smi", "drain-p", "0000:01:00.0-m0"};
20            char *envp[] = {"HOME=", "TERM=linux", "PATH=/sbin:/bin:/usr/sbin:/usr/bin", NULL};
21            if (call_usermodehelper(argv[0], argv, envp, UMH_WAIT_PROC > 0))
22            {
23                printk(KERN_WARNING "gpufreezer: unable to activate GPU\n");
24            }
25            else
26            {
27                printk(KERN_INFO "gpufreezer: GPU is available now\n");
28                is_gpu_down = false;
29            }
30        }
31    }
32 }

```

## 3.5 Регистрация уведомителя для USB-устройств

В листинге 3.6 представлено объявление уведомителя и его функции-обработчика.

Листинг 3.6 – Уведомитель для USB-устройств

```

1 // Handler for event's notifier.
2 static int notify(struct notifier_block *self, unsigned long action, void *dev)
3 {
4     // Events, which our notifier react.
5     switch (action)
6     {
7         case USB_DEVICE_ADD:

```

```

8     usb_dev_insert(dev);
9     break;
10    case USB_DEVICE_REMOVE:
11        usb_dev_remove(dev);
12        break;
13    default:
14        break;
15    }
16
17    return 0;
18 }
19
20 // React on different notifies.
21 static struct notifier_block usb_notify = {
22     .notifier_call = notify,
23 };

```

В листинге 3.7 представлены регистрация и deregистрация уведомителя при загрузке и удалении модуля ядра соответственно.

### Листинг 3.7 – Регистрация и deregистрация уведомителя

```

1 // Module init function.
2 static int __init gpufreezer_init(void)
3 {
4     usb_register_notify(&usb_notify);
5     printk(KERN_INFO "gpufreezer: module loaded\n");
6     return 0;
7 }
8
9 // Module exit function.
10 static void __exit gpufreezer_exit(void)
11 {
12     usb_unregister_notify(&usb_notify);
13     printk(KERN_INFO "gpufreezer: module unloaded\n");
14 }

```

## 3.6 Примеры работы разработанного ПО

На рисунках 3.1 — 3.5 представлены примеры работы разработанного модуля ядра.

```
tema@tema-GS65-Stealth-Thin-8RE:~$ nvidia-smi
Mon Jan 30 16:28:41 2023

+-----+
| NVIDIA-SMI 510.108.03    Driver Version: 510.108.03    CUDA Version: 11.6    |
+-----+-----+
| GPU  Name           Persistence-M| Bus-Id        Disp.A | Volatile Uncorr. ECC |
| Fan  Temp  Perf    Pwr:Usage/Cap|      Memory-Usage | GPU-Util  Compute M. |
|=====+=====+
| 0   NVIDIA GeForce ...   Off   | 00000000:01:00:0 | Off   | N/A |
| N/A   37C    P0     23W /  N/A   | 517MiB / 6144MiB |      2%    Default  |
|=====+=====+
| Processes:                                                       GPU Memory |
|  GPU   GI    CI          PID    Type   Process name                          Usage  |
|=====+=====+
| 0     N/A   N/A         1206     G   /usr/lib/xorg/Xorg                     174MiB |
| 0     N/A   N/A         1559     G   /usr/bin/gnome-shell                  199MiB |
| 0     N/A   N/A         2725     G   ...5/usr/lib/firefox/firefox          91MiB |
| 0     N/A   N/A         5360     G   ...RendererForSitePerProcess          48MiB |
+-----+-----+
```

Рисунок 3.1 – Работа графического ускорителя системы до подключения USB-устройства

```
[ 1961.382268] gpufreezer: module loaded
[ 1998.502777] usb 1-4: new high-speed USB device number 6 using xhci_hcd
[ 1998.821587] usb 1-4: New USB device found, idVendor=13fe, idProduct=4300, bcdDevice= 1.00
[ 1998.821601] usb 1-4: New USB device strings: Mfr=1, Product=2, SerialNumber=3
[ 1998.821608] usb 1-4: Product: USB DISK 2.0
[ 1998.821613] usb 1-4: Manufacturer:
[ 1998.821618] usb 1-4: SerialNumber: 07211A0F9D155513
[ 1998.823886] gpufreezer: device connected with PID '17152' and VID '5118'
[ 1998.823894] gpufreezer: there are 1 not allowed devices connected, freezing GPU
[ 1998.824684] gpufreezer: GPU is frozen
```

Рисунок 3.2 – Пример подключения недоверенного устройства

```
tema@tema-GS65-Stealth-Thin-8RE:~$ nvidia-smi
No devices were found
```

Рисунок 3.3 – Проверка работы графического ускорителя системы после подключения недоверенного устройства

```
[ 2277.228648] usb 1-4: USB disconnect, device number 6
[ 2277.305257] gpufreezer: device disconnected with PID '17152' and VID '5118'
[ 2277.305260] gpufreezer: every not allowed devices are disconnected, bringing GPU back
[ 2277.305412] gpufreezer: GPU is available now
```

Рисунок 3.4 – Пример отключения недоверенного устройства

```

Mon Jan 30 17:02:27 2023
+-----+
| NVIDIA-SMI 510.108.03   Driver Version: 510.108.03   CUDA Version: 11.6   |
+-----+-----+
| GPU  Name                Persistence-M| Bus-Id        Disp.A | Volatile Uncorr. ECC |
| Fan  Temp  Perf    Pwr:Usage/Cap|      Memory-Usage | GPU-Util  Compute M. |
|=====+=====+
| 0    NVIDIA GeForce ...   Off      | 00000000:01:00.0 Off  | N/A       N/A       |
| N/A   52C    P0      28W /  N/A   |  353MiB /  6144MiB |      1%    Default  |
|=====+=====+
+-----+
| Processes:                                                       GPU Memory |
|  GPU   GI    CI          PID    Type   Process name                  Usage   |
|=====+=====+
|  0     N/A   N/A         1206      G   /usr/lib/xorg/Xorg             156MiB |
|  0     N/A   N/A         1559      G   /usr/bin/gnome-shell           56MiB |
|  0     N/A   N/A         2725      G   ...5/usr/lib/firefox/firefox   91MiB |
|  0     N/A   N/A         5360      G   ...RendererForSitePerProcess   45MiB |
+-----+

```

Рисунок 3.5 – Проверка работы графического ускорителя системы после отключения недоверенного устройства

# Заключение

В процессе выполнения курсовой работы по операционным системам был разработан загружаемый модуль ядра Linux для отключения графического ускорителя системы при подключении USB-устройства.

Проанализированы методы обработки событий, возникающих при взаимодействии с USB-устройствами.

Изучены структуры и функции ядра, которые предоставляют информацию о USB-устройствах, механизмы для обработки событий USB-устройств.

Разработан алгоритм отключения графического ускорителя системы при подключении USB-устройства.

Реализовано и протестировано программное обеспечение, реализующее разработанный алгоритм. Программное обеспечение полностью удовлетворяет техническому заданию.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг 3.8 – Исходный код программы

```
1 #include <linux/module.h>
2 #include <linux/slab.h>
3 #include <linux/usb.h>
4
5 MODULE_LICENSE("GPL");
6 MODULE_AUTHOR("Artem_Sarkisov");
7 MODULE_VERSION("1.0");
8
9 // Wrapper for usb_device_id with added list_head field to track devices.
10 typedef struct int_usb_device
11 {
12     struct usb_device_id dev_id;
13     struct list_head list_node;
14 } int_usb_device_t;
15
16 bool is_gpu_down = false;
17
18 struct usb_device_id allowed_devs[] = {
19     {USB_DEVICE(0x13fe, 0x3e00)},
20 };
21
22 // Declare and init the head node of the linked list.
23 LIST_HEAD(connected_devices);
24
25 // Match device with device id.
26 static bool is_dev_matched(struct usb_device *dev, const struct usb_device_id *dev_id)
27 {
28     // Check idVendor and idProduct, which are used.
29     if (dev_id->idVendor != dev->descriptor.idVendor || dev_id->idProduct !=
        dev->descriptor.idProduct)
30     {
31         return false;
32     }
33
34     return true;
35 }
36
37 // Match device id with device id.
38 static bool is_dev_id_matched(struct usb_device_id *new_dev_id, const struct
    usb_device_id *dev_id)
39 {
40     // Check idVendor and idProduct, which are used.
41     if (dev_id->idVendor != new_dev_id->idVendor || dev_id->idProduct !=
        new_dev_id->idProduct)
```

```

42     {
43         return false;
44     }
45
46     return true;
47 }
48
49 // Check if device is in allowed devices list.
50 static bool *is_dev_allowed(struct usb_device_id *dev)
51 {
52     unsigned long allowed_devs_len = sizeof(allowed_devs) / sizeof(struct usb_device_id);
53
54     int i;
55     for (i = 0; i < allowed_devs_len; i++)
56     {
57         if (is_dev_id_matched(dev, &allowed_devs[i]))
58         {
59             return true;
60         }
61     }
62
63     return false;
64 }
65
66 // Check if changed device is acknowledged.
67 static int count_not_acked_devs(void)
68 {
69     int_usb_device_t *temp;
70     int count = 0;
71
72     list_for_each_entry(temp, &connected_devices, list_node)
73     {
74         if (!is_dev_allowed(&temp->dev_id))
75         {
76             count++;
77         }
78     }
79
80     return count;
81 }
82
83 // Add connected device to list of tracked devices.
84 static void add_int_usb_dev(struct usb_device *dev)
85 {
86     int_usb_device_t *new_usb_device = (int_usb_device_t
87         *)kmalloc(sizeof(int_usb_device_t), GFP_KERNEL);
88     struct usb_device_id new_id = {USB_DEVICE(dev->descriptor.idVendor,
89         dev->descriptor.idProduct)};

```

```

88     new_usb_device->dev_id = new_id;
89     list_add_tail(&new_usb_device->list_node, &connected_devices);
90 }
91
92 // Delete device from list of tracked devices.
93 static void delete_int_usb_dev(struct usb_device *dev)
94 {
95     int_usb_device_t *device, *temp;
96     list_for_each_entry_safe(device, temp, &connected_devices, list_node)
97     {
98         if (is_dev_matched(dev, &device->dev_id))
99         {
100             list_del(&device->list_node);
101             kfree(device);
102         }
103     }
104 }
105
106 // Handler for USB insertion.
107 static void usb_dev_insert(struct usb_device *dev)
108 {
109     printk(KERN_INFO "gpubreezer: device connected with PID '%d' and VID '%d'\n",
110             dev->descriptor.idProduct, dev->descriptor.idVendor);
111     add_int_usb_dev(dev);
112     int not_acked_devs = count_not_acked_devs();
113
114     if (!not_acked_devs)
115     {
116         printk(KERN_INFO "gpubreezer: there are no not allowed devices connected, skipping GPU freezing\n");
117     }
118     else
119     {
120         printk(KERN_INFO "gpubreezer: there are %d not allowed devices connected, freezing GPU\n", not_acked_devs);
121         if (!is_gpu_down)
122         {
123             char *argv[] = {"/usr/bin/nvidia-smi", "-i", "0000:01:00.0-pm0", NULL};
124             char *envp[] = {"HOME=/", "TERM=linux", "PATH=/sbin:/bin:/usr/sbin:/usr/bin", NULL};
125             if (call_usermodehelper(argv[0], argv, envp, UMH_WAIT_PROC > 0))
126             {
127                 printk(KERN_WARNING "gpubreezer: unable to freeze GPU\n");
128             }
129             else
130             {
131                 char *argv[] = {"/usr/bin/nvidia-smi", "drain-p", "0000:01:00.0-m1", NULL};

```



```

132     char *envp[] = {"HOME=/", "TERM=linux",
133                     "PATH=/sbin:/bin:/usr/sbin:/usr/bin", NULL};
134     if (call_usermodehelper(argv[0], argv, envp, UMH_WAIT_PROC > 0))
135     {
136         printk(KERN_WARNING "gpufreezer: unable to freeze GPU\n");
137     }
138     else
139     {
140         printk(KERN_INFO "gpufreezer: GPU is frozen\n");
141         is_gpu_down = true;
142     }
143 }
144 }
145 }
146
147 // Handler for USB removal.
148 static void usb_dev_remove(struct usb_device *dev)
149 {
150     printk(KERN_INFO "gpufreezer: device disconnected with PID '%d' and VID '%d'\n",
151             dev->descriptor.idProduct, dev->descriptor.idVendor);
152     delete_int_usb_dev(dev);
153     int not_acked_devs = count_not_acked_devs();
154
155     if (not_acked_devs)
156     {
157         printk(KERN_INFO "gpufreezer: there are %d not allowed devices connected, nothing
158             to do\n", not_acked_devs);
159     }
160     else
161     {
162         if (is_gpu_down)
163         {
164             printk(KERN_INFO "gpufreezer: every not allowed devices are disconnected,
165                 bringing GPU back\n");
166
167             char *argv[] = {"/usr/bin/nvidia-smi", "drain_p", "0000:01:00.0_m0"};
168             char *envp[] = {"HOME=/", "TERM=linux", "PATH=/sbin:/bin:/usr/sbin:/usr/bin",
169                             NULL};
169             if (call_usermodehelper(argv[0], argv, envp, UMH_WAIT_PROC > 0))
170             {
171                 printk(KERN_WARNING "gpufreezer: unable to activate GPU\n");
172             }
173             else
174             {
175                 printk(KERN_INFO "gpufreezer: GPU is available now\n");
176                 is_gpu_down = false;
177             }

```

```

176     }
177 }
178 }
179
180 // Handler for event's notifier.
181 static int notify(struct notifier_block *self, unsigned long action, void *dev)
182 {
183     // Events, which our notifier react.
184     switch (action)
185     {
186     case USB_DEVICE_ADD:
187         usb_dev_insert(dev);
188         break;
189     case USB_DEVICE_REMOVE:
190         usb_dev_remove(dev);
191         break;
192     default:
193         break;
194     }
195
196     return 0;
197 }
198
199 // React on different notifies.
200 static struct notifier_block usb_notify = {
201     .notifier_call = notify,
202 };
203
204 // Module init function.
205 static int __init gpufreezer_init(void)
206 {
207     usb_register_notify(&usb_notify);
208     printk(KERN_INFO "gpufreezer: module loaded\n");
209     return 0;
210 }
211
212 // Module exit function.
213 static void __exit gpufreezer_exit(void)
214 {
215     usb_unregister_notify(&usb_notify);
216     printk(KERN_INFO "gpufreezer: module unloaded\n");
217 }
218
219 module_init(gpufreezer_init);
220 module_exit(gpufreezer_exit);

```