|  |  |
| --- | --- |
| Gerb-BMSTU_01 | **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 КУРСОВОЙ РАБОТЕ***

***НА ТЕМУ:***

***«Загружаемый модуль ядра для установки звуковых сигналов на клавиши USB-мыши»***

Студент \_\_\_\_\_\_ИУ7-75Б\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_**О.С. Платонова**\_\_\_\_\_\_\_**

(Группа) (Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Руководитель курсового проекта **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_**Н. Ю. Рязанова\_\_\_\_**\_\_\_**

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

*Москва, 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.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение курсового проекта**

по дисциплине \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Операционные системы\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_Загружаемый модуль ядра для установки звуковых сигналов на клавиши USB-мыши\_

(Тема курсового проекта)

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Платонова О. С. гр. ИУ7-75Б\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Фамилия, инициалы, индекс группы)

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

***1. Техническое задание***

Разработать загружаемый модуль ядра Linux, который устанавливает звуковые сигналы на клавиши USB-мыши, чтобы при нажатии воспроизводились звуки. Звук должен сопровождать нажатие и отпускание клавиш мыши. Реализовать для левой, правой и средней клавиш.

***2. Оформление курсового проекта***

2.1. Расчетно-пояснительная записка на 25-30 листах формата А4.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать: введение, аналитическую часть, конструкторскую часть, технологическую часть, экспериментально-исследовательский раздел, заключение, список литературы, приложения.

2.2. Перечень графического (иллюстративного) материала (чертежи, плакаты, слайды и т.п.)

На защиту проекта должна быть представлена презентация, состоящая из 15-20 слайдов. На слайдах должны быть отражены: постановка задачи, использованные методы и алгоритмы, расчетные соотношения, структура комплекса программ, диаграмма классов, интерфейс.

Дата выдачи задания «\_\_ \_\_» \_\_ \_\_ 2021 г.

**Руководитель курсового проекта**  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_Н. Ю. Рязанова\_\_\_\_

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

**Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_**О. С. Платонова**\_\_\_**

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Оглавление

[Введение 5](#_Toc90604469)

[1. Аналитический раздел 6](#_Toc90604470)

[1.1. Формализация задачи 6](#_Toc90604471)

[1.2. Анализ предметной области 6](#_Toc90604472)

[1.2.1. USB драйвер 6](#_Toc90604473)

[1.2.2. USB ядро 7](#_Toc90604474)

[1.2.3. Конечная точка 7](#_Toc90604475)

[1.2.4. USB передачи данных 8](#_Toc90604476)

[1.2.4.1. urb 8](#_Toc90604477)

[1.2.4.1. Без urb 9](#_Toc90604478)

[2. Конструкторский раздел 10](#_Toc90604479)

[2.1. Требования к программному обеспечению 10](#_Toc90604480)

[2.2. Реализация драйвера 10](#_Toc90604481)

[2.2.1. Регистрация драйвера 10](#_Toc90604482)

[2.2.2. Обработка сообщений от устройства 12](#_Toc90604483)

[1.2.3. Дополнительный поток ядра 12](#_Toc90604484)

[1.2.3.1. Создание потока 12](#_Toc90604485)

[1.2.3.2. Функция потока 13](#_Toc90604486)

[1.2.3.3. Ожидание потока 14](#_Toc90604487)

[1.2.3.4. Завершение работы потока 14](#_Toc90604488)

[3. Технологический раздел 15](#_Toc90604489)

[3.1. Язык программирования и среда разработки 15](#_Toc90604490)

[3.2. Описание ключевых моментов реализации 15](#_Toc90604491)

[3.3. Makefile 20](#_Toc90604492)

[Заключение 21](#_Toc90604493)

[Литература 22](#_Toc90604494)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А 23](#_Toc90604495)

# Введение

Популярность операционной системы Linux стремительно растет в наше время. Так, в 2020 году доля Linux на мировом рынке увеличилась более, чем в двое. С ростом популярности возрастает интерес к оптимизации ОС, в том числе к написанию драйверов для нее.

Драйверы Linux играют важнейшую роль в ядре: скрывая детали реализации, касающиеся обслуживаемого устройства, они предоставляют четкий интерфейс для работы. Задача драйвера заключается в преобразовании стандартизированных запросов в специфичные для заданного устройства, посредством которых реализуется взаимодействие с аппаратурой.

Изучение проблемы написания драйверов позволяет не только понять основные принципы взаимодействия пользователя с ОС, но и дает широкий спектр работ, связанных с оптимизацией существующих и реализацией собственных драйверов. Темпы появления новых устройств и исчезновения существующих позволяют уверенно заявлять, что задача реализации и оптимизации драйверов остается актуальной на долгое время.

В данной работе будет рассмотрен драйвер USB-мыши, позволяющий решать поставленную задачу частично. Поэтому решение задачи будет основываться на изучении и модификации существующего системного драйвера.

# Аналитический раздел

## 1.1. Формализация задачи

Целью данной работы является разработка и реализация загружаемого модуля ядра операционной системы Linux, позволяющего выполнять установку звуковых сигналов на клавиши USB-мыши. Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

* выполнить анализ системного драйвера мыши;
* разработать загружаемый модуль, устанавливающий звуковые сигналы на клавиши мыши;
* реализовать программное обеспечение.

Программное обеспечение должно позволять выполнять сопровождение звука для нажатия и отпускания левой, средней и правой клавиш мыши.

## 1.2. Анализ предметной области

### 1.2.1. USB драйвер

USB (англ. Universal Serial Bus, Универсальная последовательная шина) является соединением между компьютером и несколькими периферийными устройствами [1]. Несмотря на то, что реализация шины очень проста, она имеет следующую отличительную особенность: USB является каналом связи между устройством и хостом и может запросить фиксированный канал пропускания для передачи данных (необходим для надежной передачи аудио и видео).

В ОС Linux реализована поддержка двух основных типов USB драйверов: драйверы на устройстве и драйверы на хост-системе. Последние управляют USB-устройствами, которые подключены к соответствующей хост-системе.

### 1.2.2. USB ядро

В ядре Linux реализована подсистема, которая называется USB ядром (англ. USB core). Драйверы основного ядра обращаются к прикладным интерфейсам USB ядра. В тоже время принято выделять два основных интерфейса USB ядра: один — реализует взаимодействие с драйверами общего назначения, другой — взаимодействие с драйверами, являющимися частью ядра. Второй тип драйверов участвует в управлении USB шиной. На рисунке 1 представлена описанная выше конфигурация.

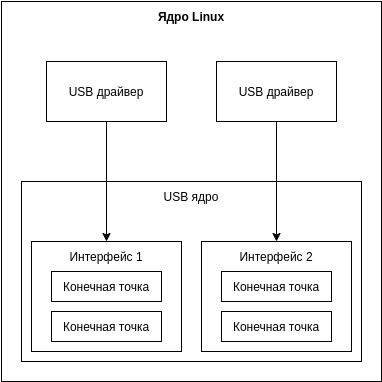


Рисунок 1. USB ядро.

## 1.2.3. Конечная точка

Как видно из рисунка, интерфейс USB ядра состоит из так называемых конечных точек (англ. endpoint). Конечная точка является формой USB взаимодействия, способной переносить данные только в одном направлении (аналогия с однонаправленным каналом). Соответственно, точка IN переносит данные от устройства на хост-систему, OUT — с хост-системы на устройство. Драйвер мыши имеет только 1 конечную точку типа прерывания. Для конечных точек данного типа характерна передача небольшого объема данных с фиксированной частотой. Являются основными для клавиатуры и мыши. Передачи данного типа имеют зарезервированную пропускную способность. Также выделяют точки типа управляющая, поточная и изохронная. Управляющие и поточные точки используются для асинхронной передачи данных, когда драйвер решает их использовать. Изохорные точки не могут гарантировать доставку данных, однако способны поддерживать обмен большого объема данных. Применяются для сбора данных в реальном времени (аудио, видео).

## 1.2.4. USB передачи данных

### 1.2.4.1. urb

Для обмена данными между заданной конечной точкой USB и USB устройством в асинхронном режиме используется urb (англ. USB request block). Каждая конечная точка в устройстве может обрабатывать очередь из urb.

Жизненный цикл urb можно разделить на два этапа:

*I. Инициализация драйвером USB:*

Создание, назначение в определенную конечную точку устройства, передача в USB ядро.

*II. Обработка драйвером контроллера USB узла:*

Передача USB ядром в заданный драйвер контроллера USB узла, обработка драйвером, который выполняет передачу по USB в устройство. После завершения работы с urb драйвер уведомляет драйвер USB устройства.

### 1.2.4.1. Без urb

В Linux допустимы реализации USB драйверов, при которых отправка и прием данных происходит без создания и инициализации urb. Для этого в системе определены следующие функции:

1. *usb\_bulk\_msg*. Создает потоковый urb и отправляет его в указанное устройство. Перед возвратом к вызывающему устройству ожидает завершения urb.
2. *usb\_control\_msg*. Работа данной функции аналогична *usb\_bulk\_msg*, однако в данной реализации драйверу доступны отправка и получение управляющих сообщений USB.

# Конструкторский раздел

## 2.1. Требования к программному обеспечению

Программное обеспечение состоит из драйвера, реализованного в виде загружаемого модуля ядра, который посредством создания потока ядра обрабатывает нажатия клавиш мыши и воспроизводит звуковые сигналы.

## 2.2. Реализация драйвера

В основе данного ПО лежит реализация исходного USB драйвера мыши. Его работа заключается в регистрации своего объекта драйвера с USB подсистемой.

### 2.2.1. Регистрация драйвера

Основной структурой, которую создают все драйверы, является struct *usb\_driver* (определена в /include/linux/usb.h). Эта структура создается и инициализируется драйвером посредством ряда функция.

Рисунок 2. Структура usb\_driver.

Для регистрации USB драйвера мыши следует рассматривать следующие поля структуры:

* *name* — имя драйвера, должно быть уникальным в пространстве USB драйверов;
* *probe* — указатель на функцию, выполняющую проверку устройства, описанного структурой *usb\_interface*. В случае соответствия драйвера и указанного устройства, драйвер также инициализирует локальные структуры, необходимые для управления USB устройством. Так, в данной работе, в случае успешной проверки, будет выполнена инициализация структур *usb\_mouse*, *input\_dev*, выделена и проинициализирована память urb, создан поток ядра;
* *disconnect* — указатель на функцию, которая вызывается, когда USB интерфейс более не доступен (отключено устройство или выгружен модуль ядра). Внутри указанной функции выполняется освобождение памяти и отмена регистрации устройства;
* *id\_table* — структура *usb\_device\_id*, описывающая таблицу идентификаторов USB драйверов, необходимую для «горячего» подключения устройств. В случае ее отсутствия, функция *probe* не сможет быть вызвана.

После инициализации структуры *usb\_device\_id* выполняется вызов макроса *MODULE\_DEVICE\_TABLE*. При компиляции процесс извлекает информацию из всех драйверов и инициализирует таблицу устройств. При подключении устройства, ядро обращается к таблице, где выполняется поиск записи, соответствующей идентификатору устройства. В случае нахождения такой записи, выполняется инициализация и загрузка модуля.

### 2.2.2. Обработка сообщений от устройства

Также внутри драйвера реализована функция *usb\_mouse\_irq*, позволяющая обрабатывать сообщения, отправленные устройством.

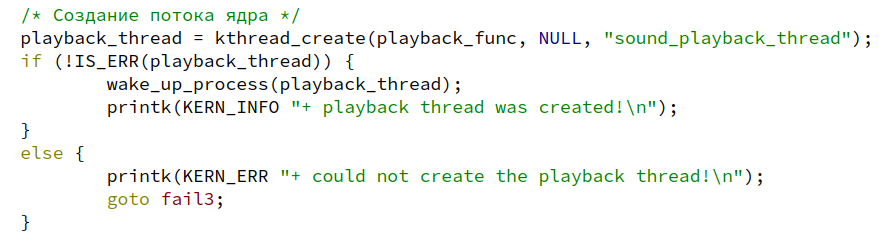


Внутри данной функции также следует выполнить обновление текущего статуса кнопок мыши посредством вызова функции *set\_mouse\_status(const int cur\_data)*. В драйвере мыши информация о нажатой кнопке хранится в поле data[0].

## 1.2.3. Дополнительный поток ядра

## 1.2.3.1. Создание потока

В функции *probe* при успешной проверке подключенного устройства и инициализации локальных структур, следует выполнить создание потока ядра, задача которого асинхронно с помощью пользовательской функции выполнять воспроизведения звуковых сигналов. Необходимость создания дополнительного потока объясняется требованием воспроизведения музыки как фонового процесса, т. е. после нажатия клавиши мыши пользователь может продолжить работу, не дожидаясь окончания воспроизведения.



## 1.2.3.2. Функция потока

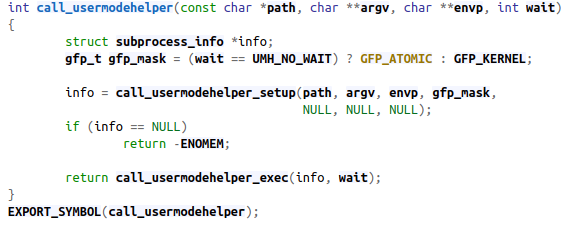
Получив сигнал от устройства, поток выполняет воспроизведение сигнала функцией *call\_usermodehelper.*

Рисунок 3. Функция *call\_usermodehelper.*

Данная функция выполняет подготовку и запуск приложения в пользовательском режиме из режима ядра. Ее работа эквивалентна работе функции *execive*() в пользовательском режиме.

На вход функции подаются следующие аргументы:

* *path* — путь к исполняемому файлу;
* *argv* — вектор аргументов для процесса;
* *envp* — среда процесса;
* *wait* — указание процессу дождаться завершения приложения и вернуть статус.

В данной работе функция вызывается с параметром *UMH\_NO\_WAIT*, указывающим процессу не дожидаться окончания завершения. При такой работе не может быть получен результат исполнения. Это делает безопасным вызов из контекста прерывания.

## 1.2.3.3. Ожидание потока

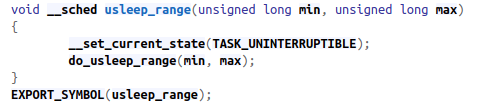
После запуска приложения в пользовательском режиме, поток засыпает, чтобы освободить процессор. Перевод потока в спящий режим осуществляется с помощью функции *usleep\_range*, параметры которой определяются пользователем в микросекундах.

Рисунок 4. Функция *usleep\_range.*

## 1.2.3.4. Завершение работы потока

Завершение работы потока происходит в функции *disconnect*, вызов которой происходит в случае отключения устройства или выгрузки модуля из ядра. Функция *kthread\_stop* выполняет пробуждение потока и ожидание его завершения.

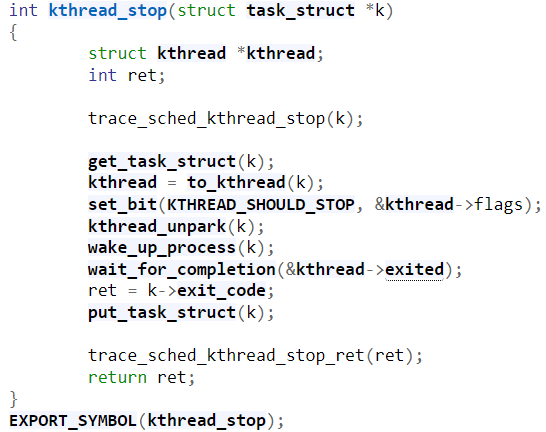


Рисунок 5. Функция *kthread\_stop*.

# 3. Технологический раздел

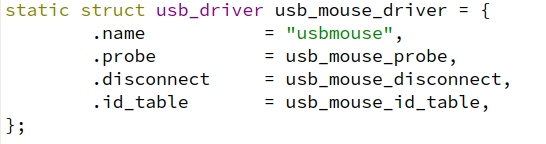
## 3.1. Язык программирования и среда разработки

В качестве языка программирования для реализации поставленной задачи был выбран язык С. С является языком реализации большинства модулей и драйверов ОС Linux. В качестве компилятора был использован компилятор gcc. Средой разработки был выбран текстовый редактор SublimeText.

## 3.2. Описание ключевых моментов реализации

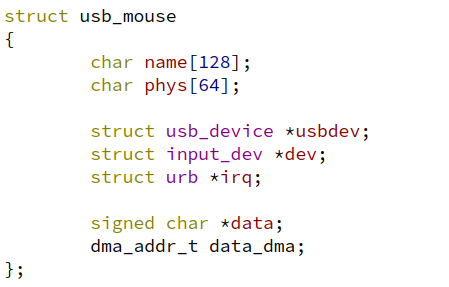
Основной структурой USB драйвера является *struct usb\_driver*.

Листинг 1 – *struct usb\_driver.*



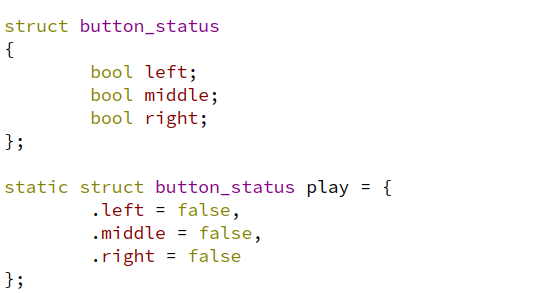
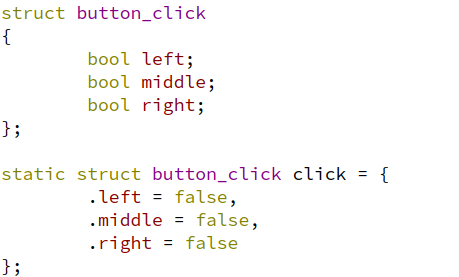
Локальной системной структурой является *usb\_mouse*.

Листинг 2 – *struct* *usb\_mouse.*



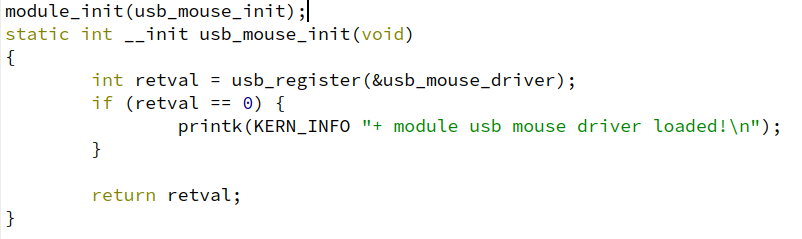
Разработанные структуры данных представлены *struct button\_click* и *struct button\_status.* Они описывают состояние каждой кнопки мыши (нажата/отпущена) и текущий статус звукового сигнала для каждой кнопки (воспроизводится/не воспроизводится).Начальное состояние клавиши: кнопка отпущена, звуковой сигнал не воспроизводится.

Листинг 3 – *struct button\_click* и *struct button\_status.*



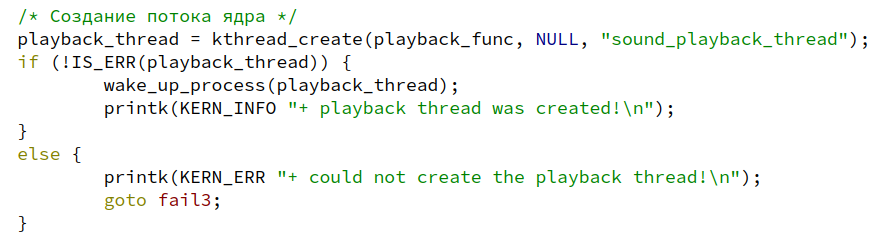
Работа ПО начинается при загрузке модуля в ядро. Функция инициализации модуля выполняет регистрацию *usb\_driver* в ядре.

Листинг 4 – инициализация модуля.



После подключения USB мыши вызывается функция *probe*, где после успешной проверки соответствия драйвера устройству создается поток ядра.

Листинг 5 – создание потока ядра.



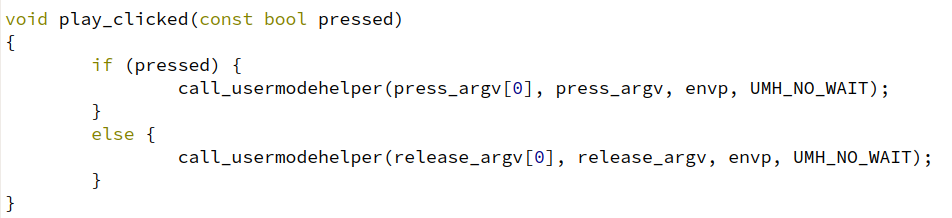
В качестве аргумента функции создания потока передается функция *playback\_func,* которая в зависимости от состояния каждой кнопки выполняет воспроизведение звукового сигнала. После обновления статуса каждой кнопки поток засыпает, тем самым освобождая процессор.

Листинг 6 – Функция *playback\_func.*



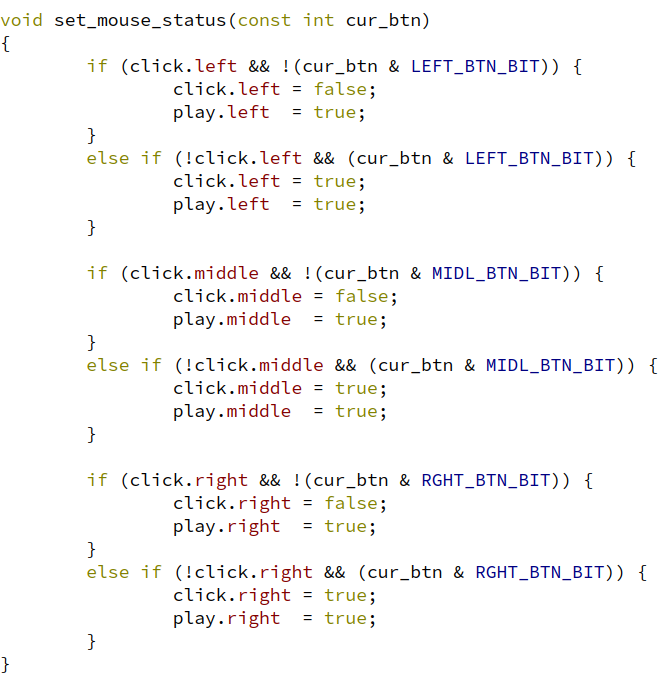
Для воспроизведения звукового сигнала, в функции дополнительного потока выполняется вызов функции *play\_clicked.* В зависимости от состояния кнопки будет вызвана системная функция *call\_usermodehelper* в пользовательском пространстве. Если состояние соответствует нажатию, то системной функции на вход передается полный путь файла звукового сигнала нажатия. Аналогично для состояния отпущена.

Листинг 7 - *call\_usermodehelper.*



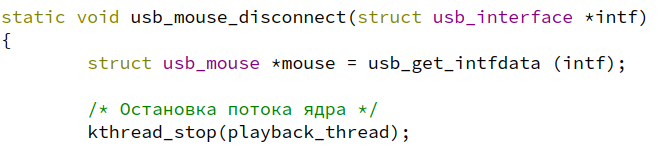
В системной функции *usb\_mouse\_irq*, обрабатывающей сообщения от устройства, выполняется корректировка текущего состояния мыши вызовом функции *set\_mouse\_status*. По нажатию одной из клавиш вызывается обработчик прерывания, в котором содержится информации о номере нажатой клавиши. На основе этого номера и предыдущего состояния формируется новое.

Листинг 8 – функция *set\_mouse\_status.*



Завершается работа ПО функцией *disconnect*, в которой также выполняется остановка потока ядра.

Листинг 9 – остановка потока ядра.



Макрос *module\_exit* обращается к функции *usb\_mouse\_exit,* где происходит отмена регистрации драйвера.

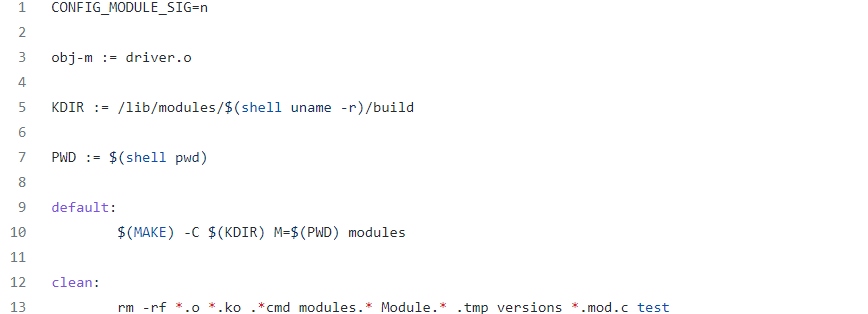
Листинг 10 – функция, вызываемая при выгрузке ядра.

КАРТИНКА EXIT

## 3.3. Makefile

В листинге 11 приведено содержимое Makefile, содержащего набор инструкций, используемых утилитой make в инструментарии автоматизации сборки.

Листинг 11 – Makefile.



BIND

На рисунке 6 приведены сообщения ядра, полученные в результате выполнения ПО.

КАРТИНКА ТЕРМИНАЛА

# Заключение

В результате данной работы была спроектирована база данных и разработано десктоп-приложение поиска туров по указанным параметрам с возможностью бронирования и изменения туров.

В ходе работы был проведен анализ существующих решений и была построена модель предметной области в виде сущностей и связей между ними. Также был выполнен анализ моделей данных и СУБД, в ходе которого было принято решение о СУБД, применяемой к поставленной задаче. По результатам анализа была спроектирована база данных и архитектура приложения для работы с ней. Затем была создана и заполнена база данных, реализовано приложение. Приложение показало способность выполнять поставленные задачи.

Был получен опыт разработки базы данных и десктоп-приложений с использованием PostgreSQL и C#.

В дальнейшей разработке приложение и база данных могут быть масштабированы. Так, могут быть добавлены покупка туров, предложение пользователю более выгодных туров, дополнение данных личной информацией пользователя (номер паспорта, любимое направление, количество членов семьи и т.д.).

# Литература

1. Национальная библиотека им. Н. Э. Баумана Bauman National Library. [Электронный ресурс] URL: https://ru.bmstu.wiki/ (дата обращения: 13.06.2021).

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

ЛИСТИНГИ