­Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет компьютерных систем и сетей

Кафедра информатики

Дисциплина: Операционные среды и системное программирование

*К защите допустить:*

И.О. Заведующего кафедрой информатики

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_С. И. Сиротко

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту

на тему

**ПРОСТАЯ ФАЙЛОВАЯ СИСТЕМА (SFS) В ПРОСТРАНСТВЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ.**

БГУИР КП 1–40 04 01 012 ПЗ

Студент Н. С. Сенько

Руководитель Н. Ю. Гриценко

Нормоконтролер Н. Ю. Гриценко

Минск 2025

**СОДЕРЖАНИЕ**

[Введение 6](#_Toc194097487)

[1 Архитектура вычислительной системы 7](#_Toc194097488)

[1.1 История, версия и достоинства 7](#_Toc194097489)

[1.2 Файловая система Linux 8](#_Toc194097490)

[1.3 Виртуальные файловые системы (VFS) 14](#_Toc194097491)

[1.4 FUSE 16](#_Toc194097492)

[2 Платформа программного обеспечения 18](#_Toc194097493)

[2.1 Язык программирования С++ 18](#_Toc194097494)

[2.2 Micro 21](#_Toc194097495)

[2.3 Arch Linux 22](#_Toc194097496)

[3 Теоретическое обоснование разработки программного продукта 25](#_Toc194097497)

[4 Проектирование функциональных возможностей программы 27](#_Toc194097498)

[4.1 Обоснование и описание функциональных возможностей 27](#_Toc194097499)

[5 Архитектура разрабатываемой программы 29](#_Toc194097500)

[5.1 Общая структура программы 29](#_Toc194097501)

[5.2 Функциональная схема программы 29](#_Toc194097502)

[5.3 Блок-схема алгоритма 30](#_Toc194097503)

[Список литературных источников 34](#_Toc194097504)

# ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является разработка и реализация простой файловой системы (*SFS*), функционирующей в пространстве пользователя, что позволит обеспечить гибкость управления данными и повысить безопасность за счёт изоляции от привилегированных компонентов операционной системы.

Файловая система – это программный компонент, отвечающий за организацию хранения, доступа и управления данными на носителях информации. В отличие от традиционных файловых систем, работающих на уровне ядра ОС, реализация *SFS* в пользовательском пространстве минимизирует риски нарушения стабильности системы, упрощает отладку и предоставляет разработчикам возможность экспериментировать с алгоритмами без модификации низкоуровневых механизмов. Такие системы особенно актуальны в контексте встраиваемых решений, образовательных проектов и специализированных приложений, требующих изолированного управления файлами.

В рамках данной работы будет проведено исследование архитектурных принципов файловых систем, проектирование *SFS* с поддержкой базовых операций (создание, чтение, запись, удаление файлов и директорий), а также её практическая реализация с использованием технологий пользовательского пространства, таких как *FUSE* (*Filesystem in Userspace*). Особое внимание уделено оптимизации метаданных, механизмам распределения памяти и обеспечению целостности данных.

Важным аспектом работы является интеграция *SFS* с интерфейсом *FUSE*, что позволяет абстрагироваться от сложностей взаимодействия с ядром ОС и сосредоточиться на логике работы системы. Это обеспечивает переносимость решения и упрощает его адаптацию для различных платформ.

Для оценки эффективности разработанной системы будет проведено тестирование, включающее измерение производительности при выполнении операций ввода-вывода, анализ задержек и сравнение с аналогичными решениями. Тестирование на различных типах данных (текстовые файлы, бинарные данные, множественные мелкие файлы) позволит определить устойчивость *SFS* к нагрузкам и её применимость в реальных сценариях. Результаты исследования послужат основой для выводов о целесообразности использования пользовательских файловых систем в современных вычислительных средах, а также обозначат направления для дальнейшей оптимизации и расширения функциональности.

Таким образом, работа вносит вклад в развитие методов проектирования файловых систем, демонстрируя возможности их реализации в условиях ограниченных привилегий, и предоставляет инструмент для образовательных и исследовательских задач в области управления данными.

# 1 АРХИТЕКТУРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

## 1.1 История, версия и достоинства

*Linux* – свободно распространяемая операционная система, относящаяся к семейству *UNIX*, первоначально разработанная Линусом Торвальдсом в 1991 году. Её создание стало результатом коллективных усилий сообщества программистов и энтузиастов, объединившихся через интернет для совместной разработки. Важным отличием *Linux* от других *UNIX*-подобных систем является отсутствие в её ядре кодов *AT&T* или иных проприетарных компонентов. Основу пользовательского пространства Linux составляют инструменты, созданные в рамках проекта *GNU (Free Software Foundation, Cambridge, Massachusetts)*, что подчёркивает её открытость и соответствие принципам свободного программного обеспечения [1].

Ядро Linux, распространяемое под лицензией *GNU GPL (General Public License)*, поддерживает широкий спектр технологий: от графической подсистемы *X Window* до сетевых протоколов *TCP/IP*, а также включает компиляторы *GNU C/C++* и инструменты для работы с текстом, такие как *TeX*. Это обеспечивает гибкость и адаптивность системы, позволяя использовать её в разнообразных вычислительных средах.

Ранние этапы разработки *Linux* отличались экспериментальным характером. Версия 0.01 (сентябрь 1991 г.) не предоставляла полноценного исполняемого кода, а требовала наличия ОС *Minix* для компиляции и модификации. Первая официальная версия 0.02, анонсированная 5 октября 1991 года, фокусировалась исключительно на развитии ядра, игнорируя вопросы документации, пользовательского интерфейса и распространения. Подобный подход отражал приоритет сообщества: на первом этапе стояла задача создания стабильного ядра, а вспомогательные аспекты считались вторичными.

Эволюция версий ядра демонстрирует рост проекта. После версии 0.03 нумерация скачком перешла к 0.10 из-за увеличения числа участников разработки. К марту 1992 года, с выходом версии 0.95, Линус Торвальдс обозначил близость к релизу, однако стабильная версия 1.0 была выпущена только в 1994 году. К декабрю 1993 года ядро достигло версии *0.99.pl14*, а на момент написания текста актуальной являлась версия 6.13.3, что иллюстрирует непрерывное развитие системы.

Современный *Linux* – полнофункциональная ОС, совместимая с ключевыми стандартами и технологиями, включая сетевые протоколы, среды разработки (*Emacs*), почтовые системы и инструменты взаимодействия с другими ОС, такими как *Windows*. Благодаря открытой модели разработки, для *Linux* доступны как свободные, так и коммерческие программные пакеты, что делает её универсальной платформой для научных, корпоративных и персональных задач. Сегодня *Linux* сохраняет статус одного из наиболее значимых проектов в истории open-source, сочетая инновации с преемственностью принципов *UNIX*.

## 1.2 Файловая система *Linux*

Файловая система (ФС) является важной частью любой операционной системы, которая отвечает за организацию хранения и доступа к информации на каких-либо носителях. Рассмотрим в качестве примера файловые системы для наиболее распространенных в наше время носителей информации – магнитных дисков. Как известно, информация на жестком диске хранится в секторах (обычно 512 байт) и само устройство может выполнять лишь команды считать/записать информацию в определенный сектор на диске. В отличие от этого файловая система позволяет пользователю оперировать с более удобным для него понятием - файл. Файловая система берет на себя организацию взаимодействия программ с файлами, расположенными на дисках. Для идентификации файлов используются имена. Современные файловые системы предоставляют пользователям возможность давать файлам достаточно длинные мнемонические названия.

Под каталогом в ФС понимается, с одной стороны, группа файлов, объединенных пользователем исходя из некоторых соображений, с другой стороны каталог – это файл, сыодержащий системную информацию о группе составляющих его файлов. Файловые системы обычно имеют иерархическую структуру, в которой уровни создаются за счет каталогов, содержащих информацию о файлах и каталогах более низкого уровня. Рассмотрим более подробно структуру жесткого диска. Базовой единицей жесткого диска является раздел, создаваемый во время разметки жесткого диска. Каждый раздел содержит один том, обслуживаемый какой-либо файловой системой и имеющий таблицу оглавления файлов - корневой каталог. Некоторые операционные системы поддерживают создание томов, охватывающих несколько разделов. Жесткий диск может содержать до четырех основных разделов. Это ограничение связано с характером организации данных на жестких дисках *IBM*-совместимых компьютеров. Многие операционные системы позволяют создавать, так называемый, расширенный (extended) раздел, который по аналогии с разделами может разбиваться на несколько логических дисков. [2]

Файловая система *Linux* [3] организована в форме иерархической структуры, которую образно можно представить в виде дерева. Она содержит в себе каталоги и подкаталоги, образуя таким образом вложенную структуру. Все файлы и каталоги начинаются от корневого каталога, который обозначается символом “/”, а далее распределяются по отдельным ветвям и листьям этого дерева. Таким образом создается логическая и удобная организация данных.

Linux придерживается стандартов иерархии файловой системы (*Filesystem Hierarchy Standard*, *FHS*). Эти стандарты определяют основные правила организации и содержания каталогов в системах, аналогичных *UNIX*. Они обеспечивают единообразие в структуре файловой системы, делая работу с разными дистрибутивами более предсказуемой и понятной для пользователей и разработчиков.

Система *FHS* создана рабочей группой *Linux Standard Base* с целью решения двух задач:

1 Унификация инфраструктуры каталогов.

2 Обеспечение совместимости разных дистрибутивов.

FHS определяет такие ключевые каталоги:

1 */bin* для исполняемых файлов;

2 */home* содержит личные папки пользователей, предоставляя каждому свое пространство для файлов;

3 */etc* служит для размещения настроек и конфигурационных файлов системы;

4 */var* для переменных данных, среди прочих.

Такая структура облегчает навигацию по системе, стандартизацию программ и скриптов, а также упрощает управление файлами и каталогами.

Рассмотрим самые известные файловые системы для Linux:

1 *Ext* (*Extended File System*). Является первой файловой системой, разработанной специально для *Linux*. Она представляла собой значительный шаг вперед по сравнению с предыдущими решениями, предоставляя лучшую производительность и возможности для *Linux*-систем.

2 *Ext2* (*Second Extended File System*). Была разработана как улучшение *ext*, предлагая лучшую надежность и управление ресурсами, а также поддержку большего размера данных и файлов. Эта система не использует журналирование, что делает ее менее предпочтительной для проектов, где важна высокая надежность данных, но по-прежнему эффективной для портативных устройств хранения данных.

3 *Ext3* (*Third Extended File System*). Улучшенная версия ext2. Основным нововведением здесь является поддержка журналирования, что значительно повышает надежность и уменьшает время на восстановление после сбоев или некорректных выключений системы.

4 *Ext4* (*Fourth Extended File System*). Новейшее развитие в линейке Ext. Обладает улучшенной эффективностью, надежностью и масштабируемостью. Предлагает поддержку больших объемов хранения, а также ряд других технических усовершенствований.

5 *XFS*. Высокопроизводительная и масштабируемая файловая система от компании *SGI*. Известна своей способностью эффективно работать с большими файлами и обширными наборами данных, что делает ее популярным выбором для серверов и систем хранения данных.

6 *JFS* (*Journaled File System*). Создана компанией *IBM*, обладает высокой надежностью и эффективным использованием ресурсов, обеспечивая хорошую производительность даже при повышенных нагрузках.

7 *BTrFS* (*B-Tree File System*). Разработана *Oracle* для повышения гибкости управления данными и обеспечения высокого уровня отказоустойчивости. Она включает в себя такие возможности, как проверка и восстановление данных на лету, эффективное сжатие и интеграцию множественных устройств в одну файловую систему.

8 *Swap*. Позволяет системе использовать часть дискового пространства в качестве виртуальной памяти, когда физическая память (*RAM*) исчерпана. Это не файловая система в традиционном понимании, но она является важным элементом управления памятью *Linux*.

*Linux* обладает уникальной способностью адаптироваться к различным требованиям и сценариям использования благодаря поддержке большого количества файловых систем. Такое разнообразие не только обогащает экосистему *Linux*, но и способствует инновациям, предоставляя пользователям свободу выбора. От стабильности и надежности, предлагаемых семейством Ext, до способности *XFS*, *JFS* и *Btrfs* управлять большими наборами данных и обеспечивать высокую производительность – каждая файловая система вносит свой вклад в адаптивность и возможности экосистемы. Это также отражает дух сотрудничества в сообществе *Linux*, где вклад независимых разработчиков способствует непрерывному развитию и инновациям.

В отличие от других ОС, где разные диски и разделы обладают собственными корневыми директориями, в Linux они монтируются в поддиректории внутри единой файловой иерархии.

В Linux есть несколько разновидностей файлов, которые выполняют свою уникальную функцию:

1 Обычные файлы (*regular files*). Это самый обычный тип файлов, который чаще всего используется. Сюда относятся данные, текст, исходный код программ, медиаматериалы и прочее.

2 Именованные каналы (*named pipes*). Необходимы для межпроцессного взаимодействия, позволяя одному процессу передавать данные другому.

3 Файлы устройств. Содержат в себе символьные (*char devices*) и блочные (*block devices*) файлы, которые предоставляют внешние аппаратные устройства (например, *HDD*, принтеры и прочие).

4 Ссылки. Включают два типа ссылок. Символические ссылки, или «симлинки», функционируют как ярлыки, указывающие на другие файлы или папки. Жесткие ссылки, в свою очередь, создают альтернативные пути доступа к одним и тем же физическим данным на диске, ведя себя как дубликаты файла без фактического дублирования содержимого.

5 Каталоги. Это своего рода папки, где хранятся ссылки на файлы и другие каталоги. Они помогают организовать данные, распределяя их по разным «отсекам», чтобы было легче найти нужную информацию.

6 Сокеты. Специальные файлы для обмена данными между разными процессами, как внутри одной системы, так и между разными компьютерами. Это своеобразные «почтовые ящики» для программ, через которые они могут «пересылать» друг другу информацию.

7 Двери (*Doors*). Механизм в некоторых операционных системах, предназначенный для взаимодействия между программными процессами.

В Linux каждый тип файла играет свою роль в обширной системе управления данными и процессами, придавая системе уникальную гибкость и мощность. Например, благодаря тому, что внешние устройства представлены в виде специальных файлов, взаимодействие с ними можно осуществлять стандартными методами работы с файлами.

В *Linux* каждая папка под корневым каталогом "/" служит определенной цели:

1 */home* – домашние пользовательские каталоги, которые нужны для хранения их персональных файлов и настроек.

2 */bin* и */sbin* – предназначены для хранения исполняемых файлов, то есть программ и команд. */bin* доступен для всех пользователей, а */sbin* содержит команды для администрирования и доступен только суперпользователю.

3 */lib*, */lib32*, */lib64* – служат для размещения библиотек, которые необходимы для нормальной работы программ и системных утилит, расположенных в */bin* и */sbin*.

4 */opt* – используется для размещения дополнительных программ, которые обычно устанавливаются из внешних источников, не входящих в стандартный набор дистрибутива.

5 */usr* – один из наиболее объемных каталогов, где находится большая часть пользовательского софта и библиотек. Структура похожа на корневой каталог с поддиректориями, например, */usr/bin*, */usr/lib*, */usr/local* и т.д.

6 */boot* – хранит файлы, которые нужны для процесса загрузки операционной системы.

7 */sys* – предоставляет интерфейс к аппаратному обеспечению, отражая состояние устройств и драйверов.

8 */tmp* – служит для хранения временных файлов, которые создаются системой и различными приложениями во время их выполнения.

9 */dev* – хранит специальные файлы, которые представляют собой аппаратные и виртуальные устройства, позволяя программам взаимодействовать с ними.

10 */run* – содержит сведения о системе, актуальные с момента последнего включения.

11 */root* – это специальная личная папка суперпользователя.

12 */proc* – это не реальная, а виртуальная файловая система, через которую доступна информация о работающих процессах и общем состоянии системы.

13 */srv* – предназначен для информации сервисов от системы, например, веб-сайтов и *FTP*.

Такая организация файловой системы обеспечивает четкую и логичную расстановку всех элементов, где каждый каталог и файл служит определенной цели. Это упрощает навигацию и использование системы, а также способствует эффективному управлению ресурсами.

Через терминал в *Linux* доступен обширный арсенал команд для работы с файлами и каталогами.

К основным из них можно отнести следующие:

1 *ls* – позволяет просмотреть, что находится внутри папки. Можно использовать с различными опциями, например, ls -l для подробного списка.

2 *mkdir* – можно использовать для создания новой папки.

3 *cat* – выводит текст файла прямо в окно терминала.

4 *less* – дает возможность пролистывать содержимое указанного файла по страницам.

5 *touch* – позволяет инициировать создание нового файла без содержимого, при условии, что файл с таким именем еще не существует.

6 *rm* – удаляет указанный файл.

7 *rm -r* – удаляет каталог и все его содержимое рекурсивно.

8 *ln -s* – формирует символическую ссылку, указывающую на выбранный файл или директорию.

9 *pwd* – выводит текущее местоположение пользователя в структуре каталогов.

10 *which* – показывает полный путь к исполняемому файлу программы.

13 *cd* – изменяет текущую директорию на указанную.

14 *cp* – копирует файлы из одного места в другое.

15 *nano* – открывает текстовый редактор Nano для редактирования файла.

16 *mv* – может как переместить, так и переименовать файлы или папки.

17 *locate* – помогает быстро найти файлы, соответствующие заданному шаблону.

Эти команды можно считать некой основой для взаимодействия с файловой системой Linux. При необходимости их можно комбинировать или расширять с помощью различных опций для выполнения сложных задач.

В *Linux* организация данных на устройствах хранения, таких как жесткие диски и *SSD*, осуществляется через сложную структуру. Она содержит в себе блоки данных и индексные узлы (или *inodes*). Когда создается новый файл, система назначает ему один или несколько индексных узлов, в которых сохраняются метаданные этого файла.

Каждый индексный узел представляет собой уникальный идентификатор, необходимый для отслеживания файла в системе. Он хранит все сведения о файле, кроме его имени и фактического содержимого.

Фактическое содержимое файла содержится в блоках данных. Их размер определяется при организации файловой системы. А в дальнейшем она контролирует размещение этих блоков на физическом носителе, оптимизируя доступ к информации и минимизируя фрагментацию.

Кроме того – файловая система отвечает за эффективное использование дискового пространства, размещая файлы таким образом, чтобы снизить задержку при доступе и уменьшить фрагментацию данных. Это также предполагает использование алгоритмов для определения наилучшего расположения файлов и папок на диске с учетом текущего использования и доступного пространства.

Такая организация повышает гибкость и производительность системы, позволяя ей быстро находить и обрабатывать данные. Это также облегчает восстановление и управление файлами благодаря четкой компоновке индексных узлов и блоков данных.

Архитектура *Linux* представляет собой модульную и слоистую структуру, которая состоит из различных компонентов, взаимодействующих друг с другом для обеспечения полноценной работы.

Основные элементы этой архитектуры включают:

1 Ядро (*Kernel*). Является основным компонентом системы, контролирует аппаратные ресурсы, управляет памятью и процессами, а также обрабатывает системные вызовы. Ядро действует как посредник между аппаратным и программным обеспечением на уровне пользовательских приложений.

2 Системные библиотеки. Предоставляют набор стандартизированных функций и интерфейсов, которые упрощают разработчикам создание программ, позволяя им использовать общие решения для стандартных задач.

3 Системные утилиты. Содержат в себе базовые инструменты и программы, которые нужны для управления, настройки и мониторинга системы.

4 Пользовательские приложения. Охватывают широкий спектр программного обеспечения от сторонних разработчиков, включая графические среды рабочего стола, офисные пакеты, браузеры, игры и множество других приложений.

Архитектура *Linux* строится вокруг концепции разделения привилегий, в рамках которой действует два основных режима работы:

1 Пользовательский режим (*user mode*). В этом режиме работают все пользовательские приложения с ограниченными правами. Таким образом достигается безопасность системы.

2 Режим ядра (*kernel mode*). Этот режим дает полный доступ к аппаратным ресурсам и критически важным компонентам системы. Применяется ядром и драйверами устройств для выполнения задач, требующих повышенных привилегий.

При этом файловая система играет ключевую роль в архитектуре Linux, предоставляя единую иерархическую структуру для размещения данных на диске. Она обеспечивает логическое размещение файлов и папок, предоставляет простой доступ к ним и упрощает управление.

В дополнение к традиционным файловым системам в Linux часто применяются виртуальные и специализированные файловые системы, которые предназначены для конкретных задач.

Вот некоторые из них:

1 *EncFS* (*Encrypted File System*). Файловая система на основе *FUSE* (*Filesystem in Userspace*), которая предназначена для прозрачного шифрования файлов.

2 *AUFS* (*Another Union File System*). Слоистая файловая система, позволяющая объединять содержимое нескольких каталогов в один виртуальный каталог. Таким образом обеспечивается удобное управление директориями из различных источников. Эта система часто применяется в *Live CD* и *Docker*-контейнерах.

3 *NFS* (*Network File System*). Сетевая файловая система, которая дает возможность пользователям работать с файлами и папками на удаленных компьютерах, так, как будто они находятся непосредственно на их собственном устройстве.

4 *ZFS* (*Zettabyte File System*). Изначально разработана для *Solaris* (*Sun Microsystems*), а сейчас доступна и для некоторых дистрибутивов *Linux* (через проект *OpenZFS*). *ZFS* известна своими возможностями в области управления хранилищем, включая поддержку высокого уровня интеграции данных и пула хранения, снимки состояния, клонирование и встроенное шифрование.

Эти системы и технологии дают дополнительные возможности для достижения эффективности, надежности и гибкости в управлении данными и хранилищами в *Linux*. Они оптимизированы под конкретные сценарии использования и их можно выбирать с учетом требований к системе хранения данных.

## 1.3 Виртуальные файловые системы (*VFS*)

*VFS* – это важный уровень абстракции в современных операционных системах, предназначенный для облегчения взаимодействия между различными файловыми системами и пользовательскими приложениями. *VFS* функционирует как посредник, позволяя приложениям получать доступ к различным файловым системам через единый интерфейс, независимо от специфических характеристик или структуры базовой файловой системы [4]. *VFS* управляет различными подключенными файловыми системами, поддерживая структуры данных, которые описывают всю виртуальную файловую систему и реальные подключенные файловые системы. В *VFS* используются суперблоки и индексные дескрипторы, аналогично файловой системе *EXT2*, для описания файлов и каталогов в системе. Каждая файловая система регистрируется в *VFS* во время инициализации операционной системы. Модули файловой системы загружаются по мере необходимости, что позволяет *VFS* считывать их суперблоки.

Определения функций, которые принадлежат к базовым типам *VFS*, находятся в файлах *fs*/\*.*c* исходного кода ядра, в то время как подкаталоги *fs*/ содержат определенные файловые системы. В ядре также содержатся сущности, такие как *cgroups*, /*dev* и *tmpfs*, которые требуются в процессе загрузки и поэтому определяются в подкаталоге ядра *init*/. Заметьте, что cgroups, /*dev* и *tmpfs* не вызывают «большую тройку» функций *file\_operations*, а напрямую читают и пишут в память.

На приведенной ниже диаграмме показано, как userspace обращается к различным типам файловых систем, обычно монтируемых в системах Linux. Не показаны такие конструкции как pipes, dmesg и *POSIX* clocks, которые также реализуют структуру *file\_operations*, доступ к которым проходит через слой *VFS.*

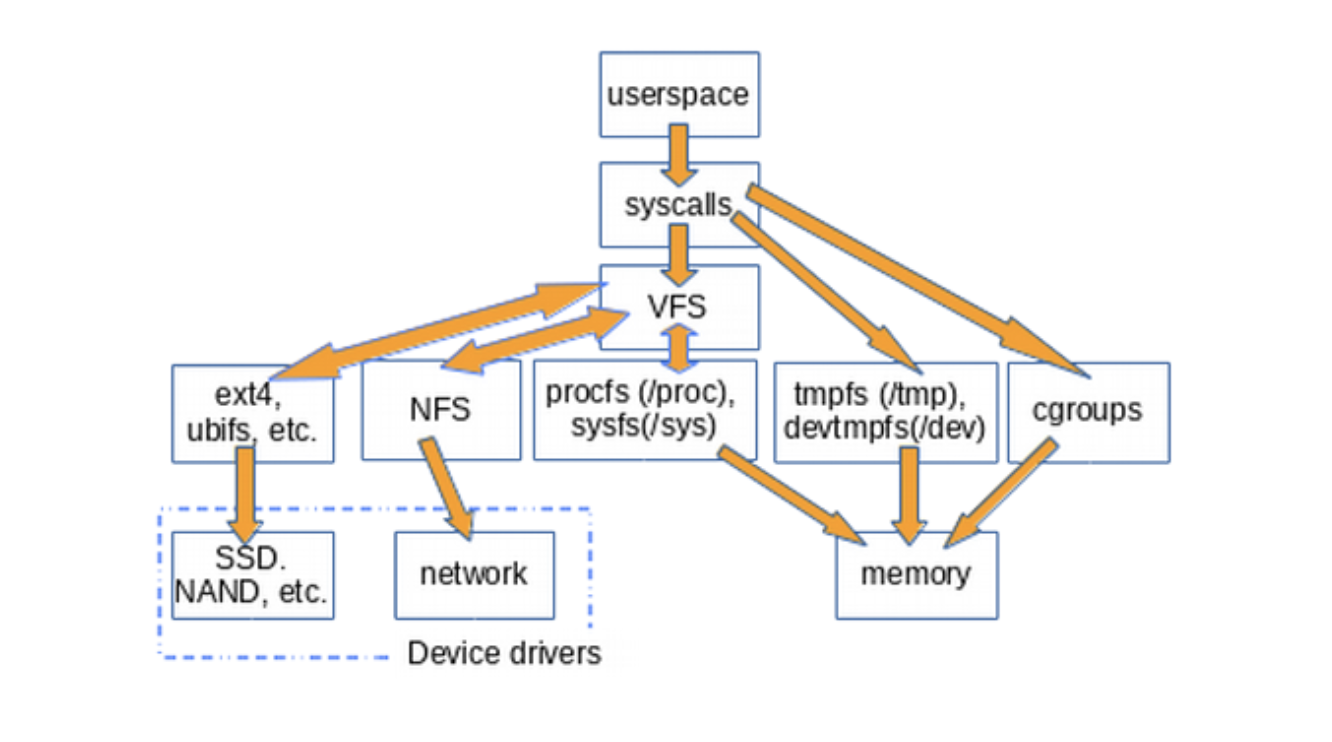


Рисунок 1.1 – Схема обрещения userspace к различным типам файловых систем

*VFS* также играет важную роль в разработке операционной системы, поскольку она не только обеспечивает независимость от файловой системы, но и обеспечивает такие преимущества, как повышенная безопасность или производительность. В этой статье мы также продемонстрируем, что расширяемость *VFS* является ценным преимуществом, позволяющим внедрять расширенные функции без необходимости внесения изменений в ядро.

**1.3.1** Операции *VFS*

VFS предоставляет ряд операций для взаимодействия с файлами и каталогами. Эти операции реализованы в виде системных вызовов, таких как *open(2), stat(2), read(2), write(2) и chmod(2)*, которые вызываются из контекста процесса.

Способ, которым это реализовано в Linux *VFS*, описан в статье Ричарда Гуч и Пекка Энберг[3]. Во время системного вызова *VFS* преобразует имя пути в запись каталога (dentry) путем поиска в кэше dentry. Однако, если кэш слишком мал, чтобы вместить все данные в оперативной памяти, *VFS*, возможно, придется создать dentry и загрузите индексные узлы, чтобы определить путь к ним. Каждый dentry обычно имеет указатель на индексный узел, который представляет объект файловой системы, который может находиться на диске или в памяти.

Когда файл открывается, файловая структура выделяется и инициализируется указателем на функции-члены *dentry* и *file* operation, которые берутся из данных *inode*. Затем вызывается файловый метод *open()*, позволяющий реализации файловой системы выполнять свою работу. Наконец, файловая структура помещается в таблицу файловых дескрипторов для процесса. Для чтения, записи и закрытия файлов используется файловый дескриптор пользовательского пространства, который вызывает соответствующий метод файловой структуры. Пока файл открыт, соответствующие индексы dentry и *VFS* остаются в использовании.

## 1.4 *FUSE*

*FUSE* – свободный модуль для ядер *Unix*-подобных операционных систем, позволяет разработчикам создавать новые типы файловых систем, доступные для монтирования пользователями без привилегий (прежде всего – виртуальных файловых систем); это достигается за счёт запуска кода файловой системы в пользовательском пространстве, в то время как модуль FUSE предоставляет связующее звено для актуальных интерфейсов ядра.

Файловые системы можно разрабатывать как user space-программы, без необходимости писать код в ядре ОС. *FUSE* поддерживает непривилегированное монтирование ФС, права супер-пользователя не нужны для запуска файловой системы.

Это значит, что на *FUSE* быстрее разрабатывать и проще отлаживать. Рассмотрим фреймворк подробнее.

Файловая система с точки зрения *FUSE* – это *daemon в user space*, его называют драйвером ФС. Файловые системы в Linux реализуют одинаковый интерфейс. За это отвечает *vfs* – подсистема ядра *Linux*. Vfs выполняет роль маршрутизатора: направляет запросы клиентов к экземплярам ФС [5].

*FUSE*-модуль ядра:

– получает запрос от *vfs*;

– направляет его драйверу ФС;

– ждёт от драйвера ответа;

– возвращает результат обратно в *vfs*.

Этот процесс показан на рисунке ниже.

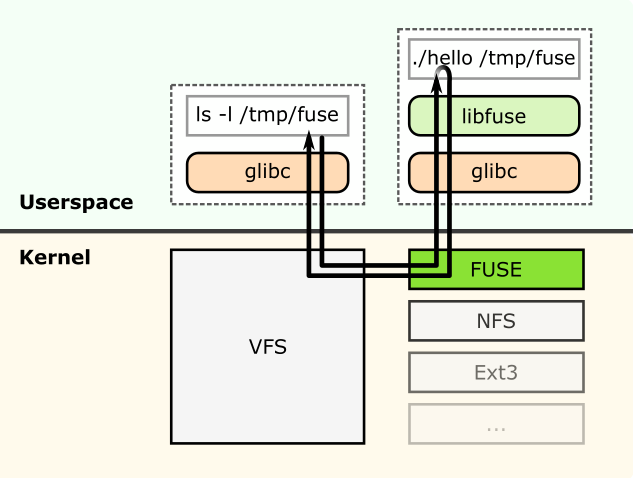


Рисунок 1.1 – Схема работы фреймворка FUSE

*FUSE*-модуль ядра ОС и драйвер ФС общаются по *RPC*-протоколу. Драйвер устанавливает соединение с *FUSE*-модулем ядра ОС в процессе монтирования, соединения устанавливается через устройство */dev/fuse*. По *FUSE*-соединению ходят пакеты в режиме запрос-ответ. Порядок ответов драйвера ФС может отличаться от порядка, в котором были отправлены запросы. Каждый ответ ссылается на запрос по *ID,* что позволяет драйверу ФС обрабатывать запросы параллельно.

Рассмотренные аспекты архитектуры Linux, файловых систем, VFS и FUSE демонстрируют ключевые принципы, лежащие в основе гибкости, надежности и универсальности этой операционной системы. Архитектура Linux, сочетающая модульность, стандартизацию и открытость, создает фундамент для инноваций. Файловые системы, VFS и FUSE иллюстрируют, как гибкие абстракции и сообщество разработчиков превращают Linux в универсальную платформу, способную решать задачи любой сложности.

# 2 ПЛАТФОРМА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

## 2.1 Язык программирования *С++*

Язык программирования для реализации данного курсового проекта был выбран *С++.*

**2.1.1** История

*С* – процедурный язык программирования, разработанный в 1969–1973 годах сотрудниками *Bell* *Labs* Кеном Томпсоном и Деннисом Макалистэйр Ритчи как развитие языка Би. С был создан для использования в операционной системе *UNIX*, ключевым разработчиком которой являлся Деннис Ритчи. С тех пор он был перенесён на многие другие операционные системы и стал одним из самых используемых языков программирования.

Деннис Ритчи (9 сентября 1941 – 12 октября 2011) также известен как соавтор классической книги «Язык программирования *C*», обычно сокращаемой как «K&R» (авторы Керниган и Ритчи).

*C++* – объектно-ориентированное расширение языка Си, создан в начале 1980-х годов Бьерном Страуструпом, также сотрудником *Bell Labs*. Вначале он добавил к языку Си возможность работы с классами и объектами, а в 1983 году после добавления большого количества синтаксических конструкций получившийся язык был переименован из Си с классами в «*C++*».

В 1985 году вышло первое издание «Языка программирования *C++*», обеспечивающее первое описание этого языка, что было чрезвычайно важно из-за отсутствия официального стандарта. В 1989 году состоялся выход *C++* версии 2.0. Его новые возможности включали множественное наследование, абстрактные классы, статические функции-члены, функции-константы и защищённые члены. В 1990 году вышло «Комментированное справочное руководство по *C++*», положенное впоследствии в основу стандарта. Последние обновления включали шаблоны, исключения, пространства имён, новые способы приведения типов и булевский тип. В качестве основы для хранения и доступа к обобщённым алгоритмам была выбрана Стандартная библиотека шаблонов (*STL*), разработанная Александром Степановым и Менг Ли.

Стандартная библиотека *C++* также развивалась вместе с ним. Первым добавлением к стандартной библиотеке *C++* стали потоки ввода-вывода, обеспечивающие средства для замены традиционных функций C printf и scanf. Позднее самым значительным развитием стандартной библиотеки стало включение в неё Стандартной библиотеки шаблонов.

Официальная стандартизация языка началась в 1998 году, когда был опубликован стандарт языка *ISO/IEC* 14882:1998 (известный как *C++98*), разработанный комитетом по стандартизации *C++* *(ISO/IEC JTC1/SC22/WG21 working group)*. Стандарт *C++* не описывал способов именования объектов, некоторых деталей обработки исключений и других возможностей, связанных с деталями реализации, что делает несовместимым объектный код, созданный различными компиляторами. Однако для этого третьими лицами создано множество стандартов для конкретных архитектур и операционных систем.

В 2003 году опубликован стандарт *C++ ISO/IEC 14882:2003*, где исправлены выявленные ошибки и недочёты предыдущей версии стандарта. В 2005 году опубликован отчёт *Library Technical Report 1* (кратко называемый *TR1*). Не являясь официально частью стандарта, отчёт описывает расширения стандартной библиотеки, которые, по мнению авторов, должны были быть включены в следующую версию стандарта. Степень поддержки *TR1* улучшается почти во всех поддерживаемых компиляторах языка C++.

С 2009 года велась работа по обновлению предыдущего стандарта. Предварительная версия называлась *C++09*, в следующем году её переименовали в *C++0x*. Стандарт был опубликован в 2011 году под названием *C++11*. В него включены дополнения в ядре языка и расширение стандартной библиотеки, в том числе большая часть *TR1*.

Следующая версия стандарта, *C++14*, вышла в августе 2014 года. Она содержит в основном уточнения и исправления ошибок предыдущей версии.

Стандарт *C++17*, опубликованный в декабре 2017 года, включил в стандартную библиотеку параллельные версии стандартных алгоритмов и удалил некоторые устаревшие и крайне редко используемые элементы.

Последняя стабильная на текущий момент действующая версия стандарта – *C++20*. Помимо прочего, он содержит принципиальное новшество – поддержку модулей. Стандарт *C++23* на данный момент активно обсуждается комитетом ISO.

*C++* продолжает развиваться, чтобы отвечать современным требованиям. Одна из групп, разрабатывающих язык *C++* и направляющих комитету по стандартизации *C++* предложения по его улучшению – это Boost, которая занимается, в том числе, совершенствованием возможностей языка путём добавления в него особенностей метапрограммирования.

Никто не обладает правами на язык *C++*, он является свободным. Однако сам документ стандарта языка (за исключением черновиков) не доступен бесплатно[10]. В рамках процесса стандартизации *ISO* выпускает несколько видов изданий. В частности, технические доклады и технические характеристики публикуются, когда «видно будущее, но нет немедленной возможности соглашения для публикации международного стандарта.» До 2011 года было опубликовано три технических отчёта по *C++: TR 19768*: 2007 (также известный как *C++*, Технический отчёт 1) для расширений библиотеки в основном интегрирован в *C++11, TR 29124*: 2010 для специальных математических функций, и *TR* 24733: 2011 для десятичной арифметики с плавающей точкой. Техническая спецификация *DTS* 18822:. 2014 (по файловой системе) была утверждена в начале 2015 года, и остальные технические характеристики находятся в стадии разработки и ожидают одобрения.

В марте 2016 года в России была создана рабочая группа РГ21 *C++*. Группа была организована для сбора предложений к стандарту *C++*, отправки их в комитет и защиты на общих собраниях Международной организации по стандартизации (*ISO*)

**2.1.3** Достоинства

Статическая типизация. На примере языка со статической типизацией проще понять, что такое тип данных, зачем он нужен и от чего зависит. Видно, что собой представляет объявление, определение и инициализация. Использование языка *C++* даёт это явно увидеть, что способствует дальнейшему пониманию того, как работают эти механизмы в других языках. Помимо этого можно на реальных примерах понять, чем беззнаковые целые отличаются от целых со знаком, чем отличаются числа двойной и одинарной точности, чем отличается символ от строки и т.д.

Высокоуровневые и низкоуровневые средства. Использование таких средств, как указатели и динамическое выделение памяти, позволяет понять (или в дальнейшем способствует пониманию), что такое стэк, куча, стэк вызовов, раскрутка стэка и т.д. Помимо этого, на практике закрепляется понимание концепции адресов и адресной арифметики. На примерах демонстрируется, что память надо выделять, освобождать, потому что она не бесконечная, что существуют утечки памяти. В будущем, при изучении языков с *GC* проще будет понять, что же это такое.

Отдельно стоит отметить простой механизм передачи значений по ссылке, значению, указателю и перенос объекта. Что такое изменяемые и не изменяемые параметры. В дальнейшем данные концепции могут быть использованы и при изучении других языков. Студент будет понимать, например, что объект в языке N передаётся по ссылке, и если его значение изменить в функции-члене, то оно изменится везде.

Реализация ООП. Это относительно чистая реализация ООП без всякого синтаксического сахара (относительно некоторых других языков). Чётко разграниченные уровни доступа к членам класса, возможность множественного наследования и динамический полиморфизм дают возможность быстро усвоить основные концепции ООП (абстракция, наследование, инкапсуляция и полиморфизм). Указатели и динамическое выделение памяти позволяют наглядно понять такие важные механизмы, как upcasting и downcasting. В дальнейшем, основываясь на этих знаниях, легко можно понять весь синтаксический сахар в других языках. Необходимость контроля ресурсов (в том числе и «правило трёх» или уже «правило пяти», с учётом *C++11*), захват их в конструкторе и освобождение в деструкторе также способствуют более глубокому пониманию ООП.

Стоит отметить такой важный момент, как не принудительное ООП. То есть данный подход к программированию применяется тогда, когда это удобно, и его можно смешивать, например, с функциональным программированием. Это способствует формированию понимания того, что средства реализации выбираются исходя из задачи.

*STL*. Сама по себе концепция шаблонов *C++*, генерации кода и применения широкого спектра алгоритмов к различным контейнерам положительно влияет на процесс обучения. Здесь все на поверхности и понятно, почему можно создать вектор целых чисел и вектор пользовательских объектов на основе одного класса-контейнера. Почему можно применить некоторую операцию к последовательности объектов или как отсортировать объекты, для которых не предусмотрена встроенная операция сравнения. Можно понять, как осуществляется доступ к элементам, и узнать о категориях итераторов. Помимо этого закрепляется понимание обобщённого программирования.

## 2.2 *Micro*

*Micro* – современный и интуитивно понятный текстовый редактор на базе терминала. На рисунке ниже представлен интерфейс.

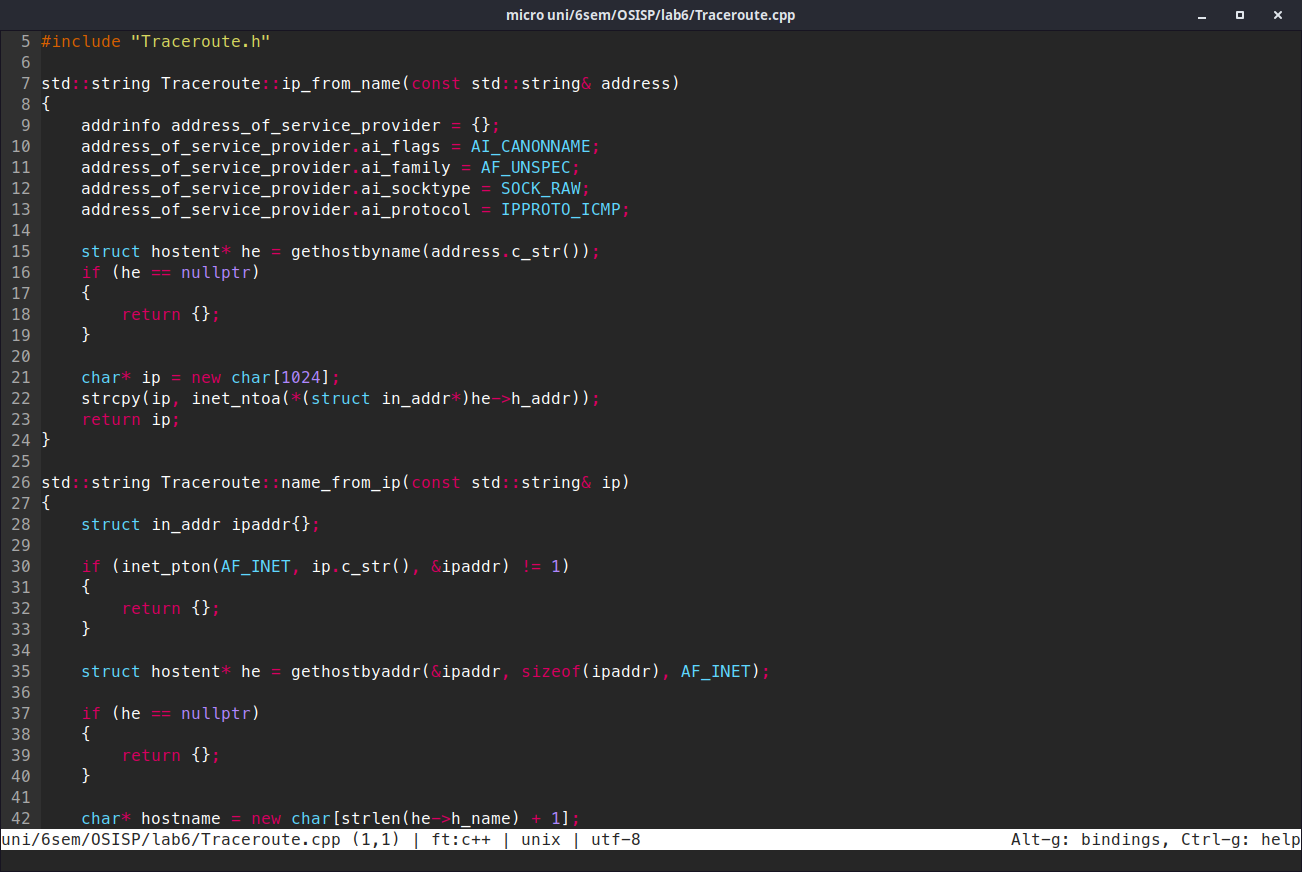


Рисунок 2.2 – Интерфейс *Visual* *Studio* *Code*

Он позиционируется как современная альтернатива классическим редакторам вроде *Nano*, предлагая более комфортный опыт для пользователей, которые предпочитают работать в терминале. *Micro* распространяется в виде единого статического бинарного файла, что упрощает установку и не требует дополнительных зависимостей [6].

Главной особенностью *Micro* является простота установки (это просто статический двоичный файл без зависимостей) и простота в использовании. Высокая степень настраиваемости. Можно использовать простой формат json для настройки параметров по своему вкусу. При необходимости можно использовать *Lua* для дальнейшей настройки редактора.

*Micro* поддерживает более 75 языков и имеет 7 цветовых схем по умолчанию на выбор. *Micro* поддерживает темы 16, 256 и *truecolor*. Синтаксические файлы и цветовые схемы также очень просты в создании.

Micro поддерживает несколько курсоров в стиле *Sublime*, что дает вам широкие возможности для редактирования прямо в вашем терминале.

Система плагинов *Micro* поддерживает полноценную систему плагинов. Плагины написаны на *Lua*, и есть менеджер плагинов, который автоматически загружает и устанавливает ваши плагины за вас. Сочетания клавиш *Micro* такие, какие можно ожидать от простого в использовании редактора.

*Micro* полностью поддерживает работу с мышью. Это означает, что можно щелкнуть мышью и перетащить ее, чтобы выделить текст, дважды щелкнуть мышью по слову и трижды щелкнуть мышью, чтобы выделить строку.

## 2.3 *Arch Linux*

Данный курсовой проект будет реализовываться на *Arch Linux* [7] c оболочной *Cinnamon.* Скриншот рабочего стола представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Рабочий стол в *Arch Linux* *Cinnamon*

*Arch* *Linux* – это дистрибутив *Linux*, известный своей простотой.

**2.3.1** История

*Arch Linux* – это дистрибутив *Linux*, который был создан в 2002 году Джастином Шлайтом (*Justin Schlytter*). Основной концепцией *Arch* стала простота, гибкость и минимализм, что позволяет пользователям самостоятельно настраивать систему под свои нужды.

Первые версии *Arch* *Linux* основывались на принципах *KISS* («*Keep It Simple and Stupid*», или «Делай просто и без излишеств») и философии UNIX, где каждое приложение выполняет одну задачу, но делает это хорошо. Это обеспечивало лёгкость и быструю работу системы, а также открывало широкие возможности для кастомизации.

Одной из ключевых особенностей *Arch Linux* является его система управления пакетами *Pacman*, которая обеспечивает простой и удобный способ установки, обновления и удаления программ. Она стала одним из факторов популярности дистрибутива среди опытных пользователей, которые ценят возможность тонкой настройки своей системы.

В 2013 году разработка *Arch Linux* перешла к новому руководству после того, как основатель проекта Джастин Шлайт отошёл от активной работы над системой. Несмотря на смену руководства, основные принципы и философия *Arch Linux* остались неизменными.

*Arch Linux* активно развивается и поддерживает последние версии программного обеспечения, предлагая пользователям возможность быть на передовой технологий. Дистрибутив завоевал популярность среди разработчиков, энтузиастов и тех, кто предпочитает иметь полный контроль над своей операционной системой. Благодаря обширной документации и активному сообществу *Arch Linux* остаётся одним из наиболее предпочитаемых дистрибутивов для тех, кто ищет гибкость и контроль в своей работе.

**2.3.2** Версии

*Arch Linux* не имеет традиционных версий или номеров релизов, как некоторые другие дистрибутивы. Вместо этого он следует модели непрерывного развития (*rolling release*), что означает постоянное обновление пакетов в репозиториях.

Система всегда находится в состоянии готовности к обновлению до последних версий программного обеспечения, что позволяет пользователям иметь актуальные компоненты без необходимости перехода на новую версию дистрибутива.

**2.3.3** Достоинства

1 Гибкость и настраиваемость. *Arch Linux* предоставляет пользователям максимальную свободу в настройке системы под свои нужды. Благодаря минималистичной базовой установке и обширным возможностям конфигурирования, пользователи могут адаптировать систему под конкретные требования и предпочтения.

2 Модель непрерывного развития (*rolling release*). Эта модель позволяет пользователям всегда иметь актуальные версии программного обеспечения без необходимости перехода на новую версию дистрибутива. Обновления выпускаются регулярно, что обеспечивает доступ к последним функциям и улучшениям.

3 Обширная документация и активное сообщество. *Arch Linux* славится своей подробной и качественной документацией, которая помогает пользователям решать возникающие вопросы и задачи. Кроме того, активное и дружелюбное сообщество предоставляет поддержку и делится опытом, что особенно полезно для новичков.

4 Высокая производительность. Благодаря минималистичному подходу и возможности тонкой настройки системы, *Arch Linux* может обеспечить высокую производительность на различных аппаратных платформах.

Выбор инструментов для реализации курсового проекта — языка *C++,* редактора *Micro* и дистрибутива *Arch Linux* — обусловлен их уникальными преимуществами, которые в совокупности формируют эффективную среду разработки. Использование *Arch Linux* с графической оболочкой *Cinnamon* обеспечивает баланс между производительностью и удобством, *Micro* — быстрое взаимодействие с кодом, а *C++* – реализацию высокоэффективных алгоритмов. Такой набор инструментов не только ускоряет разработку, но и способствует глубокому пониманию внутренних механизмов ОС, что соответствует целям проектирования файловых систем на базе *FUSE*.

# 3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

**3.1 Обоснование необходимости разработки**

В современных условиях информационных технологий эффективное управление файловыми ресурсами является одной из ключевых задач при организации работы операционных систем. Традиционные файловые системы ядра обеспечивают высокую производительность, однако их разработка и модификация требует глубокого понимания работы ядра ОС и сопряжена с повышенными рисками сбоев из-за ошибок в критически важном коде. Использование *FUSE* (*Filesystem in Userspace*) позволяет реализовывать файловые системы в пространстве пользователя, что снижает возможность возникновения системных сбоев и упрощает процесс разработки и тестирования.

Файловая система *SFS* призвана обеспечить эмуляцию стандартного функционала операционных систем на базе *Linux*, позволяя пользователям выполнять операции чтения, записи, создания, удаления, а также управления атрибутами файлов через набор специализированных функций (таких как *xmp\_init, xmp\_getattr, xmp\_readdir, xmp\_mknod, xmp\_mkdir, xmp\_unlink, xmp\_rmdir, xmp\_read и xmp\_write*). Такой подход позволяет:

1 Повысить надежность: реализация ключевых операций в пользовательском пространстве минимизирует риск выхода из строя ядра при возникновении ошибки;

2 Обеспечить гибкость: модульная архитектура позволяет легко добавлять новые функции или изменять поведение файловой системы без необходимости пересборки ядра;

3 Упростить тестирование и отладку: ошибки можно диагностировать и исправлять на уровне пользовательских процессов, что существенно сокращает время разработки.

Таким образом, разработка *SFS* является актуальным решением для образовательных и экспериментальных проектов, направленных на исследование особенностей реализации файловых систем и применение стандартных системных вызовов в окружении *FUSE*.

**3.2 Технологии программирования, используемые при разработке**

Основой программного продукта является библиотека *FUSE*, которая предоставляет интерфейс для создания файловых систем в пространстве пользователя. В выборе данной технологии отражены следующие ключевые аспекты:

1 Безопасность разработки: Реализация системы в пространстве пользователя позволяет существенно снизить критичность ошибок, поскольку сбой в пользовательском процессе не приводит к аварийному завершению работы операционной системы;

2 Соответствие *POSIX*-стандарту: Использование стандартных системных вызовов (таких как lstat, opendir, readdir, pread, pwrite, unlink, rmdir и др.) гарантирует совместимость *SFS* с существующими приложениями и инструментами *Linux*, что важно для интеграции в существующие инфраструктуры;

3 Язык программирования *C*: Выбор языка *C* обусловлен высокой производительностью, прямым доступом к системным вызовам и возможностью тонкой настройки работы с ресурсами. *C* является де-факто стандартом для разработки системного ПО, обеспечивая минимальные накладные расходы и высокую эффективность;

4 Модульность архитектуры: Разработка *SFS* структурирована в виде отдельных модулей для инициализации, работы с атрибутами, чтения содержимого каталогов, создания и удаления файлов, а также обработки операций чтения/записи и создания ссылок. Такой подход облегчает сопровождение, тестирование и потенциальную модернизацию продукта;

Комбинация *FUSE*, языка *C* и стандартов *POSIX* позволяет создать производительное, надежное и расширяемое программное обеспечение для работы с файловыми системами в условиях многозадачности современных операционных систем.

# 4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММЫ

## 4.1 Обоснование и описание функциональных возможностей

Целью курсового проекта является разработка простой файловой системы (*SFS*), работающей в пространстве пользователя на базе *FUSE* (*Filesystem in Userspace*). В данном разделе описаны основные функциональные возможности создаваемой файловой системы.

**4.1.1** Инициализация файловой системы

При запуске программы необходимо выполнить начальные настройки файловой системы, включая инициализацию структур данных, необходимых для работы файловой системы.

При запуске файловой системы происходит вызов функции xmp\_init из библиотеки FUSE. Эта функция отвечает за настройку параметров работы файловой системы, таких как кэширование, параллельная запись и обработка inode. В рамках инициализации создаются необходимые структуры данных (например, таблица открытых файлов) и подготавливается пользовательское пространство для работы с файлами.

**4.1.2** Работа с атрибутами файлов

Для корректной работы файловой системы необходимо реализовать возможность получения информации о файлах и директориях, таких как размер, права доступа, время последнего изменения и другие атрибуты.

Реализована функция xmp\_getattr, которая использует системный вызов lstat для получения атрибутов файлов. Эта функция возвращает информацию, необходимую для работы с файлами и отображения структуры файловой системы.

**4.1.3** Чтение содержимого директорий

Для работы с файловой системой пользователю нужно видеть содержимое директорий, а также иметь возможность навигации по файловой структуре.

Реализована функция *xmp\_readdir*, которая использует системный вызов *opendir* и *readdir* для получения списка файлов и поддиректорий. Список возвращается в формате, который поддерживается *FUSE*, что позволяет интегрировать эту функцию в пользовательские приложения.

#### **4.1.4** Создание новых файлов и директорий

Одним из ключевых функционалов любой файловой системы является возможность создания новых файлов и директорий.

Для реализации данного функционала используются функции *xmp\_mknod* и *xmp\_mkdir*. Первая отвечает за создание файлов с заданными атрибутами, вторая – за создание директорий с заданными правами доступа.

#### **4.1.5** Удаление файлов и директорий

Пользователь должен иметь возможность удалять ненужные файлы и директории.

Реализованы функции *xmp\_unlink* и *xmp\_rmdir*, которые используют системные вызовы *unlink* и *rmdir* для удаления файлов и директорий соответственно. Эти функции проверяют существование файла или директории перед удалением.

**4.1.6** Чтение и запись в файлы

Основная задача файловой системы – предоставлять возможность чтения и записи файлов для хранения данных.

Для чтения данных используется функция *xmp\_read*, которая вызывает системный вызов pread для чтения данных из файла. Для записи данных используется функция *xmp\_write*, которая вызывает *pwrite* для записи данных в определённое место файла.

**4.1.7** Символьные и жёсткие ссылки

Символьные и жёсткие ссылки широко применяются для удобства работы с файлами и реализации сложных файловых структур.

Реализованы функции *xmp\_symlink* и *xmp\_link*, которые используют системные вызовы *symlink* и *link* для создания символических и жёстких ссылок соответственно.

**4.1.8** Завершение работы файловой системы

Для предотвращения утечек памяти и некорректного завершения работы файловой системы необходимо обеспечить корректное завершение работы.

Завершение работы происходит при вызове функции *xmp\_release*, которая закрывает все открытые дескрипторы файлов и освобождает занятые ресурсы.

В данном разделе были подробно рассмотрены основные функциональные возможности реализуемой файловой системы *SFS* на базе *FUSE*. Были описаны ключевые этапы работы системы, начиная с инициализации, когда происходит настройка всех необходимых структур данных, и заканчивая корректным завершением работы с освобождением ресурсов. Реализованные функции для работы с атрибутами файлов, чтением содержимого директорий, созданием и удалением файлов и директорий, чтением и записью данных, а также поддержки символьных и жёстких ссылок, демонстрируют комплексный подход к обеспечению функциональности файловой системы через стандартные системные вызовы *Linux*. Такой подход обеспечивает совместимость с пользовательскими приложениями, надежность и эффективность при выполнении операций, что является залогом успешной работы и дальнейшего развития проекта.

# 5 АРХИТЕКТУРА РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ ПРОГРАММЫ

## 5.1 Общая структура программы

Архитектура файловой системы SFS построена на модульном принципе, что позволяет разделить функциональность на независимые компоненты. Это упрощает разработку, тестирование и сопровождение программы. Основные модули программы:

1 Модуль инициализации (*xmp\_init*): Выполняет настройку файловой системы при её монтировании;

2 Модуль работы с атрибутами (*xmp\_getattr*): Отвечает за получение информации о файлах и директориях;

3 Модуль чтения содержимого директорий (*xmp\_readdir*): Реализует функциональность отображения списка файлов и поддиректорий;

4 Модуль создания файлов и директорий (*xmp\_mknod*, *xmp\_mkdir*): Обеспечивает возможность создания новых элементов файловой системы;

5 Модуль удаления файлов и директорий (*xmp\_unlink*, *xmp\_rmdir*): Отвечает за удаление объектов из файловой системы;

6 Модуль чтения и записи (*xmp\_read*, *xmp\_write*): Реализует операции ввода-вывода с файлами;

7 Модуль ссылок (*xmp\_symlink*, *xmp\_link*): Обеспечивает создание символических и жёстких ссылок;

8 Модуль завершения работы (*xmp\_release*): Выполняет очистку ресурсов и завершение работы.

## 5.2 Функциональная схема программы

Функциональная схема программы описывает последовательность взаимодействий между модулями:

При запуске программы происходит первичная инициализация, когда вызывается функция *xmp\_init* для настройки параметров файловой системы и подготовки необходимых структур данных для работы с файлами и директориями. После инициализации система готова обрабатывать запросы, возникающие от пользователя. Для получения атрибутов файлов используется функция *xmp\_getattr*, которая позволяет корректно определять свойства объектов файловой системы, а реализация чтения содержимого директорий через *xmp\_readdir* обеспечивает полноценную навигацию по структуре системы.

Далее программа осуществляет создание и удаление объектов. Добавление новых файлов и директорий реализовано через вызовы функций *xmp\_mknod* и *xmp\_mkdir*, что позволяет динамически формировать файловую структуру. При этом удаление ненужных объектов производится посредством вызовов функций *xmp\_unlink* и *xmp\_rmdir*, что гарантирует безопасное удаление файлов и каталогов, при условии предварительной проверки их существования.

Работа с файлами осуществляется через функции *xmp\_read* и *xmp\_write*, предназначенные для чтения и записи данных соответственно. Эти функции обеспечивают оперативное взаимодействие с содержимым файлов, позволяя извлекать или сохранять данные в любой момент работы файловой системы. Завершение работы системы происходит через вызов функции *xmp\_release*, которая отвечает за очистку задействованных ресурсов, закрытие открытых дескрипторов и освобождение памяти.

## 5.3 Блок-схема алгоритма

Программа начинается с функции *main*, которая устанавливает начальные параметры – в частности, с вызова *umask(0)* для установки маски прав доступа. Затем происходит перебор аргументов командной строки. Если встречается опция "*--plus*", устанавливается специальный флаг (*fill\_dir\_plus*), влияющий на способ заполнения списка директорий в функции *xmp\_readdir*. После этого формируется новый список аргументов, который передается в функцию fuse\_main вместе со структурой *xmp\_oper*, содержащей указатели на функции-обработчики файловых операций.

Вызов *fuse\_main* запускает главный цикл обработки запросов от файловой системы. При монтировании вызывается функция *xmp\_init*, которая инициализирует файловую систему, настраивая поля структуры *fuse\_config*. Например, здесь включается использование *inode* (*use\_ino* = 1) и поддержка параллельных прямых операций записи (*parallel\_direct\_writes* = 1), а также устанавливаются таймауты кеширования в 0, если отключено автоматическое кеширование.

Далее основной цикл *FUSE* ожидает поступления запросов от операционной системы. В зависимости от типа запроса вызывается соответствующая функция из структуры *xmp\_oper*. Например, для получения атрибутов файла или каталога используется *xmp\_getattr*, которая выполняет системный вызов *lstat* для извлечения информации об объекте; для проверки доступа – функция *xmp\_access* с вызовом *access*; для чтения символических ссылок – функция *xmp\_readlink*, которая вызывает *readlink* и добавляет завершающий символ окончания строки.

Для обработки содержимого директорий используется функция *xmp\_readdir*. Она открывает каталог с помощью opendir, затем перебирает записи с использованием *readdir*. Если установлен флаг *fill\_dir\_plus*, дополнительно вызывается *fstatat* для получения детальной информации о каждом объекте; если не установлен, информация заполняется вручную (например, номер *inode* и режим файла). Каждая полученная запись добавляется в буфер ответа посредством *callback*-функции *filler*.

Создание новых объектов файловой системы осуществляется через функции *xmp\_mknod* и *xmp\_mkdir*. Функция *xmp\_mknod* вызывает вспомогательную функцию *mknod\_wrapper*, которая в зависимости от типа создаваемого объекта (регулярный файл, каталог, символическая ссылка, *FIFO*, или, в *FreeBSD*, сокет) выбирает необходимый системный вызов, например, openat для создания файла, *mkdirat* для создания каталога, symlinkat для создания символической ссылки, либо *mkfifoat* для *FIFO*. Для остальных типов объекты создаются посредством *mknodat*.

Удаление файлов и каталогов обрабатывается через функции *xmp\_unlink* и *xmp\_rmdir*, которые вызывают стандартные системные вызовы unlink и rmdir соответственно. Операции переименования и создания ссылок также реализованы: *xmp\_rename* для переименования, *xmp\_link* для создания жестких ссылок, и *xmp\_symlink* для создания символических ссылок.

Работа с файлами (чтение, запись, открытие, создание) делегируется функциям *xmp\_open*, *xmp\_create*, *xmp\_read* и *xmp\_write*. *xmp\_open* открывает файл и сохраняет файловый дескриптор в структуре *fuse\_file\_info*, обрабатывая флаг *O\_DIRECT*, который активирует прямой ввод-вывод. Чтение и запись данных реализованы посредством pread и pwrite, что позволяет работать с данными по заданному смещению в файле.

Дополнительные операции, такие как изменение прав доступа (*xmp\_chmod*), изменение владельца (*xmp\_chown*), изменение размера файла (*xmp\_truncate*) и обновление временных меток (*xmp\_utimens*, если поддерживается), также вызывают соответствующие системные вызовы (*chmod, lchown, truncate/ftruncate, utimensat*).

Дополнительный функционал, такой как получение состояния файловой системы (*xmp\_statfs*), синхронизация данных (*xmp\_fsync*), резервирование дискового пространства (*xmp\_fallocate*), работа с расширенными атрибутами (*xmp\_setxattr, xmp\_getxattr, xmp\_listxattr, xmp\_removexattr*), копирование данных между файлами (*xmp\_copy\_file\_range*) и изменение позиции в файле (*xmp\_lseek*), реализован в отдельных функциях, каждая из которых вызывает системные вызовы для выполнения своих задач.

По завершении обработки запроса происходит освобождение ресурсов. Файловые дескрипторы закрываются (например, в функции *xmp\_release* или локально в функциях, если файл открывался непосредственно для конкретной операции). Результатом каждой операции является статус (0 указывает на успешное выполнение, а в случае ошибки возвращается отрицательное значение, соответствующее коду ошибки *errno*). При завершении работы файловой системы *FUSE* происходит размонтирование и корректное освобождение памяти, что предотвращает утечки ресурсов.

Таким образом, алгоритм программы последовательно выполняет следующие этапы: инициализация и разбор аргументов, настройка параметров файловой системы в *xmp\_init*, переход к циклу обработки запросов, где в зависимости от типа запроса вызывается соответствующий обработчик (например, получение атрибутов, работа с содержимым директории, создание или удаление объектов, работа с файлом или управление атрибутами), и, наконец, завершение работы с корректным освобождением ресурсов. Это обеспечивает модульность, гибкость и стабильность работы файловой системы, реализованной с использованием *FUSE*.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выполнения курсового проекта была разработана простая файловая система *SFS* на базе технологии *FUSE (Filesystem in Userspace)*, которая позволяет реализовывать файловые системы в пространстве пользователя. Данная реализация обеспечивает стандартный функционал файловых операций, включая чтение и запись файлов, создание и удаление объектов файловой системы, управление атрибутами и поддержку символических и жёстких ссылок. В проекте реализованы:

**1. Модульная архитектура**: разработанное программное обеспечение построено на принципах модульности, что обеспечивает четкое разделение функциональности и упрощает сопровождение и дальнейшее развитие системы.

**2. Полная поддержка *POSIX*-стандарта**: реализованные функции (*xmp\_init, xmp\_getattr, xmp\_readdir, xmp\_mknod, xmp\_mkdir, xmp\_unlink, xmp\_rmdir, xmp\_read, xmp\_write* и другие) предоставляют стандартный набор операций, обеспечивающий совместимость с существующими приложениями и инструментами Linux.

**3. Повышенная надежность системы**: благодаря использованию *FUSE*, ошибки в коде файловой системы не приводят к критическим сбоям ядра операционной системы, что существенно снижает риски при эксплуатации.

**4. Эффективное управление ресурсами**: в проекте реализовано корректное освобождение занятых ресурсов и закрытие дескрипторов файлов, что предотвращает утечки памяти и другие проблемы с ресурсами.

**5. Гибкость настройки**: включение расширенных возможностей, таких как параллельная запись, использование inode и управление кэшированием, позволяет адаптировать систему под конкретные требования пользователя.

6. Использование языка программирования *C* в сочетании с библиотекой FUSE позволило создать производительное решение для работы с файловыми системами, которое может быть использовано как в образовательных целях для изучения принципов работы файловых систем, так и для экспериментальных проектов, требующих нестандартного поведения файловой системы.

В ходе выполнения проекта были решены все поставленные задачи, а результат соответствует заявленным функциональным требованиям. Дальнейшее развитие проекта может включать оптимизацию производительности, добавление дополнительных функций (например, шифрование данных, сжатие, квотирование) и улучшение взаимодействия с другими компонентами операционной системы.

Таким образом, созданная файловая система *SFS* является полноценным программным продуктом, демонстрирующим возможности технологии *FUSE* для реализации файловых систем в пространстве пользователя и обеспечивающим стандартный набор операций для работы с файлами и директориями в операционных системах на базе *Linux*.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] История Linux [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://losst.pro/istoriya-komand-linux. – Дата доступа: 25.02.2025.

[2] Файловые системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kingston.com/ru/blog/personal-storage/understanding-file-systems – Дата доступа: 25.02.2025.

[3] Файловая система Linux [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://timeweb.com/ru/community/articles/struktura-i-tipy-faylovyh-sistem-v-linux. Дата доступа: 25.02.2025.

[4] The Virtual File System [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.science.unitn.it/~fiorella/guidelinux/tlk/node102.html#SECTION001120000000000000000. Дата доступа: 15.01.2025.

[5] FUSE: как написать свою файловую систему [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/vk/articles/821905/. Дата доступа: 25.02.2025.

[6] Micro a modern and intuitive terminal-based text editor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://micro-editor.github.io/ – Дата доступа: 25.02.2025.

[7] Arch Linux [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://archlinux.org/ – Дата доступа: 25.02.2025.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

# (обязательное) Справка о проверке на заимствования‎

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

# (обязательное)

# Листинг программного кода

#define FUSE\_USE\_VERSION 31

#define \_GNU\_SOURCE

#ifdef linux

/\* For pread()/pwrite()/utimensat() \*/

#define \_XOPEN\_SOURCE 700

#endif

#include <fuse.h>

#include <stdio.h>

#include <string.h>

#include <unistd.h>

#include <fcntl.h>

#include <sys/stat.h>

#include <dirent.h>

#include <errno.h>

#ifdef \_\_FreeBSD\_\_

#include <sys/socket.h>

#include <sys/un.h>

#endif

#include <sys/time.h>

#ifdef HAVE\_SETXATTR

#include <sys/xattr.h>

#endif

static int mknod\_wrapper(int dirfd, const char \*path, const char \*link,

int mode, dev\_t rdev)

{

int res;

if (S\_ISREG(mode)) {

res = openat(dirfd, path, O\_CREAT | O\_EXCL | O\_WRONLY, mode);

if (res >= 0)

res = close(res);

} else if (S\_ISDIR(mode)) {

res = mkdirat(dirfd, path, mode);

} else if (S\_ISLNK(mode) && link != NULL) {

res = symlinkat(link, dirfd, path);

} else if (S\_ISFIFO(mode)) {

res = mkfifoat(dirfd, path, mode);

#ifdef \_\_FreeBSD\_\_

} else if (S\_ISSOCK(mode)) {

struct sockaddr\_un su;

int fd;

if (strlen(path) >= sizeof(su.sun\_path)) {

errno = ENAMETOOLONG;

return -1;

}

fd = socket(AF\_UNIX, SOCK\_STREAM, 0);

if (fd >= 0) {

/\*

\* We must bind the socket to the underlying file

\* system to create the socket file, even though

\* we'll never listen on this socket.

\*/

su.sun\_family = AF\_UNIX;

strncpy(su.sun\_path, path, sizeof(su.sun\_path));

res = bindat(dirfd, fd, (struct sockaddr\*)&su,

sizeof(su));

if (res == 0)

close(fd);

} else {

res = -1;

}

#endif

} else {

res = mknodat(dirfd, path, mode, rdev);

}

return res;

}

static int fill\_dir\_plus = 0;

static void \*xmp\_init(struct fuse\_conn\_info \*conn,

struct fuse\_config \*cfg)

{

(void) conn;

cfg->use\_ino = 1;

cfg->parallel\_direct\_writes = 1;

if (!cfg->auto\_cache) {

cfg->entry\_timeout = 0;

cfg->attr\_timeout = 0;

cfg->negative\_timeout = 0;

}

return NULL;

}

static int xmp\_getattr(const char \*path, struct stat \*stbuf,

struct fuse\_file\_info \*fi)

{

(void) fi;

int res;

res = lstat(path, stbuf);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_access(const char \*path, int mask)

{

int res;

res = access(path, mask);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_readlink(const char \*path, char \*buf, size\_t size)

{

int res;

res = readlink(path, buf, size - 1);

if (res == -1)

return -errno;

buf[res] = '\0';

return 0;

}

static int xmp\_readdir(const char \*path, void \*buf, fuse\_fill\_dir\_t filler,

off\_t offset, struct fuse\_file\_info \*fi,

enum fuse\_readdir\_flags flags)

{

DIR \*dp;

struct dirent \*de;

(void) offset;

(void) fi;

(void) flags;

dp = opendir(path);

if (dp == NULL)

return -errno;

while ((de = readdir(dp)) != NULL) {

struct stat st;

if (fill\_dir\_plus) {

fstatat(dirfd(dp), de->d\_name, &st,

AT\_SYMLINK\_NOFOLLOW);

} else {

memset(&st, 0, sizeof(st));

st.st\_ino = de->d\_ino;

st.st\_mode = de->d\_type << 12;

}

if (filler(buf, de->d\_name, &st, 0, fill\_dir\_plus))

break;

}

closedir(dp);

return 0;

}

static int xmp\_mknod(const char \*path, mode\_t mode, dev\_t rdev)

{

int res;

res = mknod\_wrapper(AT\_FDCWD, path, NULL, mode, rdev);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_mkdir(const char \*path, mode\_t mode)

{

int res;

res = mkdir(path, mode);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_unlink(const char \*path)

{

int res;

res = unlink(path);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_rmdir(const char \*path)

{

int res;

res = rmdir(path);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_symlink(const char \*from, const char \*to)

{

int res;

res = symlink(from, to);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_rename(const char \*from, const char \*to, unsigned int flags)

{

int res;

if (flags)

return -EINVAL;

res = rename(from, to);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_link(const char \*from, const char \*to)

{

int res;

res = link(from, to);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_chmod(const char \*path, mode\_t mode,

struct fuse\_file\_info \*fi)

{

(void) fi;

int res;

res = chmod(path, mode);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_chown(const char \*path, uid\_t uid, gid\_t gid,

struct fuse\_file\_info \*fi)

{

(void) fi;

int res;

res = lchown(path, uid, gid);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_truncate(const char \*path, off\_t size,

struct fuse\_file\_info \*fi)

{

int res;

if (fi != NULL)

res = ftruncate(fi->fh, size);

else

res = truncate(path, size);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

#ifdef HAVE\_UTIMENSAT

static int xmp\_utimens(const char \*path, const struct timespec ts[2],

struct fuse\_file\_info \*fi)

{

(void) fi;

int res;

/\* don't use utime/utimes since they follow symlinks \*/

res = utimensat(0, path, ts, AT\_SYMLINK\_NOFOLLOW);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

#endif

static int xmp\_create(const char \*path, mode\_t mode,

struct fuse\_file\_info \*fi)

{

int res;

res = open(path, fi->flags, mode);

if (res == -1)

return -errno;

fi->fh = res;

return 0;

}

static int xmp\_open(const char \*path, struct fuse\_file\_info \*fi)

{

int res;

res = open(path, fi->flags);

if (res == -1)

return -errno;

/\* Enable direct\_io when open has flags O\_DIRECT to enjoy the feature

parallel\_direct\_writes (i.e., to get a shared lock, not exclusive lock,

for writes to the same file). \*/

if (fi->flags & O\_DIRECT) {

fi->direct\_io = 1;

fi->parallel\_direct\_writes = 1;

}

fi->fh = res;

return 0;

}

static int xmp\_read(const char \*path, char \*buf, size\_t size, off\_t offset,

struct fuse\_file\_info \*fi)

{

int fd;

int res;

if(fi == NULL)

fd = open(path, O\_RDONLY);

else

fd = fi->fh;

if (fd == -1)

return -errno;

res = pread(fd, buf, size, offset);

if (res == -1)

res = -errno;

if(fi == NULL)

close(fd);

return res;

}

static int xmp\_write(const char \*path, const char \*buf, size\_t size,

off\_t offset, struct fuse\_file\_info \*fi)

{

int fd;

int res;

(void) fi;

if(fi == NULL)

fd = open(path, O\_WRONLY);

else

fd = fi->fh;

if (fd == -1)

return -errno;

res = pwrite(fd, buf, size, offset);

if (res == -1)

res = -errno;

if(fi == NULL)

close(fd);

return res;

}

static int xmp\_statfs(const char \*path, struct statvfs \*stbuf)

{

int res;

res = statvfs(path, stbuf);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_release(const char \*path, struct fuse\_file\_info \*fi)

{

(void) path;

close(fi->fh);

return 0;

}

static int xmp\_fsync(const char \*path, int isdatasync,

struct fuse\_file\_info \*fi)

{

/\* Just a stub. This method is optional and can safely be left

unimplemented \*/

(void) path;

(void) isdatasync;

(void) fi;

return 0;

}

#ifdef HAVE\_POSIX\_FALLOCATE

static int xmp\_fallocate(const char \*path, int mode,

off\_t offset, off\_t length, struct fuse\_file\_info \*fi)

{

int fd;

int res;

(void) fi;

if (mode)

return -EOPNOTSUPP;

if(fi == NULL)

fd = open(path, O\_WRONLY);

else

fd = fi->fh;

if (fd == -1)

return -errno;

res = -posix\_fallocate(fd, offset, length);

if(fi == NULL)

close(fd);

return res;

}

#endif

#ifdef HAVE\_SETXATTR

/\* xattr operations are optional and can safely be left unimplemented \*/

static int xmp\_setxattr(const char \*path, const char \*name, const char \*value,

size\_t size, int flags)

{

int res = lsetxattr(path, name, value, size, flags);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

static int xmp\_getxattr(const char \*path, const char \*name, char \*value,

size\_t size)

{

int res = lgetxattr(path, name, value, size);

if (res == -1)

return -errno;

return res;

}

static int xmp\_listxattr(const char \*path, char \*list, size\_t size)

{

int res = llistxattr(path, list, size);

if (res == -1)

return -errno;

return res;

}

static int xmp\_removexattr(const char \*path, const char \*name)

{

int res = lremovexattr(path, name);

if (res == -1)

return -errno;

return 0;

}

#endif /\* HAVE\_SETXATTR \*/

#ifdef HAVE\_COPY\_FILE\_RANGE

static ssize\_t xmp\_copy\_file\_range(const char \*path\_in,

struct fuse\_file\_info \*fi\_in,

off\_t offset\_in, const char \*path\_out,

struct fuse\_file\_info \*fi\_out,

off\_t offset\_out, size\_t len, int flags)

{

int fd\_in, fd\_out;

ssize\_t res;

if(fi\_in == NULL)

fd\_in = open(path\_in, O\_RDONLY);

else

fd\_in = fi\_in->fh;

if (fd\_in == -1)

return -errno;

if(fi\_out == NULL)

fd\_out = open(path\_out, O\_WRONLY);

else

fd\_out = fi\_out->fh;

if (fd\_out == -1) {

close(fd\_in);

return -errno;

}

res = copy\_file\_range(fd\_in, &offset\_in, fd\_out, &offset\_out, len,

flags);

if (res == -1)

res = -errno;

if (fi\_out == NULL)

close(fd\_out);

if (fi\_in == NULL)

close(fd\_in);

return res;

}

#endif

static off\_t xmp\_lseek(const char \*path, off\_t off, int whence, struct fuse\_file\_info \*fi)

{

int fd;

off\_t res;

if (fi == NULL)

fd = open(path, O\_RDONLY);

else

fd = fi->fh;

if (fd == -1)

return -errno;

res = lseek(fd, off, whence);

if (res == -1)

res = -errno;

if (fi == NULL)

close(fd);

return res;

}

static const struct fuse\_operations xmp\_oper = {

.init = xmp\_init,

.getattr = xmp\_getattr,

.access = xmp\_access,

.readlink = xmp\_readlink,

.readdir = xmp\_readdir,

.mknod = xmp\_mknod,

.mkdir = xmp\_mkdir,

.symlink = xmp\_symlink,

.unlink = xmp\_unlink,

.rmdir = xmp\_rmdir,

.rename = xmp\_rename,

.link = xmp\_link,

.chmod = xmp\_chmod,

.chown = xmp\_chown,

.truncate = xmp\_truncate,

#ifdef HAVE\_UTIMENSAT

.utimens = xmp\_utimens,

#endif

.open = xmp\_open,

.create = xmp\_create,

.read = xmp\_read,

.write = xmp\_write,

.statfs = xmp\_statfs,

.release = xmp\_release,

.fsync = xmp\_fsync,

#ifdef HAVE\_POSIX\_FALLOCATE

.fallocate = xmp\_fallocate,

#endif

#ifdef HAVE\_SETXATTR

.setxattr = xmp\_setxattr,

.getxattr = xmp\_getxattr,

.listxattr = xmp\_listxattr,

.removexattr = xmp\_removexattr,

#endif

#ifdef HAVE\_COPY\_FILE\_RANGE

.copy\_file\_range = xmp\_copy\_file\_range,

#endif

.lseek = xmp\_lseek,

};

int main(int argc, char \*argv[])

{

enum { MAX\_ARGS = 10 };

int i,new\_argc;

char \*new\_argv[MAX\_ARGS];

umask(0);

/\* Process the "--plus" option apart \*/

for (i=0, new\_argc=0; (i<argc) && (new\_argc<MAX\_ARGS); i++) {

if (!strcmp(argv[i], "--plus")) {

fill\_dir\_plus = FUSE\_FILL\_DIR\_PLUS;

} else {

new\_argv[new\_argc++] = argv[i];

}

}

return fuse\_main(new\_argc, new\_argv, &xmp\_oper, NULL);

}

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

# (обязательное)

# Функциональная схема алгоритма, реализующего

# программное средство

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

# (обязательное)

# Блок схема алгоритма

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

# (обязательное)

# Графический интерфейс пользователя

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

# (обязательное)

**Ведомость курсового проекта**