

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

Факультет информационных технологий  
Кафедра систем информатики

Направление подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника  
Направленность (профиль): Компьютерные науки и системотехника

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

**Бухнера Марка Евгеньевича**

Тема работы:

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ  
ЗАПРОСОВ К РАСПРЕДЕЛЕННОЙ БАЗЕ ТРАНЗАКЦИОННЫХ  
ДАННЫХ**

«К защите допущена»  
Заведующий кафедрой,  
д.ф.-м.н., профессор  
Лаврентьев М. М. / \_\_\_\_\_  
«30» мая 2024 г.

**Руководитель ВКР**  
Dr. rer. nat., доцент  
каф. ТК ММФ НГУ  
ван Беверн Р. А. / \_\_\_\_\_  
«30» мая 2024 г.

Новосибирск, 2024 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b>	<b>2</b>
<b>1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ТЕКУЩИХ РЕШЕНИЙ</b>	<b>3</b>
1.1 Предметная область . . . . .	3
<b>2 Другая часть</b>	<b>6</b>
2.1 Первый подраздел . . . . .	6
<b>Заключение</b>	<b>7</b>
<b>Список использованных источников и литературы</b>	<b>9</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Современные платформы для анализа больших данных интегрированы с внешними сервисами хранения данных, что превращает ввод-вывод из удалённого распределённого хранилища в одно из основных узких мест при обработке запросов. Стандартными практиками на таких платформах являются организация данных в колоночные форматы и их сжатие, что позволяет сократить расходы на хранение и обработку данных. Тем не менее, эффективный пропуск нерелевантных блоков данных остаётся нерешённой проблемой.

Существующие методы пропуска нерелевантных блоков данных используют упрощённые сводки (например, минимальные и максимальные значения) для каждого блока данных, чтобы фильтровать нерелевантные данные, или же они точно нацелены на ускорение операций вставки данных. Однако эти методы часто неэффективны или вовсе не работают с реальными запросами данных, что приводит к неэффективному использованию ресурсов хранилища.

Целью данной работы является разработка оптимальных методов индексации данных для ускорения обработки запросов с условиями в контексте платформ больших данных на основе анализа существующих подходов и их применимости на практике.

Задача исследования состоит в разработке структуры данных, которая позволит ускорить обработку интервальных запросов в платформе Apache Hudi, а также в внедрении этой структуры данных в платформу с последующим проведением экспериментов на реальных наборах данных. [1, 2]

# 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ТЕКУЩИХ РЕШЕНИЙ

## 1.1 Предметная область

В научной литературе существует множество определений термина «большие данные». В рамках данной работы целесообразно выделить общие характеристики из всех предложенных определений. Распространённой ошибкой при определении понятия «большие данные» является попытка придать данным численную оценку объёма. Однако объём данных, классифицируемых как большие, не только постоянно увеличивается, но и зависит от возрастающих вычислительных мощностей систем, на которых эти данные обрабатываются и хранятся. Несмотря на необходимость дать численные оценки для данных, с которыми проводятся исследования, поскольку наша работа ограничена контекстом времени, это не противоречит основному свойству больших данных — их нельзя эффективно обработать или хранить на одном вычислительном узле. Следовательно, обработка таких объёмов данных требует использования горизонтально масштабируемых сервисов, как для обработки, так и для долговременного хранения данных [13].

Одной из распространённых платформ для хранения и анализа данных является Apache Hudi — транзакционная платформа данных, обеспечивающая соблюдение принципов ACID. В первом приближении Hudi можно охарактеризовать как формат хранения данных. Платформа способна использовать любое распределённое файловое хранилище, совместимое с S3, однако наибольшее распространение получила файловая система Hadoop Distributed File System (HDFS), являющаяся частью проекта Apache Hadoop. В данной работе выбор пал на HDFS, учитывая её популярность и совместимость с большинством сервисов для работы с большими данными.

В рамках данного исследования выбор конкретного файлового хранилища не является решающим, поскольку ключевым свойством всех подобных систем является высокая стоимость операций доступа к данным. Это обусловлено их распределённой архитектурой и необходимостью обмена данными по сети. Избежать данных затрат невозможно, учитывая, что объёмы хранимых данных могут достигать петабайтов, что делает вертикальное масштабирование чрезмерно дорогим или даже невозможным для таких систем. Кроме того, вертикальное масштабирование нецелесообразно, поскольку в распределённых файловых системах применяется репликация данных для обеспечения отказоустойчивости.

Apache Hudi поддерживает работу с историческими запросами: при обновлении набора данных создаётся новый снимок, в то время как предыдущий остаётся доступным. Каждый снимок соответствует определённому моменту времени на временной шкале, которая представляет собой журнал всех операций, выполненных над таблицей. Эта вре-

менная шкала позволяет отслеживать последовательность данных и обеспечивает доступ к информации для исторических запросов. На каждый момент времени приходится не более одного действия, создавая линейный порядок среди всех операций над таблицей. Каждое действие в журнале содержит информацию о времени (с точностью до миллисекунд), типе и состоянии операции. В данной работе рассматриваются только действия, связанные с модификацией данных. Состояние каждого действия может быть «запланировано», «в процессе» или «завершено». Таким образом, Hudi использует временную шкалу для оптимистичного управления параллельным доступом к данным.

В каждой таблице Hudi существует служебная директория, в которой находится вся метаданная, необходимая для работы. Временная шкала находится в данной служебной директории, каждому состоянию действия соответствует один файл, название которого начинается с момента времени действия.

В рамках служебной директории располагается также таблица метаданных, которая является внутренней таблицей Hudi и остаётся скрытой от пользователя. Эта таблица интегрирована в пользовательскую таблицу, но недоступна для прямого доступа.

В Hudi различают два типа таблиц:

1. Copy-On-Write: данные хранятся в файлах с колоночно-ориентированным форматом. При операции записи генерируется новая версия файла данных, которая создаётся путём слияния существующего файла данных с новыми поступившими данными.
2. Merge-On-Read: данные хранятся в файлах, сочетающих колоночно-ориентированный и строчно-ориентированный форматы. В процессе записи новые данные сначала сохраняются в дельта-файлах строчного формата, а затем сливаются с последней версией файла данных в процессе, известном как компактизация.

Компактизация может происходить как в синхронном, так и в асинхронном режиме.

Размер таблицы увеличивается с добавлением данных. Поскольку для размера файла данных существует определённый разумный предел, данные разделяются на файловые группы. При достижении заданного конфигурируемого предела размера файла данных формируется новая файловая группа. Записи с новыми ключами размещаются в новой файловой группе, в то время как обновления записей с уже известными ключами записываются в ту же файловую группу, где находится оригинальная запись. Независимо от типа таблицы, каждый файл данных ассоциирован с определённой файловой группой. Файловая группа обладает уникальным случайно генерируемым идентификатором, который фигурирует в начале названия каждого файла данных. Кроме того, каждый файл данных ассоциируется с моментом времени действия на временной шкале, который также указан в названии файла.

Файловые группы расположены в директориях файловой системы, причём путь к такой директории называется партицией. Путь для каждой файловой группы генерируется на основе пользовательски заданной схемы партиционирования. Схема партиционирования включает в себя список атрибутов таблицы, значения которых определяют путь расположения файловой группы. Эти значения атрибутов используются для оптимизации числа партиций, которые необходимо просканировать при выполнении запроса. Это означает, что если партиционирование выполнено по определённому атрибуту и запрос включает условие по этому атрибуту, процесс поиска местоположения файловой группы сводится к определению идентификатора этой группы.

Далее рассмотрим основные понятия, связанные с индексами. Индексы представляют собой структуры данных, возникшие из необходимости обеспечить быстрый поиск информации, хранящейся в базах данных. В отсутствие индексов поиск информации по всем записям, удовлетворяющим определённым критериям, требовал бы последовательного доступа к каждой записи для проверки её соответствия условиям. Для базы данных, содержащей  $N$  элементов, это потребовало бы времени порядка  $O(N)$ , что для современных баз данных является неэффективным.

Индекс — это структура данных, которая позволяет ускорить процесс поиска за счёт использования дополнительного пространства и выполнения дополнительных операций записи для поддержания своей структуры. Существует множество типов индексов, предназначенных для работы с различными типами данных, такими как пространственные, временные, текстовые, многомерные и другие. Выбор подходящего индекса для конкретной задачи является ключевым аспектом процесса оптимизации, поскольку это может значительно влиять на временную сложность поиска, которая варьируется от  $O(\log N)$  до  $O(1)$ .

Учитывая изложенное, можно заключить, что задача определения расположения файла данных по заданному атрибуту с использованием индекса сводится к нахождению файловой группы, в которой расположена данная запись. В дальнейшем, для целей данной работы, термин «файловая группа» будет интерпретирован как «местоположение файла данных». При этом выбор конкретной версии файла данных в файловой группе зависит от типа запроса, включая исторические запросы. В рамках данной работы индекс будет отображать некоторые значения атрибутов на идентификатор файловой группы (расположение файла данных), в которой расположены соответствующие записи.

## 2 ДРУГАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Первый подраздел

Таблица 1 – Пример таблицы для ВКР

Модель	Точность	Время обучения (ч)
Модель 1	92	12
Модель 2	94	18
Модель 3	95	20

Таблица 2 – Пример большой таблицы

№	Фамилия	Имя	Отчество	Оценки		Статистика	
				Математика	Физика	Средний балл	Ранг
1	Иванов	Иван	Иванович	5	4	4.5	1
2	Петров	Петр	Петрович	4	5	4.5	2
3	Сидоров	Сидор	Сидорович	5	5	5	1
4	Кузнецов	Дмитрий	Иванович	4	4	4	3
5	Морозов	Андрей	Андреевич	3	5	4	4
6	Новиков	Иван	Дмитриевич	5	3	4	4
7	Васильев	Андрей	Петрович	3	4	3.5	6
8	Андреев	Андрей	Андреевич	4	5	4.5	2
9	Григорьев	Иван	Петрович	3	3	3	8
10	Дмитриев	Дмитрий	Андреевич	4	4	4	3

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогу выполненной работы разработан и реализован на языке C++ алгоритм решения задачи, который прошел тестирование на ряде тестовых данных и показал хорошие результаты по скорости и точности.

Для дальнейшего улучшения алгоритма возможно использование различных оптимизаций и улучшений, таких как:

1. Использование параллельных вычислений для ускорения работы алгоритма на многопроцессорных системах.
2. Оптимизация алгоритма с использованием более эффективных структур данных и алгоритмов, например, деревьев или хеш-таблиц.
3. Расширение функциональности алгоритма для обработки более широкого спектра данных, например, текстовых данных или изображений.
4. Интеграция алгоритма с другими системами и инструментами для улучшения процесса работы и повышения эффективности.

Также возможно проведение дополнительных исследований для определения оптимальных параметров алгоритма и проведения более детального анализа результатов работы. В целом, разработанный алгоритм представляет собой хорошую основу для дальнейшей работы и развития в этой области.

Результаты работы представлены на 60-й Международной научной студенческой конференции (НГУ, 10–20 апреля 2022 г.) в секциях «Наукоёмкое программное обеспечение» и «Теоретическая кибернетика». В последней работа была отмечена дипломом первой степени.



Выпускная квалификационная работа выполнена мной самостоятельно с соблюдением правил профессиональной этики. Все использованные в работе материалы и заимствованные принципиальные положения (концепции) из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них. Я несу ответственность за приведенные данные и сделанные выводы.

Я ознакомлен с программой государственной итоговой аттестации, согласно которой обнаружение плагиата, фальсификации данных и ложного цитирования является основанием для не допуска к защите выпускной квалификационной работы и выставления оценки «неудовлетворительно».

Бухнер Марк Евгеньевич

---

(подпись)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Knuth D. E., Bibby D. The TeXbook. — New York : Addison-Wesley Publishing Company, 1984. — 496 p.
2. Lamport L. LaTeX: a document preparation system. — New York : Addison-Wesley Publishing Company, 1994. — 273 p.