

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
Институт № 8 «Компьютерные науки и прикладная математика»
Кафедра № 806 «Вычислительная математика и программирование»

**Горизонтальное масштабирование PostgreSQL для улучшения
производительности при работе с крупными таблицами в
условиях заданной схемы базы данных**
Выпускная квалификационная работа бакалавра

Студент группы М8О-407Б-20: Куценко Борис Дмитриевич
Научный руководитель: ст. преподаватель кафедры 806
Миронов Евгений Сергеевич

Москва — 2024



Цель - разработать набор утилит и библиотеку для высокоуровневого языка программирования по управлению шардированием в PostgreSQL для бэкенд разработчиков



- PostgreSQL - одна из ведущих реляционных СУБД с открытым исходным кодом
- Современные информационные системы сталкиваются с постоянным ростом объемов данных, что может привести к исчерпанию ресурсов сервера и снижением производительности из-за ограничений по доступному месту и замедлении скорости обработки запросов.
- Горизонтальное масштабирование решает эти проблемы, но при использовании стандартных методов PostgreSQL, приходится перестраивать все существующие связи и схемы БД, что может привести к большим временным затратам



Задачи:

- 1 Выбрать и реализовать алгоритм для записи и чтения распределенных данных
- 2 Спроектировать и реализовать библиотеку для высокоуровневого языка программирования по работе с распределенными данными, совместимую с существующими решениями по работе с БД
- 3 Придумать решение проблемы неравномерного распределения данных при добавлении новых серверов, обеспечив балансировку нагрузки и равномерное хранение данных на шардах
- 4 Реализовать механизм копирования данных с одного сервера на другой при изменении количества серверов
- 5 Произвести тест производительности разработанного решения



При увеличении размера таблицы в базе данных возникают следующие проблемы

- Операции чтения и записи замедляются
- Существует вероятность достижения максимального порога размера базы данных на сервере

Одним из способов решения данных проблем является горизонтальное масштабирование. PostgreSQL не предоставляет готового механизма для его организации в существующей схеме БД. Требуется создать набор утилит и библиотеку, которые бы обеспечили масштабирование базы данных при минимальном изменении существующей кодовой базы.



- **Python** является основным языком программирования, который использовался при решении задачи;
- **PostgreSQL** СУБД для которого написано решение;
- **Docker** позволяет разворачивать и переносить изолированные контейнеры с базами данных;



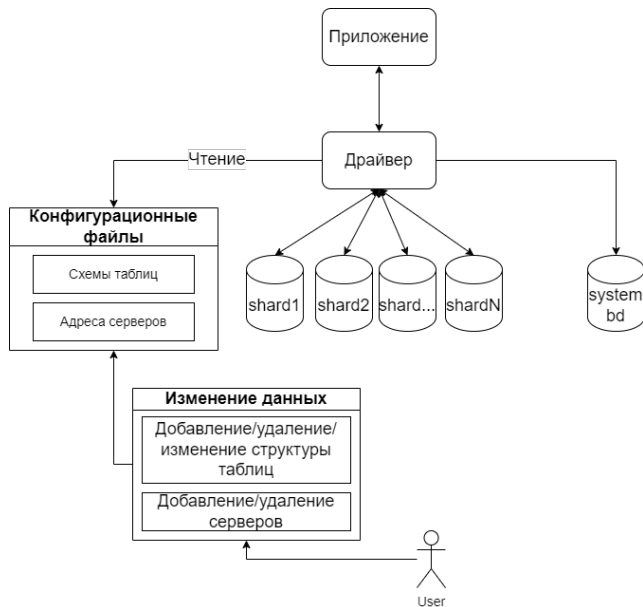
Существует два подхода к горизонтальному масштабированию

- 1 "на холодную"(Cold Scaling) - добавление или удаление ресурсов, требующее перезагрузки системы или её компонентов.
- 2 "на горячую"(Live/Hot Scaling) - добавление или удаление ресурсов в реальном времени без остановки системы.

Преимущества второго подхода

- Непрерывность работы: Система продолжает работать без прерываний.
- Минимизация простоев: Пользователи не замечают изменений.





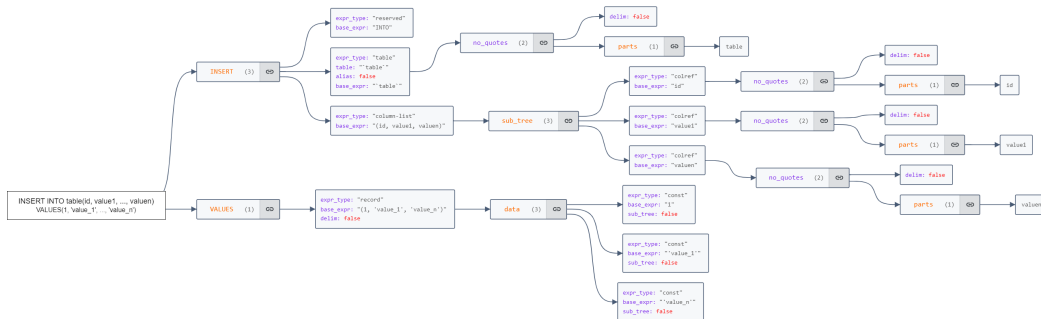
Архитектура решения



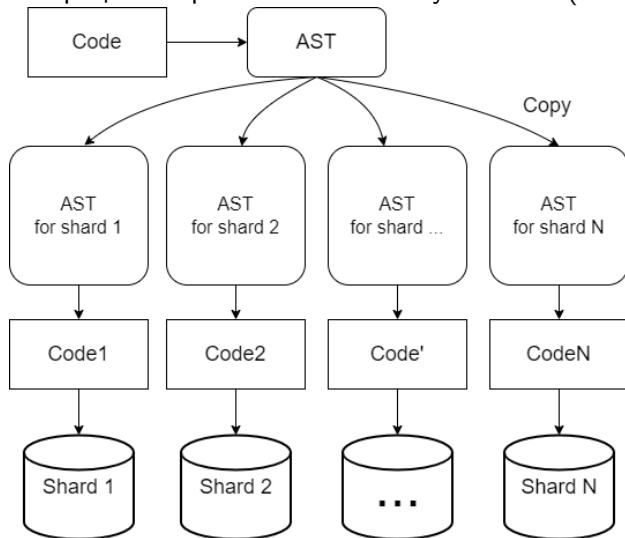
Пример запроса

```
INSERT INTO table(id, value1, ..., valuen)
VALUES(1, 'value_1', ..., 'value_n')
```

Построение абстрактного синтаксического дерева



Генерация запросов из abstract syntax tree (AST)



Для каждого сервера создается новый SQL запрос, в котором присутствуют только те данные, которые относятся к данному



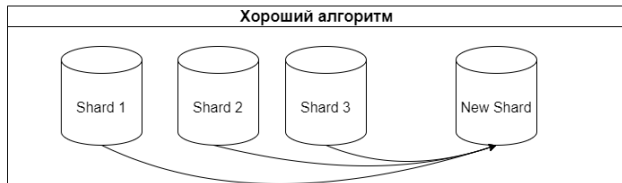
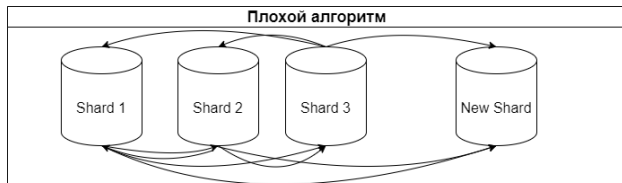
Как понять в какой сервер записывать данные?

Эту проблему решают следующие алгоритмы:

- 1 Хэширование по модулю
- 2 Шардирование по последним битам ключа
- 3 Шардирование с использованием битового бора (Trie-based шардирование)
- 4 Шардирование с фиксированным числом "бакетов"
- 5 Консистентное хэширование
- 6 Рандеву-хэширование



Перебалансировка



- Консистентное хэширование:
 - Karger, D.; Lehman, E.; Leighton, T.; Panigrahy, R.; Levine, M.; Lewin, D. (1997). Consistent Hashing and Random Trees: Distributed Caching Protocols for Relieving Hot Spots on the World Wide Web
 - Roughgarden, Tim; Valiant, Gregory (28 March 2021). "The Modern Algorithmic Toolbox, Introduction to Consistent Hashing".
- Рандеву хэширование:
 - Thaler, David; Chinya Ravishankar. "A Name-Based Mapping Scheme for Rendezvous"
- Документация PostgreSQL:
 - <https://www.postgresql.org/docs/current/index.html>

