ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
КАФЕДРА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ І ТЕХНОЛОГІЙ
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
магістра
(освітній рівень)

на тему: «Розробка відмовостійкого менеджера розподілених транзакцій на основі мікросервісної архітектури»

Виконала: студентка групи 6ПР
спеціальності
121 - «Інженерія програмного забезпечення»
(шифр і назва спеціальності)

Кузиченко Анастасія Сергіївна
(прізвище та ініціали)
Керівник д.т.н., професор Шерстюк В.Г.
(прізвище та ініціали)
Рецензент к.т.н. доцент Вишемирська С.В.
(прізвище та ініціали)

Хмельницький - 2023

Херсонський національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет, відділення Інформаційних технологій та дизайну
Кафедра Програмних засобів і технологій
Освітній рівень магістр
Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. завідувача кафедри
Програмних засобів і технологій
к.т.н. доц. О.Є. Огнєва
“___” _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кузиченко Анастасії Сергіївні
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка відмовостійкого менеджера розподілених транзакцій на основі мікросервісної архітектури»
керівник роботи д.т.н., професор Шерстюк В.Г.,
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджена наказом вищого навчального закладу від 29.09.2023 р. №509-С
2. Строк подання студентом роботи 20.12.2023
3. Вихідні дані до роботи літературні та періодичні джерела, матеріали переддипломної практики, експериментальні дослідження для вирішення проблеми подвійного запису в мікросервісній архітектурі
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
1) огляд загальних принципів організації даних та комунікацій в мікросервісній архітектурі;
2) дослідження та оптимізація методів здійснення розподілених транзакцій в мікросервісній архітектурі;
3) обробка розподілених транзакцій в мікросервісній архітектурі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
1) Схема мікросервісної архітектури;
2) Схема оркестрації транзакцій;
3) Використання кластерів Apache Kafka;
4) Схема дуплікації даних;
5) Схема алгоритму;
6) Скріншоти програми.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 29.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1.	Отримання завдання	29.09.2023	Виконано
2.	Підбір літератури	05.10.2023	Виконано
3.	Аналіз предметної області	19.10.2023	Виконано
4.	Розробка та обґрунтування завдання	26.10.2023	Виконано
5.	Розробка концептуальної моделі	05.11.2023	Виконано
6.	Розробка алгоритму	12.11.2023	Виконано
7.	Проектування програми	26.11.2023	Виконано
8.	Розробка інтерфейсу програми	30.11.2023	Виконано
9.	Тестування програми	05.12.2023	Виконано
10.	Оформлення пояснювальної записки	10.12.2023	Виконано
11.	Захист кваліфікаційної роботи	20.12.2023	Виконано

Студент _____ Кузиченко А.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Шерстюк В.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 85 сторінок, 25 рисунків, 1 таблиця, 1 додаток, 51 джерело.

Об'єкт дослідження: процес збереження та обміну даними в мікросервісній архітектурі.

Предмет дослідження: програмні методи вирішення проблеми подвійного запису в мікросервісній архітектурі.

Мета роботи полягає у створенні горизонтально масштабованої та відмовостійкої архітектури мікросервісних систем, яка підтримує гарантії ACID та BASE для розподілених транзакцій.

Методи дослідження базуються на основних принципах теорії розподілених систем та теорії баз даних, а саме методах теоретичного моделювання, теоретичних основах проектування реляційних та нереляційних баз даних, побудови сховищ даних, розподіленої обробки даних.

Новизна отриманих результатів полягає в розробці та застосуванні сучасних методів реалізації розподілених транзакцій в гетерогенних мікросервісних системах, які потребують гарантії ACID.

Практична цінність результатів роботи полягає у тому, що отримані в ході дослідження результати можуть застосовуватися для створення високодоступної та горизонтально масштабованої мікросервісної архітектури, яка зберігає узгоджений стан.

Перелік ключових слів: мікросервісна архітектура, розподілені транзакції, горизонтальне масштабування, асинхронна комунікація, відмовостійкість, двофазні транзакції, ACID, BASE.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел та додатку.

В роботі було проведено порівняльний аналіз існуючих методів забезпечення узгодженого стану мікросервісної системи, виявлено недоліки та реалізовано програмний комплекс для вирішення досліджених проблем.

Перший розділ роботи складається з аналітичного розбору існуючих методів загальної організації даних та комунікації в мікросервісних системах.

Другий розділ містить огляд проблеми подвійного запису в гетерогенних мікросервісних системах, порівнює існуючі методи вирішення цієї проблеми.

Третій розділ присвячено програмній реалізації мікросервісної системи.

Результатом роботи є розроблений програмний комплекс для забезпечення високої доступності та горизонтального масштабування мікросервісних систем, що містять менеджер розподілених транзакцій.

В роботі вперше виконано оптимізацію гетерогенних розподілених транзакцій, що дозволяє ефективно поєднувати двофазні транзакції, однофазні транзакції та відправлення повідомлень, зберігаючи при цьому гарантії ACID та BASE.

ABSTRACT

The master's thesis consists of an introduction, three sections, a conclusion, a list of literature and an appendix.

In the thesis, a comparative analysis of existing methods of ensuring the agreed state of the microservice system was carried out, shortcomings were identified, and a software complex was implemented to solve the investigated problems.

The first section consists of an analytical analysis of existing methods of general data organization and communication in microservice systems.

The second section contains an overview of the problem of double recording in heterogeneous microservice systems, compares the existing methods for solving this problem.

The third section is devoted to the software implementation of the microservice system.

The result of the thesis implementation is a developed software complex to ensure high availability and horizontal scaling of microservice systems containing a distributed transaction manager.

In the thesis, the optimization of heterogeneous distributed transactions is performed novelty, which allowing effectively combine two-phase transactions, one-phase transactions and sending messages, while maintaining ACID and BASE guarantees.

ЗМІСТ

ВСТУП 10

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЗАГАЛЬНИХ ПРИНЦИПІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ДАНИХ ТА КОМУНІКАЦІЙ В МІКРОСЕРВІСНІЙ АРХІТЕКТУРІ 13

1.1. CAP-теорема та організація даних в мікросервісній архітектурі 13

1.1.1. Шаблон «Спільна база даних» та теорема PACELC 18

1.1.2. Шаблон «Одна база даних на сервіс» 21

1.2. Комунікації в мікросервісній архітектурі 23

1.2.1. Оркестрація та хореографія 25

1.2.2. Виклик віддалених процедур (RPC) 28

1.2.3. Асинхронна комунікація на основі подій 29

1.3. Висновки до першого розділу 32

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ЗДІЙСНЕННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ТРАНЗАКЦІЙ В МІКРОСЕРВІСНІЙ АРХІТЕКТУРІ 34

2.1. Проблема подвійного запису та методі її вирішення 34

2.1.1. Модульний моноліт 36

2.1.2. Двофазні транзакції 39

2.1.3. Оркестрація транзакцій 40

2.1.4. Хореографія транзакцій 42

2.1.5. Паралельні пайплайни 49

2.1.6. Як вибрати стратегію розподіленої транзакцій 52

2.2. Оптимізація двофазних транзакцій в гетерогенних системах 54

2.3. Аномалія ізоляції розподілених транзакцій 56

2.4. Висновки до другого розділу 57

РОЗДІЛ 3. ОБРОБКА РОЗПОДІЛЕНИХ ТРАНЗАКЦІЙ В МІКРОСЕРВІСНІЙ АРХІТЕКТУРІ 59

3.1. Функціональні можливості Apache Kafka, MongoDB та PostgreSQL 59

3.2. Забезпечення балансування навантаження та високої доступності виконавчого середовища за допомогою Apache Kafka 60

3.2. Гарантування одноразового виконання транзакції 62

3.3. Розподілена ACID-транзакція в MongoDB та PostgreSQL 68

3.4. Висновки до третього розділу 70

ВИСНОВКИ 71

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 72

ДОДАТОК А. ЛІСТІНГ ПРОГРАМИ 79

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

CAP – узгодженість, доступність, стійкість до розподілення

ACID – атомарність, узгодженість, ізоляція, надійність

BASE – доступність, м’який стан, кінцева узгодженість

1PC – однофазна фіксація

2PC – двофазна фіксація

XA – стандарт X/Open XA (скорочення від «eXtended Architecture»)

CDC – запис змін даних

ВСТУП

Актуальність дослідження. Підтримка узгодженості даних у мікросервісній архітектурі може бути серйозною проблемою. Теорема CAP стверджує [48], що в розподіленій системі неможливо одночасно підтримувати узгодженість, доступність, та стійкість до розподілення мережі (у випадках тимчасових збоїв комунікації).

Алгоритми консенсусу, такі як Raft, пом’якшують обмеження теореми CAP, дозволяючи досягти високої доступності, забезпечуючи при цьому узгодженість та стійкість до розподілення мережі [32]. Це значно покращує властивості системи, але абсолютна доступність все одно не гарантована.

Суть мікросервісної архітектури полягає в наявності мережевої комунікації між мікросервісами. Необхідність оновлення даних в кількох мікросервісах в межах однієї операції призводить до необхідності використання розподілених транзакцій між мікросервісами.

Таким чином, проблема полягає у тому, як реалізувати наскрізні бізнеспроцеси, зберігаючи узгодженість між кількома мікросервісами. Ця проблема також пов’язана з питанням про те, як поширювати зміни між кількома мікросервісами, коли певні дані мають бути надлишковими.

Виходячи з теореми CAP, транзакції можуть надавати гарантії ACID, або надавати гарантії BASE. Фундаментальна відмінність між ACID та BASE полягає у тому, яку узгодженість вони забезпечують [1]. ACID гарантує сувору узгодженість, але не забезпечує доступність. В свою чергу BASE забезпечує доступність, але гарантує узгодженість лише кінцевого результату, дозволяючи системі тимчасово перебувати в неузгодженому стані.

ACID-транзакція між кількома мікросервісами вимагає або використання спільної бази даних в межах однієї транзакції, або використання двофазних транзакцій. На відміну від BASE, не всі бази даних підтримують ACID, і ще менше баз даних підтримують двофазні транзакції.

Такім чином, розподілені ACID-транзакції накладають суттєві обмеження на те, які СУБД можуть використовуватися мікросервісами.

Оскільки транзакції ACID та BASE мають різні переваги та недоліки, виникає питання, чи можливо використовувати їх разом в межах однієї мікросервісної системи, зберігаючи при цьому можливість мати різні СУБД для різних мікросервісів? Так, це можливо [16].

Більше того, це можливо навіть в межах однієї операції, якщо об’єднати транзакції в абстрактну ієрархічну графоподібну структуру. Наприклад, операція може починатися з розподіленої ACID-транзакції, успішна фіксація якої буде починати розподілену BASE-транзакцію, яка в свою чергу складається з інших BASE та ACID-транзакцій. У випадку виникнення помилки на одному з етапів розподіленої транзакції, можливо ініціювати компенсаційну транзакцію, яка відкотить усі транзакції в зворотньому порядку.

Мета дослідження полягає у створення горизонтально масштабованої та відмовостійкої архітектури мікросервісних систем, яка підтримує гарантії ACID та BASE для розподілених транзакцій. Відповідно до мети у кваліфікаційній роботі необхідно вирішити наступні **завдання**:

1. Виконати огляд існуючих методів організації даних та комунікацій в мікросервісній архітектурі, описати їх переваги та недоліки.
2. Дослідити та порівняти методи вирішення проблеми подвійного запису в мікросервісній архітектурі.
3. Створити гнучку систему комунікації для мікросервісної архітектури, яка дозволить використовувати та поєднувати різні методи організації даних та вирішення проблеми подвійного запису.

Об'єкт дослідження: процес збереження та обміну даними в мікросервісній архітектурі.

Предмет дослідження: програмні методи вирішення проблеми подвійного запису в мікросервісній архітектурі.

Методи дослідження. Методи дослідження базуються на основних принципах теорії розподілених систем та теорії баз даних. Використано методи теоретичного моделювання, теоретичні основи проектування реляційних та

нереляційних баз даних, теоретичні основи побудови сховищ даних, основи розподіленої обробки даних.

Новизна отриманих результатів визначається тим, що вперше розроблена оптимізація гетерогенних розподілених транзакцій, яка дозволяє ефективно поєднувати двофазні транзакції, однофазну транзакцію, та відправлення повідомлень, зберігаючи при цьому ACID та BASE гарантії.

Практична цінність результатів роботи полягає в створенні відмовостійкого та горизонтально масштабованого менеджера гетерогенних розподілених транзакцій.

Використано Apache Kafka для забезпечення відмовостійкої та швидкої мікросервісної комунікації, що дозволило створити універсальне середовище для виконання розподілених транзакцій; забезпечення семантики ACID для розподілених транзакцій, які охоплюють Apache Kafka, MongoDB та PostgreSQL, використовуючи при цьому двофазні транзакції лише в PostgreSQL.