Slovenská technická univerzita v Bratislave Fakulta informatiky a informačných technológií

FIIT-100241-92223

Zsolt Kiss

JDBC ovládač pre súborový systém

Bakalárska práca

Študijný program: Informatika (konverzný)

Študijný odbor: 9.2.1 Informatika

Miesto vypracovania: Ústav počítačového inžinierstva a aplikovanej informatiky,   
FIIT STU, Bratislava

Vedúci práce: Ing. Gabriel Szabó

Máj 2023

Obsah

[1 Úvod 1](#_Toc130753526)

[2 Analýza 2](#_Toc130753527)

[2.1 Architektúra JDBC 2](#_Toc130753528)

[2.2 Súbor ako úložisko údajov 5](#_Toc130753529)

[2.3 Ľudsky čitateľný formát 6](#_Toc130753530)

[2.3.1 Serializácia a deserializácia 9](#_Toc130753531)

[2.3.2 Možné spôsoby ukladania údajov 12](#_Toc130753532)

[2.3.3 Obmedzenia 14](#_Toc130753533)

[2.4 SQL Príkazy 15](#_Toc130753534)

[2.4.1 Regulárne výrazy 16](#_Toc130753535)

[2.4.2 Parsovanie pomocou bezkontextovej gramatiky 16](#_Toc130753536)

[2.5 Transakcie 17](#_Toc130753537)

[2.5.1 Úrovne izolácie 17](#_Toc130753538)

[2.5.2 Transakcie pri databázach, ktorý používajú súborový systém 19](#_Toc130753539)

[3 Návrh 20](#_Toc130753540)

[3.1 Ľudsky čitateľný formát 20](#_Toc130753541)

[3.1.1 Formát tabuľky 20](#_Toc130753542)

[3.1.2 Formát schémy 20](#_Toc130753543)

[3.1.3 Formát databázového súboru 21](#_Toc130753544)

[3.1.4 Formát uloženia LOB-ov 21](#_Toc130753545)

[3.2 Parsovanie SQL príkazov 22](#_Toc130753546)

[3.3 Transakcie 23](#_Toc130753547)

[3.3.1 Commit 24](#_Toc130753548)

[3.3.2 Rollback 25](#_Toc130753549)

[4 Implementácia 26](#_Toc130753550)

[4.1 Ľudsky čitateľný formát 26](#_Toc130753551)

[4.2 SQL Príkazy 27](#_Toc130753552)

[4.2.1 Hierarchia príkazov 28](#_Toc130753553)

[4.2.2 Soft parsing 29](#_Toc130753554)

[4.2.3 Podporované príkazy a ich formáty 30](#_Toc130753555)

[4.2.4 Spracovanie príkazov 32](#_Toc130753556)

[4.3 Transakcie 33](#_Toc130753557)

[4.4 Vzťahy medzi triedami 35](#_Toc130753558)

[4.5 Konfigurácia ovládača 36](#_Toc130753559)

Zoznam použitých skratiek

**JDBC** – Java Database Connectivity

**API** – Application Programming Interface (Aplikačné programovacie rozhranie)

**LOB** – Large Object

**BLOB** – Binary Large Object

**CLOB** – Character Large Object

**URL** – Uniform Resource Locator

**NTFS** – New Technology File System

**EXT** - Extended File System

**DBMS** – Database Management System (Systém riadenia databázy)

**FS** – File System (Súborový systém)

**HRF** – Human Readable Format (Ľudsky čitateľný formát)

**CSV** – Comma Separated Values

**JSON** – Javascript Object Notation

**XML** – eXtensible Markup Language

**XSD** – XML Schema Definition

**YAML** – Yet Another Markup Language

**REGEX** – Regular Expressions (Regulárne výrazy)

# Úvod

# Analýza

## Architektúra JDBC

JDBC API poskytuje prístup k relačným databázam pre Java aplikácie. Podporované sú databázy ako SQL server, SQLite, Postgres, Oracle, DB2, avšak je možné pristupovať prakticky k akémukoľvek zdroju údajov od relačných databáz až po tabuľky a ploché súbory. [1]

Hlavnou vlastnosťou JDBC je, že ide o štandardné API, čo znamená, že pre rôzne databázy nemusíme vyvíjať odlišný kód. JDBC uľahčuje vývoj programov v jazyku Java, ktoré zvládajú nasledujúce úlohy:

* Pripojiť sa k databáze
* Vykonávať dotazy (query) a príkazy (statement) na aktualizáciu databázy
* Získať výsledok prijatý z databázy.

JDBC API je rozdelené do dvoch balíkov: *java.sql*, čo je hlavné rozhranie API, a *javax.sql*, čo je doplnkový balík JDBC.

* *java.sql* obsahuje základné rozhranie JDBC API na získanie prístupu k údajom uloženým v databáze a na ich úpravu.
* *javax.sql* obsahuje API pre klientov JDBC na prístup k zdrojom údajov na strane servera. [2]



Obrázok 1: Architektúra JDBC

**Aplikácia** - Je to Java applet alebo servlet, ktorý komunikuje so zdrojom údajov.

**JDBC API** - Ide o API založené na jazyku Java, ktoré poskytuje množinu tried a metód na vytvorenie pripojenia k databáze, vykonávanie SQL príkazov a spracovanie výsledkov. V nasledujúcom podkapitole sa budeme venovať dôležitejším triedam a rozhraniam.

**DriverManager** - zabezpečuje, aby sa na prístup ku každému zdroju údajov použil správny ovládač. DriverManager je schopný podporovať viacero súbežných ovládačov spojených k viacerým heterogénnym databázam. [3]

**JDBC Drivers** - Sú to triedy, ktoré implementujú rozhranie JDBC API a poskytujú mechanizmus na pripojenie k určitej databáze.

**Dôležité triedy a rozhrania**

**Driver -** Rámec Java SQL umožňuje použitie viacerých databázových ovládačov. Rozhranie Driver zabezpečuje kľúčové spojenie medzi aplikáciou Java a databázou. Ovládač JDBC transformuje bežné požiadavky API na nízkoúrovňové požiadavky pre konkrétne databázy. Trieda Driver by mala vygenerovať inštanciu seba samého a zaregistrovať ju v DriverManager, keď sa načíta. [4]

**DriverManager -** Zodpovedá požiadavky na spojenie z Java aplikácie so správnou databázou ovládačom pomocou komunikačného podprotokolu. Prvý ovládač, ktorý rozpozná určitý podprotokol v rámci JDBC, sa použije na vytvorenie databázy Connection. [3]

**Connection –** Zapuzdruje spojenie k určitej databáze. Objekt sa vytvorí zavolaním funkcie DriverManager.getConnection(), ktorý vráti objekt typu Connection. Jeho primárnym použitím je vykonávanie príkazov SQL v kontexte spojenia. [5]

**Statement –** Slúži na spúšťanie príkazov SQL a vracanie výsledkov pomocou objektov ResultSet. Objekt Statement sa vytvorí pomocou metódy createStatement() z objektu Connection. V každom okamihu obsahuje objekt Statement práve jeden objekt ResultSet. [5]

**PreparedStatement -** Predkompilovaný príkaz SQL je známy ako PreparedStatement. Keďže je predkompilovaný, zjednodušuje definovanie hodnôt parametrov SQL, chránia pred útokmi typu SQL injection a v neposlednom rade môže zvýšiť výkon aplikácie. PreparedStatement je uložený tak, aby sa mohol neskôr vykonať viackrát. Pomocou metódy prepareStatement() rozhrania Connection môžeme získať objekt tohto rozhrania. [3]

**ResultSet -** Objekty Resultset uchovávajú údaje získané z databázy po vykonaní SELECT príkazu. ResultSet funguje ako iterátor, ktorý umožňuje pohyb po jeho údajoch. [3]

**ResultSetMetaData -** Táto trieda sa používa na načítanie údajov z objektu ResultSet. Obsahuje metódy, ktoré umožňujú získať dôležité informácie o výsledku dotazu. Po vykonaní dotazu je možné zavolať metódu getMetaData() na získanie objektu ResultSetMetaData pre výsledné údaje.

## Súbor ako úložisko údajov

DBMS je počítačový softvér, ktorý riadi zhromažďovanie súvisiacich štruktúrovaných údajov. Ten sa používa na ukladanie údajov a efektívne získavanie informácií podľa potreby. Údaje možno získať pomocou dotazov SQL a relačnej algebry. Príkladmi systémov správy databáz sú Oracle, MySQL a MS SQL server.

FS je metóda zoskupovania súborov na pevnom disku alebo na inom úložnom prostriedku. Súborové systémy tvoria rôzne súbory, ktoré sú usporiadané do adresárov. Súborový systém vykonáva základné funkcie vrátane správy, pomenovania súborov, udeľovania pravidiel prístupu atď. Medzi súborové systémy patria napríklad NTFS a EXT.

Celkovo možno povedať, že hoci sa DBMS aj súborový systém používajú na ukladanie údajov v počítači, DBMS je výkonnejší a sofistikovanejší nástroj na správu a manipuláciu s veľkým množstvom štruktúrovaných údajov, zatiaľ čo súborový systém je jednoduchší systém, ktorý je vhodnejší na organizovanie a ukladanie menšieho množstva údajov.

Rôzne databázy používajú na ukladanie tabuľkových údajov rôzne formáty databázových súborov. Databázové tabuľky a indexy môžu byť uložené na disku v jednej z viacerých foriem vrátane usporiadaných/neusporiadaných plochých súborov, ISAM, heap súborov, hash bucketov alebo B+ stromov.

Okrem toho niektoré DBMS poskytujú nástroje na export údajov z databázy do HRF, napríklad CSV alebo JSON. To umožňuje používateľom pristupovať k údajom spôsobom, ktorý sa dá ľahko čítať a interpretovať ľuďmi, a umožňuje to používať údaje v iných aplikáciách alebo systémoch, ktoré nepodporujú binárny formát údajov používaný databázou.

## Ľudsky čitateľný formát

HRF je typ reprezentácie údajov, ktoré sú pre človeka ľahko zrozumiteľné a interpretovateľné. Tieto formáty sa používajú v informatike, aby umožnili ľuďom porozumieť údajom a pracovať s nimi bez potreby špecializovaného softvéru alebo technických znalostí.Ukladanie údajov v HRF v porovnaní s binárnymi formátmi má niekoľko výhod a nevýhod:

|  |  |
| --- | --- |
| **Výhody** | **Nevýhody** |
| Sú jednoduché na čítanie a interpretáciu: Údaje sú uložené tak, aby ich ľudia mohli jednoducho čítať a pochopiť, čo uľahčuje prácu s nimi a odstraňovanie problémov. | V porovnaní s binárnymi formátmi sú formáty HRF často väčšie, pretože potrebujú viac priestoru na uloženie ďalších znakov a formátovania potrebného na to, aby boli údaje čitateľné pre človeka. |
| Ľahko sa dajú prenášať medzi mnohými počítačmi, pretože sú textové a nezávislé od konkrétnej hardvérovej platformy alebo operačného systému. | Ich spracovanie môže trvať dlhšie ako spracovanie binárnych formátov, pretože sú väčšie a na ich spracovanie je potrebný väčší výpočtový výkon. |
| Parsovanie HRF je vo všeobecnosti jednoduchšie ako parsovanie binárnych formátov, pretože štruktúra údajov je jasne definovaná a ľahko sa interpretuje. | HRF sú jednoduchšie na čítanie a pochopenie, čo ich robí potenciálne menej bezpečnými, pretože sú viac otvorené neoprávnenej interpretácii. |

Tabuľka 1: Výhody a nevýhody HRF

Medzi najpopulárnejšie HRF patria CSV, JSON, XML a YAML. V tejto kapitole budeme analyzovať jednotlivé serializačné formáty z hľadiska serializácie a deserializácie, a potom sa budeme venovať rôznym spôsobom ukladania údajov v týchto formátoch.

**CSV** – CSV je jednoduchý textový formát na ukladanie tabuľkových údajov. Formát CSV umožňuje voliteľný riadok hlavičky, ktorý sa zobrazuje ako prvý riadok súboru. Ak je prítomný, obsahuje názvy polí pre každú hodnotu v zázname. Tento riadok hlavičky je veľmi užitočný na označovanie údajov a mal by byť prítomný takmer vždy. Aj keď sa CSV považuje za formát, ktorý je do istej miery čitateľný pre človeka, v nasledujúcej tabuľke si môžeme všimnúť, že ak má tabuľka veľa stĺpcov, je veľmi ťažké určiť, ktorá hodnota je priradená ktorému stĺpcu.

**JSON -** JSON je jedným z najrýchlejších a najpoužívanejších formátov na serializáciu/deserializáciu. Dátové štruktúry formátu JSON presne reprezentujú bežné objekty v mnohých jazykoch. Jazyk podporuje štruktúry typu pole a mapa (objekt).

Podporuje mnoho rôznych dátových typov vrátane reťazcov, čísel, boolean, null atď. ale nie dátumy. Názov v pároch name/value objektu JSON musí byť vždy reťazec. Má stručnú syntax, hoci vo väčšine situácií nie je taká stručná ako YAML a nepodporuje komentáre.

**XML -** XML je serializačný protokol, ktorý je čitateľný pre človeka, hoci sa ľahko stratí medzi všetkými značkami, ktoré máme pred očami. Jednou z nevýhod XML je jeho veľká veľkosť. Jeho opisné koncové značky, ktoré vyžadujú opätovné zadanie názvu obklopujúceho prvku, zvyšujú počet bajtov dokumentu. Jazyk je relatívne rýchly, hoci jeho parsovanie je zvyčajne pomalšie ako parsovanie JSON. Je veľmi flexibilný, pretože každý element môže mať atribúty a ľubovoľné podradené elementy. Pri XML sa tiež odporúča používať XSD, ako primárnu schému na použitie s XML.

**YAML -** YAML sa považuje za pomerne čitateľný a ľahko sa s ním pracuje, najmä v porovnaní s inými formátmi, ako sú XML alebo JSON. YAML používa jednoduché páry kľúč-hodnota, odsadenie a niekoľko ďalších konvencií na reprezentáciu zložitých dátových štruktúr.Hodnoty môžu byť predvolené ako reťazce, čo umožňuje vynechať úvodzovky.

YAML je zo všetkých formátov najpomalší. Jazyk je dobre štandardizovaný, ale môže byť ťažké nájsť ďalšie funkcie, napríklad validátory schém.

V nasledujúcej tabuľke je uvedený jeden záznam z databázovej tabuľky *catalog* zastúpených vo vyššie uvedených jazykoch.

|  |  |
| --- | --- |
| **Jazyk** | **Formát jedného záznamu** |
| **CSV** | "id","author","title","genre","price","publish\_date","description"  "bk101","Gambardella, Matthew","XML Developer's Guide","Computer","44.95","2000-10-01","An in-depth look at creating applications with XML." |
| **JSON** | {  "book": {  "author": "Gambardella, Matthew",  "title": "XML Developer's Guide",  "genre": "Computer",  "price": 44.95,  "publish\_date": "2000-10-01",  "description": "An in-depth look at creating applications with XML."  }  } |
| **XML** | <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>  <book id="bk101">  <author>Gambardella, Matthew</author>  <title>XML Developer's Guide</title>  <genre>Computer</genre>  <price>44.95</price>  <publish\_date>2000-10-01</publish\_date>  <description>An in-depth look at creating applications with XML.</description>  </book> |
| **YAML** | book:  author: "Gambardella, Matthew"  title: "XML Developer's Guide"  genre: Computer  price: "44.95"  publish\_date: "2000-10-01"  description: "An in-depth look at creating applications with XML."  \_id: bk101 |

Tabuľka 2: Ukážka jedného záznamu

### Serializácia a deserializácia

Na tento účel je k dispozícii viacero knižníc, ale kvôli konzistentnosti sme používali pre každý formát verziu Jacksonu. V porovnávacom teste sme vygenerovali zoznam 2 milión objektov s rôznymi náhodnými atribútmi.

Tento zoznam bol najprv serializované do súboru a potom deserializované späť do zoznamu. Nakoniec, aby sme sa uistili, že dostaneme rovnaký výsledok, sme zoznam reserializovali do iného súboru a porovnali obsah týchto súborov.

Tabuľka 3: Veľkosti jednotlivých súborov

Tabuľka 4: Počet riadkov

Tabuľka 5: Počet znakov

V prípade CSV sa názov stĺpca definuje len raz, v prvom riadku, pri ostatných formátoch sa definuje pre každý záznam v zozname. To vysvetľuje, prečo je veľkosť súboru CSV, počet znakov a riadkov v porovnaní s inými formátmi taký nízky.

JSON a YAML mali podobnú dĺžku, ale keďže YAML nepotrebuje kučeravé ani hranaté zátvorky, je o 10-15 % kratší a menší.

Keďže XML potrebuje pre každý neprázdny prvok uzatváraciu značku, má najväčšiu veľkosť súboru a je zo všetkých najdlhší.

Tabuľka 6: Čas trvania jednotlivých operácií

Je dôložité zdôrazniť, že rýchlosť serializácie a deserializácie nezávisí iba od veľkosti súboru a počtom riadkov, ale aj od špecifikácie daného jazyka. Čím rozsiahlejšia je gramatika, jazyka, tým je pomalšia deserializácia.

### Možné spôsoby ukladania údajov

V tejto kapitole sa budeme venovať porovnaniu rôznych spôsobov ukladania súborov. Na ukážku budeme používať formát XML, ale ak nie je uvedené inak, každý spôsob je použiteľný aj pre ostatné formáty.

#### Každý záznam je samostatný súbor

Môžeme si vybrať možnosť, pri ktorej je každý záznam v databáze uložený v samotnom súbore. V tomto prípade môžeme všetky záznamy z jednej tabuľky uložiť do jedného priečinka. Tento spôsob ukladanie súborov má určité obmedzenia, o ktorých budeme hovoriť neskôr v tejto kapitole.

Názov tabuľky tiež môžeme deklarovať na začiatku súbora, a tak nebudeme obmedzení len na jednu tabuľku:

*<?*xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"*?>*<catalogTable>  
 <Entry>  
 <author>Gambardella, Matthew</author>  
 <title>XML Developer's Guide</title>  
 <genre>Computer</genre>  
 <price>44.95</price>  
 <publishDate>2000-10-01</publishDate>  
 <description>An in-depth look at creating applications with XML.</description>  
 </Entry>  
</catalogTable>

#### Každá tabuľka je samostatný súbor

Môže jeden súbor obsahovat záznamy iba z jednej tabuľky. Tento spôsob má za výhodu, že vždy vieme, aký súbor máme otvoriť, ak hľadáme jeden záznam.

*<?*xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"*?>*<catalogTable>  
 <Entry>  
 <author>Gambardella, Matthew</author>  
 ...  
 <description>An in-depth look at creating applications with XML.</description>  
 </Entry>  
 ...  
 <Entry>  
 <author>Thurman, Paula</author>  
 ...  
 <description>Some description here.</description>  
 </Entry>  
</catalogTable>

#### Viacero tabuliek v jednom súbore

Táto metóda je vhodná vtedy, keď chceme mať celú databázu uloženú v jednom súbore. Ak ide o veľký súbor, tak metóda má nevýhodu, že máme prechádzať celý súbor, aj keď hľadáme iba jeden záznam alebo jednu tabuľku.

Je dôležité zdôrazniť, že táto metóda nie je použíteľná pre CSV, dôvod bol vysvetlený v predchádzajúcom kapitole.

*<?*xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"*?>*<Tables>  
 <catalogTable>  
 <Entry>  
 <author>Gambardella, Matthew</author>  
 ...  
 <description>Creating applications with XML.</description>  
 </Entry>  
 </catalogTable>  
 <authorsTable>  
 <Entry>  
 <fullName>Zsolt Kiss</fullName>  
 ...  
 <numberOfPublications>1</numberOfPublications >  
 </Entry>  
 ...  
 <Entry>  
 <fullName>Ing. Gabriel Szabó</fullName>  
 ...  
 <numberOfPublications>2</numberOfPublications>  
 </Entry>  
 </authorsTable>  
</Tables>

#### Uloženie LOB-ov

Ak tabuľka obsahuje stĺpec typu BLOB alebo CLOB, bolo by možné obsah týchto objektov oddeliť do vlastných súborov a tabuľka by obsahovala len cestu k týmto súborom.

*<?*xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"*?>*<catalogTable>  
 <Entry>  
 <author>Gambardella, Matthew</author>  
 ...  
 <description>An in-depth look at creating applications with XML.</description>  
 <file>path/to/lob\_001.xml</file>  
 </Entry>  
 ...  
 <Entry>  
 <author>Thurman, Paula</author>  
 ...  
 <description>Some description here.</description>  
 <file>path/to/lob\_002.xml</file>  
 </Entry>  
</catalogTable>

### Obmedzenia

#### Maximálny počet súborov v jednom adresári

V závislosti od súborového systému existujú obmedzenia, ktoré určujú, koľko súborov môže obsahovať jeden adresár.

|  |  |
| --- | --- |
| Súborový systém | Max. počet súborov pre jeden adresár |
| FAT32 | 2^16 - 1 (65 535) |
| exFAT | 2 796 202 |
| NTFS | 2^32 - 1 (4 294 967 295) |
| Ext2 | 1.3×10^20 |
| Ext3 | Variabilné, pridelené v čase vytvorenia |
| Ext4 | 4 miliardy (určené v čase vytvorenia súborového systému) |

Tabuľka 7: Max. počet súborov v jednom adresári pri jednotlivých FS

Z toho vyplýva, že aj keď do toho zahrnieme systémové súbory a ďalšie súbory, ktoré používateľ má uložené na disku, vo väčšine prípadoch je to pre naše účely viac ako dosť. Vo všeobecnosti sa neodporúča ukladať veľký počet súborov do jedného adresára, pretože to môže viesť k problémom s výkonom a iným problémom. Namiesto toho je zvyčajne najlepšie usporiadať súbory do viacerých adresárov, pričom každý adresár obsahuje menší počet súborov. To môže pomôcť zlepšiť výkon a spoľahlivosť súborového systému a môže to tiež uľahčiť správu a prístup k súborom.

#### Maximálny počet súčasne otvorených súborov

Vo všeobecnosti neexistujú žiadne prirodzené obmedzenia počtu súborov, ktoré môže Java proces otvoriť. Na druhej strane môžeme byť obmedzený množstvom dostupnej pamäte a iných systémových zdrojov, ako aj konkrétnou implementáciou prostredia Java Runtime. Okrem toho niektoré operačné systémy môžu zaviesť obmedzenia počtu súborov, ktoré môže jeden proces otvoriť súčasne.

Pri našom testovaní sme napísali program, ktorý vytvára konečný počet súborov a potom do nich zapisuje znaky ASCI. Naše testovanie ukázalo, že neexistuje obmedzenie počtu súborov, ktoré možno otvoriť naraz, jediným obmedzujúcim faktorom je množstvo pamäte, ktoré je k dispozícii v operačnom systéme.

## SQL Príkazy

SQL príkazy pozostávajú z viacerých vstupov, ako sú názvy tabuliek, názvy stĺpcov, rôzne funkcie a výrazy. Existujú dva možné spôsoby spracovania príkazov. Prvý, že sa nachádzajú vo vyrovnávacej pamäti (cache), a druhý, že sa nemusia nachádzať.

Ak sa v rámci cache nájde opakovane použiteľný prvok, stačí ho vybrať a použiť na vykonanie príkazu. Tento postup sa nazýva Soft Parsing.

Ak nie je možné nájsť opakovane použiteľný prvok alebo ak sa dotaz nikdy predtým nevykonal, je potrebná parsovanie príkazu. To sa nazýva Hard Parsing.

Parsovanie (syntaktická analýza) je proces analýzy reťazca symbolov, či už v prirodzenom jazyku, počítačových jazykoch alebo dátových štruktúrach, ktorý zodpovedá pravidlám formálnej gramatiky.

Pred vykonaním akýchkoľvek úprav údajov v databáze musíme potvrdiť, že bolo splnené každé z nasledujúcich kritérií:

* Kontrola syntaxe – či daný príkaz je zrozumiteľný pre databázu, a neobsahuje syntax chyby. Syntax sa kontroluje porovnaním celého textu príkazu s podporovanými kľúčovými slovami pre aktuálne používanú verziu databázy.
* Kontrola sémantiky - či je použitý správny názov objektu a tiež či má používateľ správne oprávnenia na vykonanie dotazu.

Ak niektorá z týchto dvoch kontrol zlyhá, proces vykonávania dotazu sa ukončí.

### Regulárne výrazy

Príkazy SQL možno parsovať pomocou regulárnych výrazov (ďalej iba REGEX), ale tento prístup má niekoľko nevýhod. Po prvé, REGEX môže byť náročné na čítanie a pochopenie, najmä pri pokuse parsovaní dlhých a zložitých SQL príkazov. Okrem toho môže byť parsovanie SQL príkazov náchylné na chyby, najmä ak vzor nie je dôsledne skontrolovaný alebo ak zmeny v kódovej základni SQL narúšajú vzor.

Napokon, spracovanie REGEX môže byť náročné na výpočet, čo môže mať za následok pomalý výkon a potenciálne ovplyvniť celkový výkon systému. Preto, hoci REGEX možno použiť na parsovanie SQL príkazov, je nevyhnutné uvedomiť si ich obmedzenia a preskúmať iné možnosti, aby sa zabezpečil efektívny a presný rozbor.

### Parsovanie pomocou bezkontextovej gramatiky

Dôležité uplatnenie bezkontextových gramatík je pri špecifikácii a kompilácii programovacích jazykov. Bezkontextová gramatika pozostáva zo súboru pravidiel, z ktorých každá vyjadruje spôsoby, akými možno zoskupiť a usporiadať symboly jazyka, a lexikónu slov a symbolov. [6]

Väčšina kompilátorov a interpretov obsahuje komponent nazývaný parser, ktorý extrahuje význam programu pred generovaním skompilovaného kódu alebo vykonaním interpretovanej exekúcie. Ak je k dispozícii bezkontextová gramatika, konštrukciu parseru uľahčuje niekoľko metodík. Niektoré nástroje dokonca automaticky generujú parser z gramatiky.

Parsovací strom je usporiadaný, zakorenený strom, ktorý reprezentuje syntaktickú štruktúru reťazca podľa určitej bezkontextovej gramatiky.

## Transakcie

Transakcia je jednotka práce, ktorá pozostáva z jednej alebo viacerých databázových operácií, ako je vkladanie, aktualizácia alebo mazanie údajov. Transakcie sú atomické, čo znamená, že buď sa úspešne vykonajú všetky operácie v transakcii, alebo sa nevykoná žiadna z nich. [2]

Keď je transakcia commitovaná, účinky všetkých príkazov vykonaných od posledného commitu alebo rollbacku transakcie sa natrvalo zaznamenávajú v databáze.

Vykonaním rolbacku sa uvoľnia všetky zámky, ktoré databáza získala počas aktuálnej transakcie, ako aj všetky modifikácie údajov databázy vykonané počas aktuálnej transakcie. Pri používaní JDBC môžeme transakciu zrušiť zavolaním funkcie *rollback()* na objekte Connection. [2]

### Úrovne izolácie

To, aké údaje môže aplikácia vidieť v rámci transakcie, je určené úrovňami izolácie transakcií v databáze. Úrovne izolácie transakcií sú opísané z hľadiska toho, či sú na konkrétnej úrovni izolácie povolené tri typy scenárov:

*Dirty reads* (nečisté čítanie) je situácia, keď transakcia číta údaje, ktoré ešte neboli commitované. Napríklad transakcia 1 aktualizuje riadok a ponechá ho necommitované, zatiaľ čo transakcia 2 číta aktualizovaný riadok. Ak transakcia 1 zruší zmenu, transakcia 2 bude čítať údaje, ktoré sa považujú za nikdy neexistujúce.

*Nonrepeatable reads* (neopakovateľné čítanie) nastáva vtedy, keď transakcia číta ten istý riadok dvakrát a zakaždým získava inú hodnotu. Napríklad predpokladajme, že transakcia T1 číta údaje. Z dôvodu súbežnosti iná transakcia T2 aktualizuje tie isté údaje a vykoná commit, Ak teraz transakcia T1 znovu prečíta tie isté údaje, získa inú hodnotu.

*Phantom reads* - Fantómové čítanie nastáva vtedy, keď sa vykonajú dva rovnaké dotazy, ale riadky načítané týmito dvoma dotazmi sa líšia. Predpokladajme napríklad, že transakcia T1 načíta sadu riadkov, ktoré spĺňajú určité vyhľadávacie kritériá. Teraz transakcia T2 vygeneruje niekoľko nových riadkov, ktoré vyhovujú vyhľadávacím kritériám transakcie T1. Ak transakcia T1 znovu vykoná príkaz, ktorý načíta riadky, získa tentoraz inú sadu riadkov.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Izolačná úroveň** | **Dirty Read** | **Nonrepeatable Read** | **Phantom Read** |
| **READ UNCOMMITTED** | Môžu sa vyskytnúť | Môžu sa vyskytnúť | Môžu sa vyskytnúť |
| **READ COMMITTED** | Nevyskytujú sa | Nevyskytujú sa | Môžu sa vyskytnúť |
| **REPEATABLE READ** | Nevyskytujú sa | Nevyskytujú sa | Môžu sa vyskytnúť |
| **SERIALIZABLE** | Nevyskytujú sa | Nevyskytujú sa | Nevyskytujú sa |

Tabuľka 8: Izolačné úrovne

*Read Uncommitted* je najnižšia úroveň izolácie je. Na tejto úrovni má jedna transakcia možnosť čítať modifikácie vykonané inými transakciami, ktoré ešte neboli commitované, čo umožňuje špinavé čítanie. Na tejto úrovni nie sú transakcie navzájom izolované.  
*Read Committed* zabezpečí, že údaje čítané sú v čase čítania zaručene commitované. To zabraňuje špinavému čítaniu. Transakcia bráni ostatným transakciám čítať, upravovať alebo mazať aktuálny riadok tým, že na ňom drží zámok na čítanie alebo zápis.

*Repeatable read* je najobmedzenejšia úroveň izolácie. Pre všetky riadky, na ktoré sa transakcia odvoláva, drží zámky na čítanie a pre operácie aktualizácie a vymazania drží zámky na zápis do tých istých riadkov. Vyhýba sa neopakovateľnému čítaniu, pretože iné transakcie nemôžu tieto riadky čítať, aktualizovať ani mazať.

*Serializable* je najvyššia úroveň izolácie. Je zaručené, že serializovateľné vykonanie je serializovateľné. Serializovateľné vykonávanie je definované ako vykonávanie operácií, pri ktorom sa súčasne vykonávané transakcie javia ako sériovo vykonávané.

### Transakcie pri databázach, ktorý používajú súborový systém

Ak databáza používa na ukladanie údajov súborový systém, transakcie sa zvyčajne implementujú pomocou techniky známej ako "zapisovanie pred zápisom". Ide o zápis všetkých zmien, ktoré sú súčasťou transakcie, do logovacieho súboru pred ich použitím v skutočných dátových súboroch. Tým sa zabezpečí, že zmeny sa dajú vrátiť späť, ak sa počas transakcie niečo pokazí, a tiež to umožňuje opätovné použitie zmien, ak sa databáza zrúti alebo sa inak stane nedostupnou. [7]

Uvažujme napríklad databázu SQLite, ktorá na implementáciu transakcií používa protokolovanie s predstihom zápisu. Keď sa spustí transakcia, DBMS zapíše do súboru protokolu záznam "begin transaction" a potom zapíše záznamy pre každú operáciu, ktorá je súčasťou transakcie. Tieto záznamy obsahujú podrobnosti o vykonávaných zmenách, napríklad o vkladaných alebo aktualizovaných hodnotách. [7]

Po zapísaní všetkých zmien do súboru protokolu ich databázový stroj aplikuje na skutočné dátové súbory. To sa uskutočňuje tak, že sa najprv vytvorí kópia pôvodných dátových súborov pre prípad, že by bolo potrebné transakciu neskôr vrátiť späť. Potom sa zmeny aplikujú na dátové súbory a databázový stroj zapíše do logovacieho súboru záznam "commit transaction", ktorý označuje, že transakcia bola úspešne dokončená. [7]

Ak sa počas transakcie niečo pokazí, napríklad chyba databázy alebo zlyhanie systému, databázový stroj môže použiť súbor protokolu na zrušenie vykonaných zmien. To sa vykoná tak, že sa zo súboru denníka prečítajú záznamy "begin transaction" a "commit transaction" a potom sa na dátové súbory použijú opačné operácie. Ak napríklad transakcia obsahovala operáciu vloženia, operácia zrušenia by bola operácia vymazania. [7]

# Návrh

## Ľudsky čitateľný formát

### Formát tabuľky

Podľa analýzy sme sa rozhodli uložiť každú tabuľku ako jeden súbor, pretože nechceme byť obmedzení maximálnym počtom súborov v jednom adresári.

*<?*xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"*?>*<myTable>  
 <Entry>  
 <id>1</id>  
 <name>Zsolti</name>  
 <age>25</age>  
 </Entry>  
 <Entry>  
 <id>2</id>  
 <name>Tomi</name>  
 <age>24</age>  
 </Entry>  
 <Entry>  
 <id>3</id>  
 <name>Ivan</name>  
 <age>26</age>  
 </Entry>  
 <Entry>  
 <id>4</id>  
 <name>Lukas</name>  
 <age>37</age>  
 </Entry>  
</myTable>

### Formát schémy

Informácie o tom, akého dátového typu je hodnota, budeme ukladať do schém.

*<?*xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"*?>*<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified">  
 <xs:element name="myTable">  
 <xs:complexType>  
 <xs:sequence>  
 <xs:element maxOccurs="unbounded" minOccurs="0" name="Entry">  
 <xs:complexType>  
 <xs:sequence>  
 <xs:element name="id" type="xs:long"/>  
 <xs:element name="name" type="xs:string"/>  
 <xs:element name="age" type="xs:long"/>  
 </xs:sequence>  
 </xs:complexType>  
 </xs:element>  
 </xs:sequence>  
 </xs:complexType>  
 </xs:element>  
</xs:schema>

### Formát databázového súboru

Súbor s metadátami databázy bude tiež používať HRF. V tomto súbore budú uložené cesty k tabuľkám a schémam.

*<?*xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"*?>*<Database name="myDatabase">  
 <Table name="myTable">  
 <pathToTable>D:\path\to\myDatabase\myTable.xml</pathToTable>  
 <pathToSchema>D:\path\to\myDatabase\myTable.xsd</pathToSchema>  
 </Table>  
</Database>

### Formát uloženia LOB-ov

LOB-y budú uložené v samostatných súboroch vo formáte reťazca (zakódované z polí bajtov) a v tabuľkách budú uložené iba absolútne cesty k súborom.

*<?*xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"*?>*<myTable>  
 <Entry>  
 <id>1</id>  
 <name>Zsolti</name>  
 <age>25</age>  
 <file>C:\path\to\myDatabase\blob\blob1.xml</file>  
 </Entry>  
</myTable>

*<?*xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"*?>*<blob>Y29tLmdpdGh1Yi5qZnNxbC5kcml2ZXIuY29yZS5KZnNxbERyaXZlcg==</blob>

## Parsovanie SQL príkazov

ANTLR (ANother Tool for Language Recognition) je silný nástroj na parsovanie jazykov. Zo zadanej gramatiky ANTLR dokáže vygenerovať lexer a parser, ktoré spoločne dokážu vytvoriť strom zo vstupu (v našom prípade reťazec SQL), a poslucháča (listener), ktorý dokáže vykonávať logické operácie pri návšteve tohto stromu.

Parsery generované ANTLR štandardne vytvárajú dátovú štruktúru nazývanú parsovací strom alebo syntaktický strom, ktorá zaznamenáva, ako parser rozpoznal štruktúru vstupnej vety a jej zložkových fráz.

Obrázok 2: Fungovanie ANTLR

Najprv sa spustí lexer a rozdelí vstup na tokeny. Potom sa prúd tokenov odovzdá analyzátoru, ktorý vykoná všetko spracovanie. ANTLR nám vygeneruje strom ParseTree, ktorý potom môžeme spracovať pomocou ParseTreeWalker.

**Token** - postupnosť znakov, ktorá predstavuje zmysluplnú časť vstupu: zvyčajne slovo alebo interpunkčné znamienko, oddelené lexikálnym analyzátorom.

**Lexer** – Program, ktorý vykonáva tokenizáciu (proces zoskupovania znakov do slov alebo symbolov).

**Parser** - Program, ktorý rozpozná jazyk, sa nazýva parser alebo syntaktický analyzátor.

## Transakcie

Transakcie budú riešené prostredníctvom kontroly verzií systému Git, ktorý poskytuje robustný systém verzií pre zmeny vykonané v databáze. Na realizáciu tohto procesu sa po vytvorení databázy inicializuje nový repozitár Git a každá operácia zápisu bude následne commitovaný .

Je však nevyhnutné poznamenať, že proces transakcií nebude úplne atomický, pretože commity sa vykonajú až po tom, ako sú zmeny k dispozícii v databáze a boli zapísané do súborov.

V prípade zlyhania operácie commit sa použije tvrdý reset (hard reset) na návrat do predchádzajúceho stavu. Na optimalizáciu výkonu bude program ukladať necommitované zmeny v dávkach a zapisovať ich do súborov len pri volaní metódy commit(), čím sa zníži počet potrebných diskových operácií. Tento prístup poskytuje efektívnu metódu na sledovanie a riešenie transakcií a zároveň minimalizuje vplyv na výkon systému.

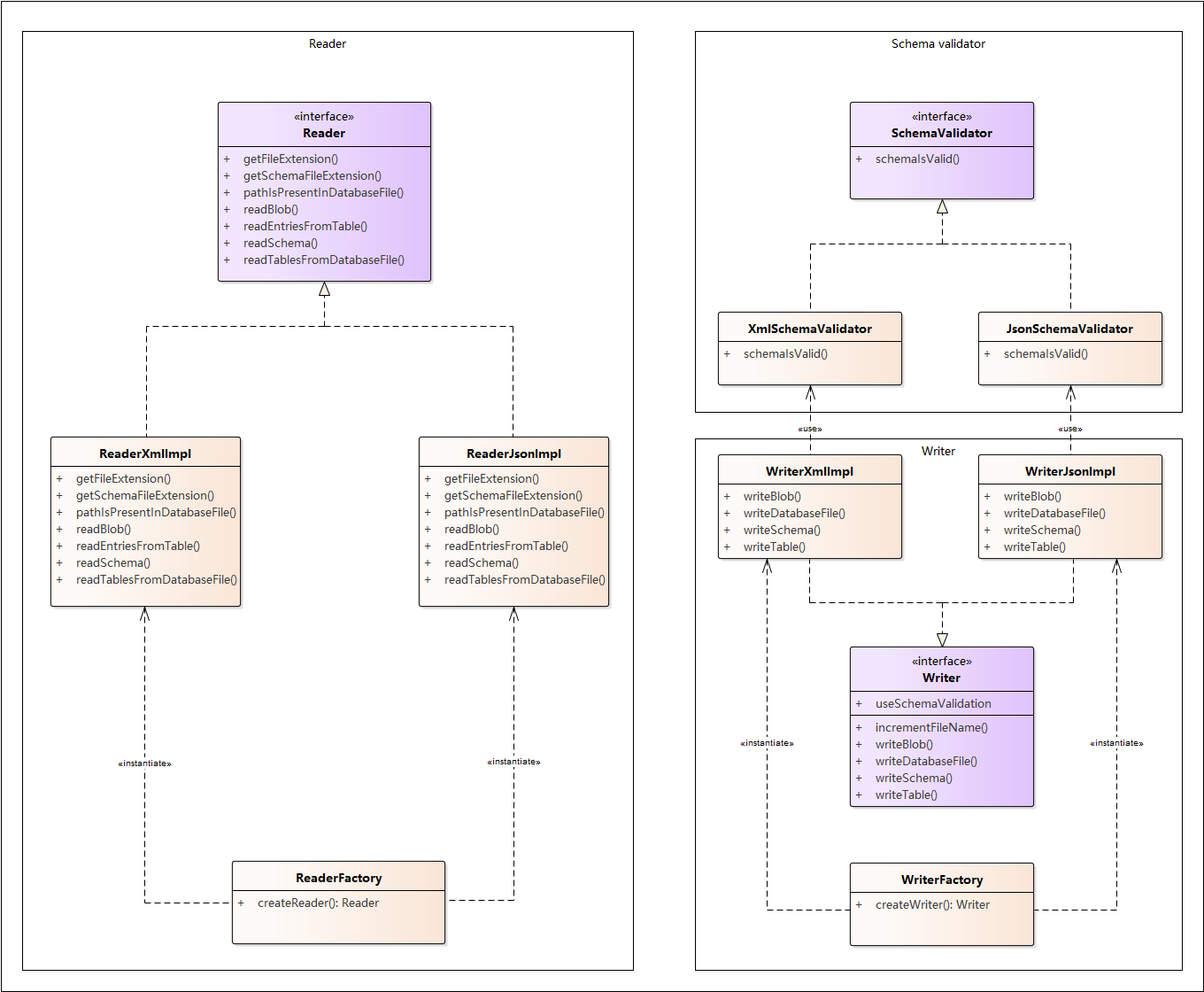
Je však veľmi dôležité zabezpečiť, aby bol repozitár Git vhodne udržiavaný a aby sa operácie odovzdávania pozorne sledovali, aby sa predišlo strate údajov alebo nekonzistentnosti.

### Commit

### Obrázok, na ktorom je diagram Automaticky generovaný popisRollback

# Implementácia

## Ľudsky čitateľný formát

Na základe analýzy sme sa rozhodli použiť formáty JSON a XML z dôvodu rýchlej serializácie, deserializácie a možnosti overiť integritu spracovávaných údajov prostredníctvom schém. Na čítanie a zápis zo súborov používame samotné triedy, ktoré implementujú rozhrania Reader a Writer. Tieto rozhrania poskytujú úplnú nezávislosť od serializačných formátov.

Triedy typu Writer sú navrhnuté tak, aby zabezpečili integritu zapísaných údajov, a jedným z posledných opatrení je validácia schémy. Tento prístup zabezpečuje, že zapísané údaje zodpovedajú očakávanej štruktúre a spĺňajú potrebné normy. Tabuľky s formátmi JSON sa validujú pomocou schém JSON, zatiaľ čo tabuľky XML sa validujú podľa schém XSD. Schémy sa automaticky generujú pri vytváraní novej tabuľky a možno ich upravovať pomocou príkazov ALTER TABLE.

## SQL Príkazy

Obrázok, na ktorom je tabuľka

Automaticky generovaný popisSQL príkazy sa parsujú pomocou ANTLR4, ktorý pre každý príkaz vygeneruje parsovací strom. Na extrakciu údajov z parsovacieho stromu sa používa vzor návštevníka (Visitor pattern). Na prenos údajov medzi parserom a ovládačom sa používajú objekty prenosu údajov implementujúci rozhranie BaseStatement, ktoré poskytujú štandardizované rozhranie na výmenu údajov a pomáhajú oddeliť tieto dve moduly.

Obrázok 3: Spojenie parsera s ovládačom

ANTLR4 poskytuje spôsob, ako zabezpečiť, aby boli príkazy spracované len vtedy, ak neobsahujú gramatické chyby. Treba však poznamenať, že na úrovni parsera sa nekontroluje správnosť údajov, napríklad či daná tabuľka existuje v databáze alebo či má konkrétny stĺpec vhodný dátový typ. Za predpokladu, že syntax príkazu je správna, sa potom odovzdá ovládaču na spracovanie.

Na dole uvedenom obrázku je znázornený parsovací strom vygenerovaný pomocou ANTLR4 pre reťazec:

 *SELECT \* FROM myTable JOIN myTable2 ON myTable.id = myTable2.id WHERE name LIKE 'Zsolti';*

Obrázok 4: Príklad parsovacieho stromu

Z reťazca je následne vygenerovaný objekt na prenos údajov typu *SelectStatement*, ktorý má nasledujúce hodnoty:

tableName=myTable,   
joinTableNames=[myTable2],   
joinTypes=[INNER\_JOIN],   
columns=[\*],   
listOfJoinColumns=[[myTable.id, myTable2.id]],   
whereColumns=[name],   
whereValues=[Zsolti],   
symbols=[LIKE],   
binaryOperators=[]

### Príkaz ako objekt na prenos údajov

Každý typ príkazu implementuje vlastné rozhranie Wrapper. Rozhrania Wrapper rozširujú rozhranie BaseStatement a ďalšie rozhrania, ktoré sa môžu vyskytovať alebo sa vyskytujú v danom príkaze. Rozhranie BaseStatement je spoločné rozhranie pre všetky typy príkazov a jeho metóda *getTypeOfStatement()* slúži na určenie presného typu príkazu.

Obrázok, na ktorom je diagram

Automaticky generovaný popisV dole uvedenom príklade si môžeme všimnúť, že trieda SelectStatement implementuje okrem rozhrania BaseStatement aj ďalšie rozhrania. Tieto rozhrania nám umožňujú obmedziť duplicity v kóde a tiež ich môžeme použiť v signatúrach metód, napríklad pri sémantickej validácii.

Úplnú hierarchiu výkazov pre všetky triedy si môžete pozrieť v prílohe v časti Hierarchia výkazov. Úplný zoznam syntaxe podporovaných príkazov nájdete tiež v prílohe v časti Podporované príkazy a ich formáty.

### Obrázok, na ktorom je diagram Automaticky generovaný popisSpracovanie príkazov

Každý typ príkazu je spojený s príslušným servisom, ktorý ho spracúva. Servis posudzuje každý atribút z hľadiska sémantickej validácie, ktorú vykonáva komponent Sémantický validátor. Ak sa príkaz považuje za neplatný, vyvolá sa výnimka SQLException a príkaz sa ďalej nespracuje.

Ak sémantická validácia prebehla úspešne, konkrétny servis odovzdá Pri operáciách, pri ktorých sa vykonáva zápis údajov, sa používa aj validácia podľa schémy. Ak je validácia neúspešná, automaticky sa zavolá metóda *rollback(),* ktorá vráti databázu do bodu, v ktorom boli údaje ešte platné. Tento prístup nám zabezpečí úplnú integritu údajov v databáze. Ak validácia podľa schémy prebehla úspešne,

### Soft parsing

Obrázok, na ktorom je diagram

Automaticky generovaný popisNa tento účel sme vytvorili rozhranie Cache, ktoré je implementované dvoma triedami, NullCacheImpl a WeakCacheImpl. NullCacheImpl nebude ukladať príkazy do vyrovnávacej pamäte, takže príkazy sa budú musieť vždy parsovať. WeakCacheImpl používa na ukladanie príkazov do vyrovnávacej pamäte WeakHashMap, kde kľúče sú reťazce sql a hodnoty sú vytvorené objekty prenosu dát.

Vďaka ukladaniu SQL príkazov do vyrovnávacej pamäte môžeme zlepšiť celkový výkon nášho ovládača, najmä pri práci s veľkým počtom príkazov. Z hľadiska optimalizácie výkonu sme zistili, že najefektívnejšie je rozlišovať príkazy na základe citlivosti na veľkosť písmen namiesto vykonávania operácií transformácie reťazcov.

## **Transakcie**

Na transakcie sa budeme používať JGit, čo je implementácia Gitu založená na jazyku Java, ktorá ponúka podobné funkcie ako Git. JGit nevyžaduje, aby bolo Git nainštalované lokálne na zariadení, kde sa bude používať náš ovládač.

JGit však ukladá údaje do pamäte a nie do súborového systému. Zmeny vykonané pomocou systému JGit sa nezapisujú okamžite na disk, ale sú uchovávané v úložisku objektových súborov, kým ich nie je možné odovzdať na disk ako súčasť transakcie.

Hoci uchovávanie zmien v pamäti môže poskytnúť väčšiu flexibilitu a možnosť experimentovať so zmenami pred ich odovzdaním, tento prístup má aj niektoré nevýhody. Jednou z hlavných nevýhod je, že ak dôjde k pádu systému alebo strate napájania pred odovzdaním zmien na disk, zmeny sa stratia. To môže byť problematické najmä vtedy, ak sú zmeny významné a nedajú sa jednoducho obnoviť. Okrem toho uchovávanie veľkých zmien v pamäti môže spotrebovať značné množstvo systémových zdrojov, čo môže mať vplyv na výkon.

Vzhľadom na tieto fakty sme sa rozhodli ponúknuť možnosť používať JGit na verzovanie a údržbu databázy. Na dosiahnutie tohto cieľa zavedieme dve rozhrania, TransactionManager a DatabaseManager, ktoré budú mať vzájomne závislé implementačné triedy. Triedy, ktoré využívajú JGit, sa budú nazývať JGitTransactionManagerImpl a JGitDatabaseManagerImpl, zatiaľ čo triedy, ktoré JGit nevyužívajú, sa budú nazývať NotVersioningTransactionManagerImpl, respektíve NotVersioningDatabaseManagerImpl. V prípade, že sa vyberú posledné triedy, metóda rollback() nebude funkčná a databáza sa v prípade poškodenia údajov nevráti do predchádzajúceho stavu. Napriek tomu sa použitím týchto tried výrazne skráti čas operácie zápisu.

Obrázok, na ktorom je diagram

Automaticky generovaný popis

## Vzťahy medzi triedami

Trieda Database predstavuje databázu, ktorá môže obsahovať 0 až n objektov Table. Má atribút url, ktorý predstavuje absolútnu cestu k databázovému súboru, ktorý obsahuje informácie o jednotlivých tabuľkách a ich schémach.

Trieda Table predstavuje databázovú tabuľku, ktorá môže obsahovať 0 až n objektov Entry a má len jeden objekt Schema. Má atribút name, ktorý predstavuje názov tabuľky, a atribút tableFile, ktorý obsahuje jej absolútnu cestu.

Trieda Schema predstavuje schému pre objekt Table. Má mapu columnsAndTypes, ktorá hovorí, aký dátový typ má daný stĺpec, a mapu notNullColumns, ktorá hovorí, či daný stĺpec môže mať nulovú hodnotu. Atribút schemaFile obsahuje absolútnu cestu k schéme.

Trieda Entry predstavuje jeden riadok v objekte Table. Má mapu columnsAndValues, ktorá zodpovedá hodnotám stĺpcov a riadkov v tabuľke.

## Konfigurácia ovládača

Ovládač ponúka celý rad konfigurovateľných možností, ktoré možno prispôsobiť konkrétnym požiadavkám.

Trieda DriverManager rozhrania JDBC API poskytuje niekoľko metód na pripojenie k databázam vrátane metódy, ktorá umožňuje pri pripojení k zdroju údajov vložiť objekt Property. Táto metóda volá metódu connect(), ktorá je implementovaná v našom programe, v rámci rozhrania Driver. Ak je objekt Property prítomný, náš ovládač ho potom spracuje a extrahuje z neho páry kľúč-hodnota. Ak je parsovanie úspešné, pomocou Factory pattern sú vytvorené rôzne triedy na základe vstupu. Ak objekt Property nebol prítomný alebo ho nebolo možné spracovať, použijeme vopred definované predvolené hodnoty.

V predvolenom nastavení je ovládač nakonfigurovaný tak, aby používal formát XML na ukladanie a prístup k súborom, ukladal príkazy SQL do vyrovnávacej pamäte, overoval súbory tabuliek podľa schém a využíval JGit ako správcu transakcií.

Ak chceme zmeniť predvolenú konfiguráciu, môžeme pri pripájaní k databáze odovzdať súbor vlastností jazyka Java. Napríklad môžeme nastaviť vlastnosť "persistence" na "json", aby sme sa prepli na formát JSON. Medzi ďalšie konfigurovateľné možnosti patrí ukladanie príkazov do vyrovnávacej pamäte, overovanie schémy a verziovanie transakcií. Na ilustráciu je v nasledujúcom kóde znázornené, ako zmeniť formát perzistencie na JSON:

final Properties properties = new Properties();  
properties.setProperty("persistence", "json");  
final Connection connection = DriverManager.*getConnection*("jdbc:jfsql:C:path/to/myDatabase, properties);

Nastavením vlastnosti "persistence" na "json" bude teraz ovládač používať formát JSON na ukladanie a prístup k súborom. Podobne môžeme nastaviť vlastnosti "statement.caching", "schema.validation" a "transaction.versioning" na "true" alebo "false", aby sme tieto funkcie povolili alebo zakázali.

Použitá literatúra

[1] K. Sharan, *Java APIs, Extensions and Libraries*. 2018. doi: 10.1007/978-1-4842-3546-1.

[2] R. M. Menon, *Expert Oracle JDBC Programming*. 2005. doi: 10.1007/978-1-4302-0029-1.

[3] TutorialsPoint, *JDBC Tutorial*. 2015. Accessed: Sep. 01, 2022. [Online]. Available: https://www.tutorialspoint.com/ebook/jdbc\_tutorial/index.asp

[4] “java.sql (Java Platform SE 7 ).” https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/sql/package-summary.html (accessed Sep. 02, 2022).

[5] Pratik. Patel and Karl. Moss, “Java database programming with JDBC,” p. 480, 1996.

[6] James H. Martin and Dan Jurafsky, *Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition*, 1st edition., no. 4. Prentice Hall, 2000. Accessed: Feb. 26, 2023. [Online]. Available: http://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/089120100750105975

[7] “Write-Ahead Logging.” https://www.sqlite.org/wal.html (accessed Dec. 10, 2022).