

UNIVERZITET U BEOGRADU
MATEMATIČKI FAKULTET



Luka B. Đorović

ANALIZA SLUČAJEVA UPOTREBE
RELACIONIH I KOLONSKI ORIJENTISANIH
NERELACIONIH BAZA PODATAKA

master rad

Beograd, 2024.

Mentor:

dr Saša MALKOV, vandredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet

Članovi komisije:

dr Ana ANIĆ, vanredni profesor
University of Disneyland, Nedodija

dr Laza LAZIĆ, docent
Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet

Datum odbrane: 15. januar 2016.

Ovaj rad posvećujem...

Naslov master rada: Analiza slučajeva upotrebe relacionih i kolonski orijentisanih nerelacionih baza podataka

Rezime:

Ključne reči: analiza, geometrija, algebra, logika, računarstvo, astronomija

Sadržaj

1	Uvod	1
2	Modeli za upravljanje podacima	3
2.1	Relacioni model	3
2.2	Kolonski-orijentisani model	5
2.3	Glavne razlike između relacionog i kolonski-orijentisanog modela	9
3	Slučajevi upotrebe	11
3.1	Opis i sadržaj eksperimenta	11
3.2	Primena u online transakcionom procesiranju (OLTP)	17
3.3	Primena u online analitičkom procesiranju (OLAP)	17
3.4	Primena u distribuiranom okruženju	18
4	Zaključak	19
	Bibliografija	20

Glava 1

Uvod

Podaci su najstabilniji deo svakog sistema. Oni su reprezentacija činjenica, konceptata jednog sistema kao i instrukcija u formalizovanom stanju spremnom za dalju interakciju, interpretaciju ili obradu od strane korisnika ili mašine. Iako kroz svoju istoriju računarstvo važi za oblast koja uvodi nove tehnologije i alate neverovatnom brzinom to nije slučaj za svaku njenu granu. Postoje oblasti koje se kroz istoriju nisu menjali, ili su se slabo menjali i proširivali. Primera za to ima puno i oni su uglavnom usko vezani za funkcionalne principe koji se prožimaju kroz računarske mreže, kompilatore, operativne sisteme, sisteme za upravljanje podacima itd.

Kada je reč o istoriji sistema za upravljanje podacima, izdvojio bih tri glavne faze: vreme pre relacionih sistema, vreme neprikosnovene vladavine relacionih sistema i nastanak alternativa relacionim sistemima pod grupnim nazivom NoSQL.

Do 70ih i nastanka relacionih sistema za upravljanje podacima, rukovanje podacima izvodilo se kroz pisanje i čitanje sa fajl sistema operativnog sistema. Rukovanje većim količinama podataka nije bilo standardizovano ni na koji način već su se konvencije uvodile na nivou organizacija. Apolo sletanje na Mesec realizovano je koristeći ovakav vid rada sa podacima, što ovaj poduhvat čini utoliko neverovatnim.

S obzirom da je ovaj vid rada sa podacima imao mnogobrojne mane, među kojima je jedan od glavnih bio težak pristup podacima, javile su se potrebe za unapređenjem. Najuspešniji je bio Edgar F. Codd ¹ koji je 1970. godine objavio rad pod imenom „A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks” kao rezultat istraživanja i sopstvenih teorija o organizaciji podataka. Kao dokaz da je

¹Edgar Frank „Ted” Codd (19 Avgust 1923 – 18 April 2003) Američki računarski naučnik

njegov model moguće implementirati pokrenut je System R, čiji je rezultat bio i pojava SQL-a (Structured Query Language) kao standardizovanog jezika za rad sa podacima. Nakon toga pojavili su se Oracle i IBM sa svojim komercijalnim proizvodima za upravljanje relacionih baza podataka. Naredni period obeležio je rad sa podacima koristeći relacioni model.

XXI vek doneo je sa sobom ubrzanu digitalizaciju, dostupnost interneta, samim tim pojavila se potreba za obradom veće količine podataka. Sve ovo je pokazalo pojedine slabosti dosadašnjih sistema zasnovane na relacionim modelima, koji nisu mogli u svim segmentima da odgovore na zahteve modernog doba. Ovi problemi obično su poznati pod grupnim imenom „problemi velikih podataka” (BigData problems). Došlo je do pojave niza novih modela i principa za čuvanje podataka, a svi pod grupnim imenom „NoSQL” (ili nerelacione) baze podataka. Sistematizovanje ogromne količine fizičkog prostora na disku na kojem se podaci mogu čuvati i kasnije koristiti, kao i fleksibilnost strukture podataka sa kojima se radi, jesu glavni aktuelni problemi tog vremena na koje su se fokusirale tehnologije nastale u NoSQL pokretu. Decenije vladavine relacionih sistema za čuvanje podataka ostavile su dubok trag u praksama rada sa podacima, i sa razlogom predstavljaju defakto standard i dan danas, te je zaočekivati postojanje doze skepse pri korišćenju tehnologija nastalih u ovoj fazi.

Kao važna grupa nerelacionih izdvajaju se kolonski-orijentisane baze podataka. One su uvele tada nekonvencionalne koncepte čuvanja podataka po kolonama. Dakle fizički na disku skladištile su se vrednosti jedne kolone jedna do druge, sa referencom na red kojem pripadaju. To sa sobom vuče razne mogućnosti za optimizaciju ali i novih pristupa modelovanja i organizacije podataka. Ovakav način skladištenja ispitavan je još davnih 70ih godina XX veka, međutim u ranim godinama XXI veka došlo je do obnove interesovanja u akademskim ali i industrijskim krugovima.

Nijedan od navedenih koncepata nije univerzalno rešenje, zato je bitno postojanje materijala koji se bave analizom slučajeva upotrebe tih tehnologija. Pored teorijske analize koja se može pronaći u relevantnim javnim dokumentacijama korisno je imati i konkretne implementacije testova čiji se rezultati mogu iskoristiti kako bi se povukle paralele u skladu sa potrebama realnih sistema.

Cilj rada iz prijave teme

[1]

Glava 2

Modeli za upravljanje podacima

2.1 Relacioni model

Opšte karakteristike

Relacioni model je najpopularniji model za rad sa podacima. On podatke kao i veze izmedju njih predstavlja kroz skup relacija. Iako kao fundamentalna ideja iza relacionog modela stoji tabelarni prikaz podataka, sto uvecava njegovu intuitivnost, korisno je imati na umu formalnu terminologiju koja se koristi u ovakvim sistemima. Svaki red tabele se naziva n-torka. Svaka kolona tabele se zove atribut. Presek reda i kolone je vrednosna celija.

Cesto se javlja dilema oko razlike izmedju tabele i relacije. Tabela je siri pojam, a da bi jedna tabela ujedno bila relacija mora ispuniti sledece uslove: presek kolone i vrste mora predstavljati jedinstvenu vrednost (datum), Sve vrednosne celije jedne kolone pripadaju istom tipu, Svaka kolona ima jedinstveno ime, ne postoje dva identicna reda jedne tabele.

S obzirom da u okviru jedne tabele ne mogu postojati dva identicna reda, jasno je da je pogodno imati nametnutu proceduru koja ne dozvoljava takvu pojavu. U slucaju relacionih modela to predstavlja superkljuc tabele. Superkljuc tabele je kolona ili skup kolona za koje se garantuje da ne mogu uzimati identicne vrednosti za vise redova jedne tabele. Minimalni skup kolona koji predstavlja superkljuc naziva se kljuc kandidat. Svaka tabela ima barem jedan kljuc kandidat za koji nijedna vrednost ne moze biti nepostojeca i taj kljuc kandidat se naziva primarni kljuc. Strani kljuc je kolona ili skup kolona cije vrednosti predstavljaju referencu na odredjeni red neke druge tabele. On igra veliku ulogu u ocuvanju integriteta

baze podataka o čemu će biti reci u nastavku.

Integritet relacionog modela

Cuvanje integriteta relacionog modela predstavlja cuvanje preciznosti i tačnosti podataka koji se čuvaju u bazi. Ono nudi mehanizme ocuvanja konzistentnosti podataka prilikom invazivnih operacija kao što su dodavanje reda, izmena reda ili brisanje reda u tabeli. Postoji više vrsta integriteta u relacionom modelu: integritet entiteta, integritet domena, integritet neposvoje vrednosti i referencijalni integritet. Integritet entiteta nalaze da se u tabelu ne može uneti red koji kao primarni ključ ima nepostojecu vrednost. Integritet domena nameće shemu po kojoj svaka kolona može uzimati vrednost iz unapred dodeljenih skupova vrednosti. Integritet nepostojee vrednosti se govori o eventualnim kolonama čije vrednosti ne mogu kao vrednost imati nepostojecu vrednost kako se ne bi narušila uspostavljena biznis logika. S obzirom da su asocijacije između relacija determinisane postojanjem ranije pomenutih strani ključeva u okviru tabele, oni igraju bitnu ulogu u ocuvanju referencijalnog integriteta modela. Referencijalni integritet nalaze da se svaki strani ključ jedne tabele mora poklapati sa nekim od primarnih ključeva uparene relacije ili u nekim slučajevima kao vrednost ima nepostojecu vrednost.

Normalizacija

Normalizacija predstavlja jasno definisan proces odlučivanja o tome koji atribut u relaciji treba da budu grupisani kako bi se izbegla pojava redundantnih podataka. Redundanti podaci zauzimaju prostor na disku i otežavaju održavanje sistema. Normalizacija je unapređjivanje logičkog dizajna sistema tako da umanjuje dupliranje podataka kao i postizanje inkonzistentosti kroz invazivne operacije nad podacima, ali ne po cenu ocuvanja integriteta baze. Teorija o normalizaciji se zasniva na konceptima normalnih formi. Određenoj relaciji se dodeljuje određena normalna forma ukoliko zadovoljava pravila vezana za tu normalnu formu. Trenutno postoji 5 definisanih normalnih formi.

PostgreSQL

PostgreSQL je trenutno jedan od naprednijih baza podataka otvorenog koda. Nastao iz POSTGRES projekta, vođenog od strane Profesora Majkla Stonebraker-a. Prolazio je kroz dosta faza, od POSTGRES-a preko Postgres95 da bi 1996.

godine dobio ime koje je i danas aktuelno a to je PostgreSQL kako bi naglasio vezu koju je uspostavio sa najnovijim mogućnostima SQL-a. [1]

2.2 Kolonski-orijentisani model

Opšte karakteristike

[2] Susret sa Big Data problemima dovelo je do potreba za tabelama koje imaju ogroman broj kolona, i ogroman broj redova u okviru tih tabela. Jasno je da nam je za potrebe različitih analitika potreban različit skup kolona. Navedena problematika predstavlja jedan od uočenih problema relacionih modela, gde je samo izvršavanje upita podrazumevalo dohvaćanje svih kolona jednog reda, gde bi se filtriranje nepotrebnih kolona izvršavalo nakon što su se sve kolone učitale u memoriju. Kolonski orijentisan model dizajniran je tako da ovakav problem izbegne i uz to donese i druga poboljšanja o kojima će biti reči u nastavku.

Kolonski orijentisan model podatke tabele ne skladišti po redovima, već po kolonama. U prevodu, sve vrednosti kolone svih redova skladište se jedna do druge, a na konkretnu vrednosnu ćeliju referiše se pomoću ključa konkretnog reda kao i kolone čiju vrednost želimo da pročitamo. Ovakav dizajn doveo je do toga da za dohvaćanje određenog skupa kolona nema potrebe da čitamo sve vrednosti tog sloga, već je dovoljno da znamo konkretan ključ tog reda kao i imena kolona čije vrednosti želimo da pročitamo.

S obzirom na bliskost podataka na disku, nameće se mogućnost kompresije podataka, a s obzirom da su ti slični podaci lokalizovani na disku nema potrebe za velikom količinom meta informacija o kompresiji, što ovaj model čini posebno pogodnim za njihovu primenu.

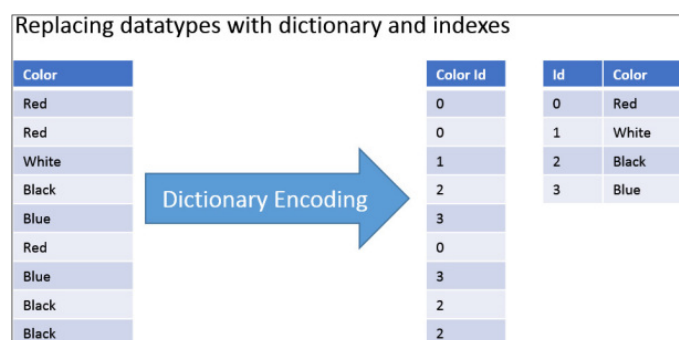
Kolonski orijentisan model kao i većina ostalih nerelacionih modela, nudi fleksibilnost sheme. To kao posledicu to da eventualna promena strukture podataka neće bitno uticati na unapred definisanu shemu, kao ni iziskivati migraciju podataka, kao što bi to bio slučaj kod relacionog modela. Osim toga fleksibilnost sheme se ogleda i u tome što je broj kolona jednog vektora neograničen, što daje dosta prostora za eksperimentisanje sa dizajnom baze. Primer toga kako ovakvo svojstvo modela može doprineti dostizanju prednosti pri analitičkom sistemu možete videti na slici SLIKA 1.

Popularni primenjivi algoritmi kompresije

[3]

Enkodiranje zasnovano na rečniku

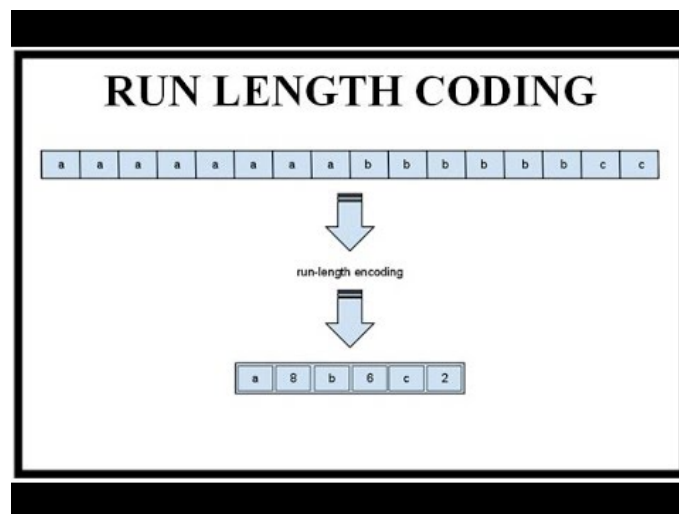
Enkodiranje zasnovano na rečniku (Dictionary based encoding) jeste tehnika kompresije podataka koja se može primeniti na vrednosti jedne kolone. Najefikasnija je nad kolonama koje imaju mali skup mogućih vrednosti. Rade tako što se u memoriji sačuvaju sve moguće vrednosti te kolone i svakoj od njih se dodeli ključ. Veličina ključa je direktno zavisna od kardinalnosti skupa vrednosti te kolone. Svaki unos ili izemna vrednosti kolone u konsultaciji sa postojećim rečnikom radi enkodiranje pristigle vrednosti, a svako dohvaćanje vrednosti radi dekodiranje sačuvane vrednosti. Ovim se izbegava smanjuje ponavljanje velikih podataka tako smanjujući potrebnu memoriju na disku. Uglavnom su pogodne primene nad kolonama sa statičkim i opisnim podacima koji se ponavljaju.



Slika 2.1: Enkodiranje zasnovano na rečniku

Enkodiranje po broju ponavljanja

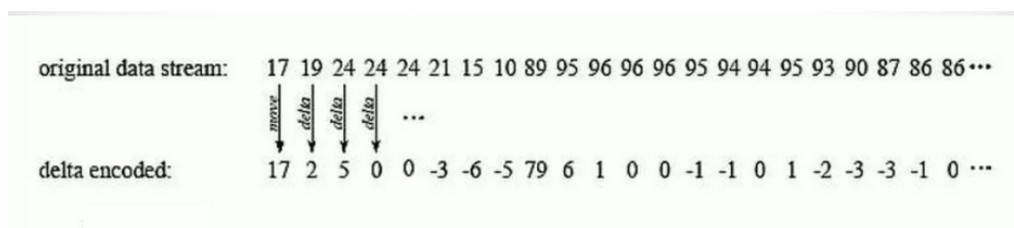
Enkodiranje po broju ponavljanja (Run Length Encoding) je jednostavan mehanizam za kompresiju podataka pogodan za kolonski orijentisane baze podataka. Funkcioniše tako što kada se nađe na vrednost koja se ponavlja, ne skladišti duplikate već sačuva tu vrednost jednom a dodatno kao meta informaciju prosledi koliko se ta vrednost ponavlja. Takav vid optimizacije najkorisnije je očigledno kada su vrednosti sortirane, a s obzirom da su vrednosti kolona u kolonski orijentisanim bazama jedna do druge to otvara prostor za ovaj vid kompresije podataka kako bi se umanjilo zauzeće prostora.



Slika 2.2: Enkodiranje po broju ponavljanja

Delta enkoding

Delta enkoding je mehanizam za optimizaciju prostora baze podataka koji se zasniva na čuvanju razlike između objekata a ne celih vrednosti. Primera za upotrebu ima dosta a jedan od najčešćih je slučaj datumskih kolona, gde će nam referentna vrednost biti neki konkretan datum, a vrednosti ostalih kolona će biti čuvane kao razlika u odnosu na njega, te je očigledna velika količina prostora koja se čuva u takvom slučaju korišćenjem ovog vida optimizacije.



Slika 2.3: Delta enkoding

HBase

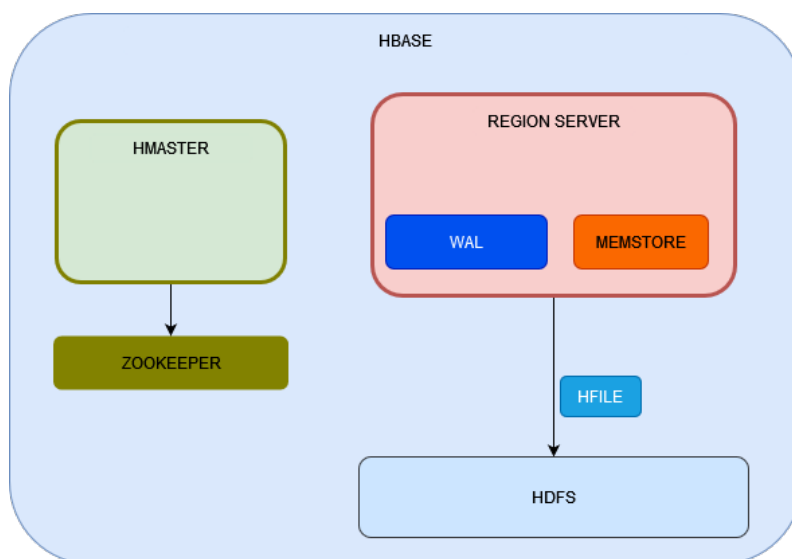
HBase je distribuirana kolonski orijentisana nerelaciona baza podataka pisana u javi. Izvršava se nad HDFS (Hadoop Distributed File System) arhitekturom. Nastala je 2007 kao prototip BigTable baze koja je modelovana u okviru Google-ovog članka 2006 [4].

Arhitektura HBase klastera sastoji se iz tri glavne komponente: HMaster, Region server, i HDFS. Ove komponente je najbolje opisati kroz interfejs koje oni implementiraju.

HDFS je sloj nad kojim radi HBase arhitektura. Osnovna organizaciona jedinica podataka koju HBase upisuje na HDFS jeste HFile. HFile može biti podeljen na više blokova u okviru HDFS-a ali o tome se on ne brine.

Region server implementira HRegionRegionInterface, odnosno implementira servise koji se bave operacijama nad podacima i održavanjem i upravljanjem regiona. Jedan Region sadrži određeni skup podataka za neke ključeve koji su u određenom rasponu vrednosti. Njega možemo zamisliti kao indeks za dohvaćanje HFile-ova sa HDFS-a. Svaka izmena koja treba da se izvrši na disku prvo se upisuje u WAL (Write ahead log), a nova izmenjena vrednost se upisuje u MemStore fajl. Kada se MemStore fajl upuni tek tada se izmene flush-uju u jedan HFile koji dalje ide na HDFS.

HMaster implementira HMasterInterface koji sadrži servise koji rade sa metainformacijama o tabelama, familijama kolona, kao i regiona. Uloga Mastera je da za svaki konkretan row id može da odredi koji region odnosno region server treba da bude pročitao kako bi se izvršila odgovarajuća operacija. Za postizanje navedene funkcionalnosti HMaster koristi Zookeeper [4] servis. Pored toga master servis ima pozadinske procese koji regulišu rad load balansa i sadržaj hbase:meta tabele.



Slika 2.4: HBase arhitektura

2.3 Glavne razlike između relacionog i kolonski-orijentisanog modela

ACID vs BASE

ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability) svojstva služe kao garancija tačnosti i konzistentnosti podataka prilikom konkurentnom pristupu.

Atomicity se može objasniti pravilom: Jedna transakcija se izvršava u celini ili se ne izvršava nijedan njen deo. U prevodu, dejstvo transakcije je nedeljivo.

Durability garantuje da će kompletirana transakcija u slučaju prekida rada sistema pre nego što su izmene reflektovane na disk, biti upamćena i izvršena nakon restarta sistema. Svaka izmena se upisuje u log fajl pre nego što je reflektovana na disk, kako bi se operacije mogle poništiti u slučaju poništavanja transakcije.

Consistency se čuva od strane korisnika. Bitno je da korisnik koji pokreće transakciju vodi računa o tome da stanje podataka ostane u konzistentom stanju.

Isolation svojstvo nalaže da se transakcije međusobno izolovane tako da izvršavanje jedne transakcije ne može uticati na izvršavanje druge. Ovo se obezbeđuje pomoću scheduler-a od strane samog sistema za upravljanje bazom podataka.

BASE (Basic Availability, Soft state, Eventual consistency) je skup svojstava koje je definisao Eric Brewer, a koja su nastala usled želje da se formalizuju svojstva koja u Big Data svetu garantuju da je baza pogodna za horizontalno skaliranje a ujedno daje vid konzistentnosti koji je neophodan.

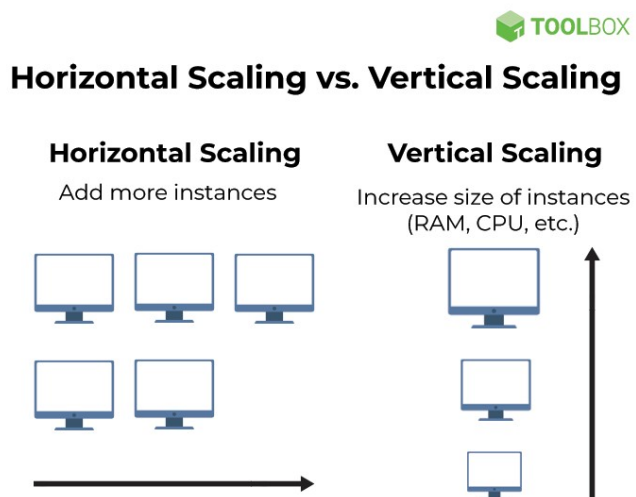
Basically available svojstvo kaže da ukoliko imamo klaster sa više pojedinačnih node-ova baze, problem sa jednim od njih neće spreciti da ostali node-ovi procesiraju zahteve i salju odgovore.

Soft state - svojstvo kaže da se stanje podataka može menjati, čak i u trenucima kada nema spoljnih komunikacija sa bazom podataka. Ovo je posledica trećeg svojstva.

Eventual consistency garantuje da će baza podataka u periodima kada nema spoljne komunikacije sa klijentima, postati konzistentna kroz neki vremenski period.

Kolonski orijentisan model načelno ne mora da ispunjava BASE svojstva, ali to obično jeste slučaj upravo zbog horizontalnog skaliranja koja ima tendenciju da ponudi.

Skalabilnost



Slika 2.5: Enkodiranje po broju ponavljanja

Glava 3

Slučajevi upotrebe

3.1 Opis i sadržaj eksperimenta

Analiza i upoređivanje slučajeva upotrebe biće realizovani na osnovu teorijskih i praktičnih izvora i istraživanja. Svaki primer će biti pracen eksperimentom koji će se sastojati od izvršavanja različitih vrsta postupaka. Kao platforma za realizaciju eksperimenata koriscen je host sa docker engine-om. Specifikacije Host-a data je na slici. Pokretanje svakog od eksperimenata je identicno. U okviru repozitorijuma nalazi se sav shell i java kod kao i uputstvo za pokretanje svakog od eksperimenta, zajedno sa deployment dijagramom.

Svakom eksperimentu dodeljen je precizno definisan kontekst radi uspostavljanja potpune kontrole okruženja u kojem se eksperiment realizuje. U svrhu definisanja konteksta eksperimenata delom su iskoriscene poznate specifikacije za benchmark bazi podataka. Konkretno za slučaj OLTP okruženja konsultovana je TPC-C specifikacija, za slučaj OLAP okruženja konsultovana je TPC-H specifikacija. Distribuirao okruženje je izuzeto.

Analiza rezultata eksperimenta sprovodi se kroz više faza. Prva faza je upoređivanje složenosti, što arhitekturne, što shematske, realizacije konkretnog slučaja upotrebe kao i da li je konkretan slučaj upotrebe moguće realizovati sa postojecom tehnologijom. Druga faza je upoređivanje efikasnosti, koja podrazumeva upoređivanje vremena izvršavanja programa. Svaka od faza će uključivati tekstualnu diskusiju, slike kao i druge graficke prikaze ukoliko su pogodni.

Kako bi se postigao dovoljan dokaz koncepta (eng. proof of concept), ali i doslednost modernom vremenu, kategorije slučajeva upotrebe koji će biti obuhvaceni su:

1. Onlajn transakciono procesiranje (OLTP)
2. Onlajn analitičko procesiranje (OLAP)
3. Primena u distribuiranom okruženju

Platforma testiranja

Kao okruženje za izvršavanje eksperimenata korišćen je docker. Oba predstavnika bice pokrenuta u okviru nezavisnih kontejnera na jednom host-u sa docker engine-om. Svaki test predstavlja jedan java program koji se izvršava na konkretnom kontejneru, kako bi se izbegao bilo kakav vid spoljne komunikacije i kako bi se stekla što preciznija slika na osnovu rezultata merenja.

Svaki test imaće određene parametrike koji se postavljaju pri pokretanju testa. Parametri su broj iteracija/transakcija koje će test izvršiti kao i broj konekcija(odnosno klijenata) koji će paralelno u zasebnim nitima obavljati svoj deo posla.

Programi za OLAP i OLTP testiranje kreiraju se nezavisno s obzirom na kontekst (drugačiji model i test logika) u kojem se izvršavaju. Za OLTP i OLAP testiranje postoji po jedan maven artifakt kojeg će koristiti i HBase i Postgres jar-ovi koji predstavljaju kostur programa za testiranje. Svrha tog zajedničkog jar-a jeste da garantuje da će oba testa imati isti kostur, te da će se HBase i Postgres testovi razlikovati jedino po implementaciji odgovarajućih utility funkcija.

S obzirom da je u OLAP testu obuhvaćen segment za merenje bulk load-a podataka iz odgovarajućih csv fajlova, taj segment je takođe uključen u kostur testiranja.

Napomena: Kako su za predstavnike izabrani PostgreSQL i HBase, za rezultate merenja u nastavke treba uzeti u obzir da implementacija navedenih koncepata nije opsta za sve Relacione sisteme kao ni za sve kolonski orijentisane baze podataka.

docker-compose.yml

```
1 services:
2   postgres:
3     container_name: postgres
4     ports:
5       - "5433:5432"
6     environment:
```

```

7      - POSTGRES_PASSWORD=postgres
8      - POSTGRES_USER=postgres
9      - POSTGRES_DB=postgresdb
10     build:
11       context: .
12       dockerfile: ./Dockerfile_postgres
13     hbase-master:
14       image: blueskyareahm/hbase-base:2.1.3
15       command: master
16       ports:
17         - 16000:16000
18         - 16010:16010
19       volumes:
20
21     hbase-regionserver:
22       image: blueskyareahm/hbase-base:2.1.3
23       command: regionserver
24       ports:
25         - 16030:16030
26         - 16201:16201
27         - 16301:16301
28
29     zookeeper:
30       image: blueskyareahm/hbase-zookeeper:3.4.13
31       ports:
32         - 2181:2181

```

OLTPBenchmarkExecutor.java

```

1  default void executeOLTPWorkload
2      (BenchmarkUtility util, BenchmarkOLTPUtility oltpUtil,
3       int transNum, int clNum) {
4
5      List<Integer> transPerClientList = new ArrayList<>();
6      int transactionsToAssign = totalTransactions;
7      int transactionsPerClient = transactionsToAssign / clNum;
8
9      for(int i = 0; i<clNum;i++){
10         transPerClientList.add(transactionsPerClient);
11         transactionsToAssign-=transactionsPerClient;
12     }
13     if (transactionsToAssign > 0) {
14         int transactionForLastClient = transPerClientList.get(

```

```

15         clNum - 1);
16         transPerClientList.set(clNum - 1,
17             transactionForLastClient + transactionsToAssign
18             );
19     }
20
21     assert clNum==transPerClientList.size();
22
23     Thread[] threads = new Thread[clNum];
24     CountdownLatch latch = new CountdownLatch(numOfClients);
25     for(int i = 0; i<clNum; i++){
26         threads[i] = new Thread(
27             new BenchmarkSingleClientExecutor(
28                 util, oltpUtil,
29                 i*transPerClientList.get(i),
30                 transPerClientList.get(i),
31                 latch)
32             );
33     }
34
35
36     long startTimestamp = System.currentTimeMillis();
37     for(int i = 0; i<clNum; i++){
38         threads[i].start();
39     }
40     latch.await();
41     long endTimestamp = System.currentTimeMillis();
42     System.err.println("Total benchmark duration: " +
43         (endTimestamp-startTimestamp));
44 }

```

OLAPBenchmarkExecutor.java

```

1 default void executeBulkLoad
2     (BenchmarkUtility util, BenchmarkOLAPUtility olapUtil) {
3     long bulkLoadStart = System.currentTimeMillis();
4     olapUtility.bulkLoad(benchmarkUtility.connect());
5     long bulkLoadEnd = System.currentTimeMillis();
6     System.out.println("Bulk load duration: " +
7         (bulkLoadEnd-bulkLoadStart));
8 }
9
10 default void executeOLAPWorkload

```

```
11      (BenchmarkUtility util , BenchmarkOLAPUtility olapUtil ,
12         int iterNum , int clNum) {
13
14         List<Integer> itsPerClientList = new ArrayList<>();
15         int iterationsToAssign = iterNum;
16         int iterationsPerClient = iterationsToAssign / clNum;
17
18         for(int i = 0; i<clNum;i++){
19             itsPerClientList.add(iterationsPerClient);
20             iterationsToAssign-=iterationsPerClient;
21         }
22         if (iterationsToAssign > 0) {
23             int iterationsForLastClient = itsPerClientList.get(
24                                     clNum - 1);
25             itsPerClientList.set(clNum - 1,
26                                 iterationsForLastClient + iterationsToAssign
27                                 );
28         }
29
30         assert clNum==itsPerClientList.size();
31
32         Thread[] threads = new Thread[clNum];
33         CountDownLatch latch = new CountDownLatch(clNum);
34         for(int i = 0;i<clNum;i++){
35             threads[i] = new Thread(
36                                     new BenchmarkSingleClientExecutor(
37                                         util , olapUtil ,
38                                         i*itsPerClientList.get(i) ,
39                                         itsPerClientList.get(i) ,
40                                         latch)
41                                     );
42         }
43
44
45         long startTimestamp = System.currentTimeMillis();
46         for(int i = 0;i<clNum;i++){
47             threads[i].start();
48         }
49         latch.await();
50         long endTimestamp = System.currentTimeMillis();
51         System.err.println("Total benchmark duration: " +
52                             (endTimestamp-startTimestamp));
```

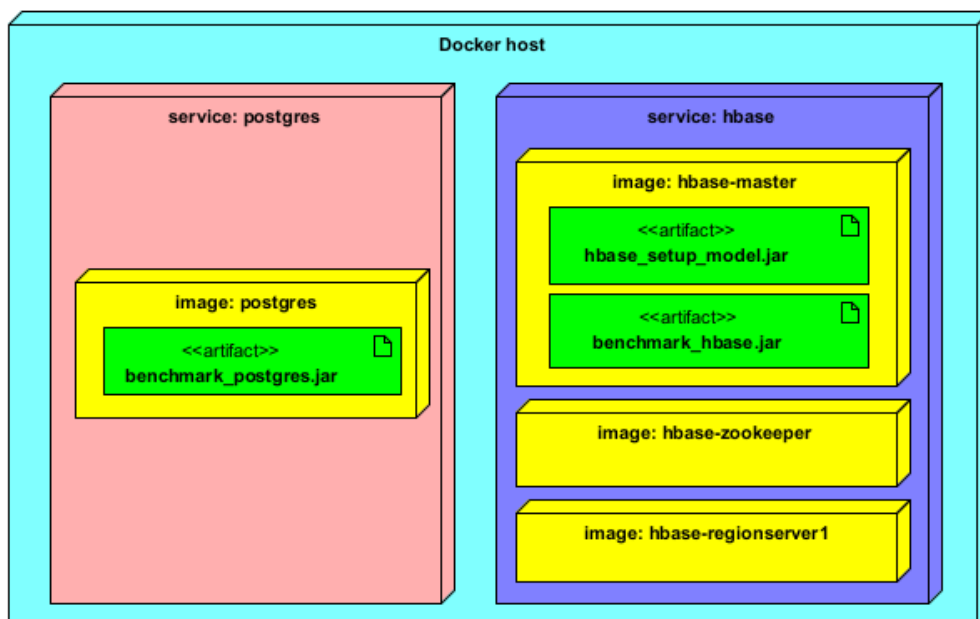
53 }

Priprema okruženja

Priprema okruženja za sprovođenje eksperimenata podrazumeva build-ovanje .jar fajlova za testiranje, pokretanje docker kontejnera , prebacivanje svih neophodnih resursa vezanih za kreiranje modela baze podataka i eventualnih resursa za bulk load vrednosti u tabele na odgovarajuće docker kontejnere.

prepareEnv.sh

```
1  #!/bin/bash
2  echo 'PREPARING ENVIRONMENT...';
3
4  rm -f ./hbase_setup_model.jar
5  rm -f ./benchmark_hbase.jar
6  rm -f ./benchmark_postgres.jar
7
8  export JAVA_HOME="$JAVA_8";
9  mvn -f ./hbase_setup_model clean compile assembly:single;
10 mvn -f ./benchmark_hbase clean compile assembly:single;
11
12 export JAVA_HOME="$JAVA_17";
13 mvn -f ./benchmark_postgres clean compile assembly:single;
14
15
16 docker-compose -f docker-compose.yml up --build -d;
17 docker exec -it hbase-master-1 sh -c "java -jar hbase_setup_model.jar";
```



Slika 3.1: Enkodiranje po broju ponavljanja

3.2 Primena u online transakcionom procesiranju (OLTP)

Online transakciono procesiranje obuhvata kratke, jednostavne, uchestale promene na relativno malom skupu podataka. Primer koji cemo koristiti jeste uopstena transakcija korisnika gde sa jednog racuna treba da se prebaci novac na drugi racun.

Specifikacija PostgreSQL modela:

Specifikacija HBASE modela:

Rezultati:

3.3 Primena u online analitičkom procesiranju (OLAP)

OLAP procesiranje sacinjeno je od skoro iskljucivo citanja podataka. Upiti koji se koriste obicno imaju parametre, imaju visok nivo kompleksnosti i visok procenat podataka kojima pristupa. Primer koji cemo koristiti jeste uopsten primer odrzavanja trgovinskog lanca koji ima skup musterija, proizvoda, dobavljacka,

narudzbina. Nas OLAP eksperiment ce se sastojati iz dohvatanja izvestaja o ukupnom kvanitetu, ceni nakon odbijanja poreza, prosečnom popustu za dati status stavke narudzbine.

Specifikacija Postgres modela:

Specifikacija HBASE modela:

Rezultati:

3.4 Primena u distribuiranom okruženju

Skalabilnost

Vertikalna skalabilnost

Horizontalna skalabilnost

CAP teorema

Glava 4

Zaključak

Bibliografija

- [1] A brief history of postgresql. 2024. on-line at: <https://www.postgresql.org/docs/current/history.html>.
- [2] Designing data-intensive applications. the big ideas behind reliable, scalable and maintainable systems. 2024.
- [3] Optimizacija kod kolonski orijentisanih. 2024. on-line at: <https://chistadata.com/compression-techniques-column-oriented-databases/>.
- [4] asdsadsada. Expected computation time for Hamiltonian path problem. *SIAM Journal on Computing*, 16:486–502, 1987. on-line at: <https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/fr//archive/bigtable-osdi06.pdf>.

Biografija autora

Vuk Stefanović Karadžić (*Tršić, 26. oktobar/6. novembar 1787. — Beč, 7. februar 1864.*) bio je srpski filolog, reformator srpskog jezika, sakupljač narodnih umotvorina i pisac prvog rečnika srpskog jezika. Vuk je najznačajnija ličnost srpske književnosti prve polovine XIX veka. Stekao je i nekoliko počasnih doktorata. Učestvovao je u Prvom srpskom ustanku kao pisar i činovnik u Negotinskoj krajini, a nakon sloma ustanka preselio se u Beč, 1813. godine. Tu je upoznao Jerneja Kopitara, cenzora slovenskih knjiga, na čiji je podsticaj krenuo u prikupljanje srpskih narodnih pesama, reformu ćirilice i borbu za uvođenje narodnog jezika u srpsku književnost. Vukovim reformama u srpski jezik je uveden fonetski pravopis, a srpski jezik je potisnuo slavenosrpski jezik koji je u to vreme bio jezik obrazovanih ljudi. Tako se kao najvažnije godine Vukove reforme ističu 1818., 1836., 1839., 1847. i 1852.