

Key-value databázové systémy

Key-value database systems

Bc. Jan Jedlička

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Krátký, Ph.D.

Ostrava, 2023

Abstrakt

Cílem diplomové práce je popsat Key-value databázové systémy, ukázat výhodu těchto systémů a představit jedny z jejich významných představitelů. Součástí práce je návrh a implementace testovacího prostředí pro testování těchto systémů s ostatními SŘBD. Práce je zakončena vyhodnocením výsledků testů vybraných databázových systémů.

Klíčová slova

NoSQL; Key-value databáze

Abstract

The aim of the diploma thesis is to describe Key-value database systems, to show the advantage of these systems and to present some of their important representatives. Part of the work is the design and implementation of a test environment for testing these systems with other DBMS. The work is finished with an evaluation of the test results of selected database systems.

Keywords

NoSQL; Key-value database

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Michalovi Krátkému, za pravidelné konzultace a poskytnutí mnoha užitečných rad a nápadů pro řešení samotné práce.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	5
1 Úvod	6
2 NoSQL Key-value databázové systémy	7
2.1 Amazon DynamoDB	7
2.2 Oracle NoSql Database	7
2.3 InfinityDB	8
2.4 Redis	9
2.5 Aerospike	10
2.6 Oracle Berkeley DB	10
2.7 Riak KV	11
2.8 Voldemort	12
2.9 Porovnání KV DB	13
2.10 Nezmíněné významné KV DB v 2022	13
3 Prostředí pro testování databázových systémů	15
4 Vyhodnocení výsledků testů	16
5 Závěr	17
Literatura	18

Seznam použitých zkratek a symbolů

NoSQL	–	No Structured Query Language
Key-value database	–	Klíč-hodnota databáze

Kapitola 1

Úvod

NoSQL Key-value (neboli Klíč-hodnota) databáze[1] je jedno z paradigmat pro uložení dat. Databáze je navržena pro ukládání, načítání a správu různých datových struktur, dnes známých jako slovníky nebo hashovací tabulky. Slovníky obsahují kolekci objektů či záznamů, které mohou opět obsahovat množinu různých polí s daty. Záznamy jsou do slovníků, či hashovacích tabulek, ukládány za pomoci klíče, který identifikuje pozici záznamu v datové struktuře a používá se k následnému vyhledávání dat v databázi.

Key-value databáze fungují velice odlišně než tradiční relační databázové systémy. Relační databáze mají předdefinovanou datovou strukturu v databázi jako sérii tabulek s dopředu definovanými datovými typy. Díky tomuto modelu může relační databázový systém provádět řadu optimalizací. Na druhou stranu Key-value databázové systémy mohou mít pro každý záznam různě definované kolekce dat s odlišnými velikostmi a počty atributů. Tato vlastnost nabízí Key-value databázovým systémům flexibilitu a možnost přiblížení se k objektově orientovanému programování. Protože Key-value databáze nevyžaduje pevně nastavené datkové typy hodnot, jako je tomu u relační databáze, tak Key-value databáze často potřebují méně paměti k uložení stejných dat, což může vést k značnému nárůstu výkonu.

Výkon a nedostatečná standardizace omezovaly Key-value databázové systémy pouze na specializovaná využití, ale díky rychlému přechodu na cloud computing dochází v posledních letech k rozšíření obecné využitelnosti NoSQL databázových systémů. Například databázový systém Redis[2] je v současnosti jedním z deseti nejlépe hodnocených[3] databázových systémů napříč relačními i NoSQL databázovými systémy.

Kapitola 2

NoSQL Key-value databázové systémy

V současné době existuje nespočet různých Key-value databázových systémů, od malých open source projektů po velké placené cloud služby. Různé systémy disponují odlišnými vlastnostmi jako je propustnost, škálovatelnost, uživatelská přívětivost skrz dotazovací jazyk a podporu aj. Dle průzkumu[4][5][3] bylo vybráno 10 aktuálně významných Key-value databázových systémů se snahou o jednoduchý popis, porovnání a konečný výběr vhodných Key-value databázových systémů se snahou otestovat vlastnosti těchto systémů.

2.1 Amazon DynamoDB

Amazon DynamoDB[7] je v současné době největší a nejvyžívanější Key-value databázový systém. Jedná se o placený serverless cloud systém s odezvou v řádu jednotek mikrosekund a využitím v oblastech jako je web tech, IoT, mobile a gaming. DynamoDB je plně a automaticky spravovatelná, multi master databáze zaměřená na vysoké využití horizontální škálovatelnosti. Unikátní primární klíče umožňují identifikaci jednotlivých záznamů v tabulkách a sekundární index zlepšuje dodazovací flexibilitu. Primární klíč je jako vstup do hashovací funkce a výsledný hash nám udává fyzickou pozici uloženého záznamu. DynamoDB poskytuje silnou konzistenci na čtení hodnot od posledních aktualizací. Atomické čítače umožňují automatické změny hodnot číselných atributů. Využívá TTL pro prošlé záznamy v tabulkách. Archivace dat je umožněna díky full backupu. Konzolové API pro správu databáze. Amazon DynamoDB má i VPC pro soukromou komunikaci bez potřeby využití internetu.

2.2 Oracle NoSql Database

- vhodná pro velké objemy dat a nízkou odezvu
- velký počet storage uzlů pro lepší výstup a kapacitu uložení

- díky DB Java Edition high-availability storage engine
- single master, multi replica - vysoká dostupnost a nízká chybovost
- při chybě na masteru je jedna z replik automaticky prohlášena za nový master
- grafová databáze
- integrace v různých Oracle a Open Source aplikacích
- spolehlivá a flexibilní správa konfigurace skupiny uzlů
- škálovatelná se spolehlivostí pro poskytnutí správy všech dat pro zajištění spolehlivosti
- uzly a hrany v grafu reprezentují entity které vytvářejí vztahy a propojení
- sdílený systém, uniformně alokuje data okolo ostatních částí skupin
- storage uzly jsou replikované pro udržení konzistence
- obsahuje SQL Query s jazykem pro import, export a přenos dat mezi různými Oracle NoSQL databázemi
- Failover, SwitchOver, Bulk Get API, Off Heap Cache a podpora Big Data SQL a Apache Hive integration

2.3 InfinityDB

- Nestable Multi-value, může reprezentovat stromy, grafy, Key/Value mapy, dokumenty, velká řádková pole, tabulky
- ACID pro vlákna, ACD pro bulk operace
- jednoduché API, instantní produktivita developerů
- dynamický pohled dotazů (set logic views, delta views, ranges)
- samostatná administrace, jeden soubor (bez konfiguračních souborů, logů, dočasných souborů, upgrade skriptů a DBA)
- není potřeba dělat čištění junk souborů po operacích když zde nejsou žádné zanechány
- runtime schema evolution (pro dopřednou a zpětnou kompatibilitu)
- all-Java db pro servery, pracovní stanice, ruční zařízení

- protokol robustní vnitřní uložení pro vytrvání na požádání nebo rozdělení cache na disk pro velké množství dat
- single data file, aktuální, bezpečný, korektní a využitelný pro každý případ (je designovaný pro použití jednoho souboru)
- bez zotavení na základě logu, restart a zotavení je vždy okamžité
- kombinace jednoho souboru a instantního zotavení nevyžaduje administraci db
- prostor pro uložení strukturovaných, polostrukturovaných a nestrukturovaných dat, tento jednoduchý model umožňuje ukládání stromů, grafů apod.
- možnost využít In-Memory-Only db která nechá všechna data v cache, nebo naopak se data ukládají normálně do souboru, je možnost si vybrat bez změny kódu
- přístup k datům v cache je plně více vláknový
- data která nejsou často využívána jsou stránkována na disk

2.4 Redis

- in-memory uložení pro datové struktury, využívána jako db, cache nebo zprostředkovatel zpráv
- můžeme jednou za čas ukládat pravidelně data na disk, nebo provádět logování při provádění operací (nemusíme nic ukládat a mít čistě in memory db)
- podporuje datové struktury jako stringy, hashe, listy, množiny, bitmapy, hyperloglog a geo-spatial indexy
- Keyspace notifikace dovoluje klientům odebírat Pub/Sub kanály
- setříděné množiny pro vytváření indexů dle ID nebo jiného číselného atributu
- Geo API pro dotazy na souřadnice nebo rádiusy
- Radius hashing ukládá data jako klíč a mapu
- Single-rooted replikovaný strom
- API pro populární používané jazyky
- obsahuje transakce, lua skripty a různé úrovně trvání na disku
- atomické operace (rozšíření stringu, přidání prvku do listu atp.)

- podpora trivial-to-setup master-slave asynchronního replikování
- rychlá neblokující se prvotní synchronizace, automatické znovu připojování se znovu synchronizací na netsplit
- skvělé využití pro Key = hash a Value = velký json objekt

2.5 Aerospike

- architektura hybrid memory
- internet scale, odhadovatelná a vysoká výkonost
- korektnost, silná konzistence, nízká cena, lineární škálovatelnost
- real-time rozhodování na velké, stále aktualizované db
- dynamická optimalizace pro optimální využití zdrojů
- server-side clustering
- bezpečnost na transportní vrstvě
- banking, telekomunikace, adtech, gaming
- customer deployment s zero downtime
- transakce v milisekundách
- výběr in-memory storage (cache sessions) nebo SDD disk storage (pro trvanlivost dat) bez kompromisů ve výkonnosti
- silný query jazyk, vlastní vytvořitelné agregační funkce pomocí Lua jazyku (flexibilní pro agregační algoritmy)
- schema-less, sets/bins mohou být přidány za běhu (maximální flexibilita pro aplikace)

2.6 Oracle Berkeley DB

- knihovna pro službu key-value db
- čistě in-memory db
- ultra-low odezva, škálovatelná, vysoce výkonná
- velice dostupná, tolerance chybivosti

- B-stromy, fronty, hash data indexy
- obnovitelné ACID transakce, více úrovní izolace (včetně MVCC)
- rozdělení dat dle key ranges
- možnost komprese záznamů
- jednoduché volání API pro přístup k datům a nastavení db
- stavební části pro db od lokálního uložště po world-wide distribuovanou db (od KiloBytů po PetaByty)
- data uložená v XML, SQL (když není potřeba tak se využívá právě KeyValue uložště), Java Objekty
- podpora moderních programovacích jazyků (C++, C#, Java, Python atp.)
- Single master, multi replica, vysoce dostupná konfigurovatelnost db
- repliky umožňují čtecí škálovatelnost, rychlý fail-over, hot-standby a další distribuované konfigurace dodávající podnikové prostředky v malém, vestavěném balíčku

2.7 Riak KV

- distribuovaná kv db, pokročilé lokální a multi-cluster replikování
- garance čtení a zápisu i při selhání HW nebo síťových oddílů
- bez konfliktů replikované datové typy (CRDTs), flags, registry, čítače, množiny a mapy
- konfigurace aktivního clusteru, poskytování dat pro klienty díky nízké latenci z nejbližšího data centra
- dostupné zóny, multi cluster repliky a redundance dat v geografickém regionu
- flexibilní datový model bez předdefinovaného schématu
- vylepšené logování chyb a reporty
- automatická komprese dat pomocí Snappy kompresní knihovny
- vhodná pro ukládání velkého množství nestrukturovaných dat
- pro big-data aplikace, ukládání dat z připojených zařízení a replikování dat do okolí
- automatická distribuce dat skrz cluster, pro robustnost, výkon

- master-less architektura, vysoká dostupnost, téměř lineární škálovatelnost za využití snadného přidání HW kapacity bez nutnosti mnoha operací
- nízká latence, vhodná pro chat/messaging aplikace
- možnost zpracování dat pro získání užitečných závěrů a akceschopných informací
- design pro horizontální škálovatelnost s komoditním HW, jednoduché pro rozšíření objemu dat bez potřeby vytváření komplexního sdílení
- bez vnucování restrikcí na hodnoty, session data mohou být enkódována mnoha způsoby a nevyžadují změnu schématu
- během nejvyšší zátěže nezhoršuje zápis a horizontální škálovatelnost, uživatelé jsou obslouženi bez problémů
- dobrý pro soukromé, veřejné i hybridní cloud nasazování

2.8 Voldemort

- distribuovaná kv db založena na Amazon DynamoDB
- automatická replikace dat skrz více serverů
- automatické rozdělování dat mezi servery, každý server obsahuje pouze část z celkových dat
- nastavitelná konzistenčnost
- transparentní ošetřování chyb serverů
- zapojitelný storage-engine (MySQL, Read-Only) a serializace (Java Serialization, Thrift, Avro)
- verzování dat pro maximální integritu i během poruch
- každý uzel je samostatný a nezávislý, žádný centrální řídicí uzel nebo uzel řídicí řešení chyb
- dobrá výkonost na jeden uzel, 10-20 tisíc operací za sekundu (1 op. za 50 mikro sekund) dle HW, sítě, systému disku atp.
- podpora zapojitelné strategie pro rozpoložení dat, pro možnost distribuce dat skrz data centra která jsou mezi sebou geologicky velice vzdálená
- využívá JMX pro zlepšení viditelnosti pro interní monitorování a validaci dat
- In-Memory caching pro eliminaci oddělených částí cache, jednoduché a rychlé in-memory tenstování (unit testy)

- horizontální škálování čtení i zápisu
- API rozhoduje o replikování a místě ukládání dat, různé strategie pro specifické aplikace
- široké možnosti pro klíče i hodnoty díky serializaci, listy a tuply s pojmenovanými poli
- JSON data model pro serializaci ale v kompaktním bytovém formátu, typová kontrola dat dle očekávaného schématu
- hashovatelné schéma, vyhledávání dle primárního klíče a možnost modifikace jednotlivých hodnot
- jednoduchá distribuce skrz stroje protože data mohou být rozdělována dle primárních klíčů
- dostupnost a bezpečnost jednotlivých oddílů při vysoké propustnosti

2.9 Porovnání KV DB

Název	Správa	Škálovatelnost	Odezva	Zotavení
Amazon DynamoDB	automatická, plně spravovatelná	vysoká, horizontální	mikrosekundy	logy, záloha, automatické obnovení
Oracle NoSql DB	nízká	horizontální	milisekundy	replika je prohlášena za master
InfinityDB	jeden soubor vším	nízká	milisekundy	bez logů, okamžité ale ztrácíme data
Redis	plná	horizontální	milisekundy	z logů (logování snižuje výkon)
Aerospike	plně spravovatelná	lineární	milisekundy	logy, záloha
Oracle Berkeley DB	velká	horizontální	mikrosekundy	repliy
Riak KV	vysoká	horizontální, téměř lineární	milisekundy	multi cluster repliky, logování
Voldemort	vysoká	horizontální	milisekundy	repliky

2.10 Nezmíněné významné KV DB v 2022

- MongoDB

- Couchbase
- Azure Cosmos DB

Kapitola 3

Prostředí pro testování databázových systémů

TODO

Kapitola 4

Vyhodnocení výsledků testů

TODO

Kapitola 5

Závěr

TODO

Literatura

1. *Key-value database* [online]. 2022. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Key%E2%80%93value_database.
2. *Redis* [online]. 2022. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://redis.io/>.
3. *DB-Engines Ranking* [online]. 2022. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://db-engines.com/en/ranking>.
4. *Top NoSQL Key Value store Databases: Predictiveanalyticstoday* [online]. 2022. [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-sql-key-value-store-databases/>.
5. *Best Document Databases: G2* [online]. 2022. [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://www.g2.com/categories/document-databases>.
6. *How do NoSQL databases work? Simply Explained! youtube* [online]. 2022. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=0buKQHokLK8>.
7. *Amazon DynamoDB* [online]. 2022. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://aws.amazon.com/dynamodb/>.