

# Napredni algoritmi i strukture podataka

Segmentirani log, Brisanje delova loga, Izmene sa više klijenata



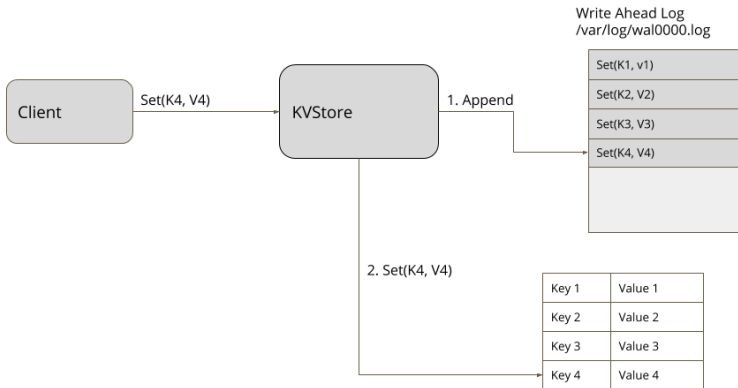
**Univerzitet u Novom Sadu**  
**Fakultet Tehničkih Nauka**

## Kratka rekapitulacija

- ▶ WAL deluje kao rezervna kopija na disku za memorijsku strukturu tako što vodi evidenciju o svim operacijama nad tom strukturom
- ▶ U slučaju ponovnog pokretanja, memoriska struktura se može u potpunosti rekonstruisati ponavljanjem operacija iz WAL-a
- ▶ WAL koristi isključivo sekvencijalne I/O operacije za skladištenje podataka na disku
- ▶ WAL kao struktura podatka, direktno se oslanja na strukturu zasnovanu na log-u

- ▶ Podatke u WAL možemo da dodamo, izmena nije dopuštena kao ni brisanje
- ▶ Izmjena ili brisanje nekog podatka rezultuje novim zapisom u WAL
- ▶ WAL je *append-only* struktura, podaci se uvek dodaju na kraj
- ▶ WAL koristi mehanizam za proveru da li su zapisi ispravni prilikom učitavanja u memoriju

- ▶ WAL koristi baferisani I/O, da bi sprecio veliki broj operacija ka disku
- ▶ Za ovo se mogu koristiti sistemski pozivi — mmap
- ▶ WAL može da čuva informacije o transakcijama koje su se desile
- ▶ Ovo je bitno, zato što za svaku transakciju, sve operacije se **moraju** izvršiti ili se transakcija odbacuje



© 2019 ThoughtWorks

(Martin Fowler Write-Ahead Log <https://martinfowler.com/articles/patterns-of-distributed-systems/wal.html>)

Format koji ćemo mi koristiti biće sličan RocksDB-u, ali malo uprošćen zbog jednostavnosti rada i naših potreba

```
+-----+-----+-----+-----+-----+...+--+...--+  
|  CRC (4B)  | Timestamp (16B) | Tombstone(1B) | Key Size (8B) | Value Size (8B) | Key | Value |  
+-----+-----+-----+-----+-----+...+--+...--+
```

CRC = 32bit hash computed over the payload using CRC

Key Size = Length of the Key data

Tombstone = If this record was deleted and has a value

Value Size = Length of the Value data

Key = Key data

Value = Value data

Timestamp = Timestamp of the operation in seconds

- ▶ WAL zapisuje svoj sadržaj na hard disk
- ▶ Moguće je da se desi oštećenje zapisa
- ▶ CRC je jedan standardan način da nekako označimo sadržaj prilikom zapisa u WAL — *checksum*
- ▶ Proveriti jedinstvenost zapisa na promene prilikom čitanja podatka
- ▶ Ako oznaka nije ista, naš zapis nije više validan — došlo je do problema
- ▶ Ako jeste, možemo nastaviti sa radom
- ▶ Postupak ponoviti za svaki zapis unutar WAL-a

## Write Ahead Log - Problem 1

Implementirali ste WAL mehanizam, ali ste ustanovili da on kreće da raste nekontrolisano, i kao takav počinje da bude težak za ikakvu obradu — pojedinačan WAL file počinje da bude usko grlo sistema.

Možemo li ovo poboljšati, ideje :) ?



## Segmentirani Log

- ▶ WAL radi svoj posao prilično lepo — radi ono što mu je namena i ništa više
- ▶ To dovodi do problema — jedna datoteka WAL-a može da raste nekontrolisano i postane usko grlo, pri pokretanju
- ▶ Možemo brisati starije informacije, to je jedno rešenje
- ▶ Starije operacije nam više nisu potrebne
- ▶ **ALI** ta operacija čišćenja na jednoj ogromnoj datoteci je teško implementirati
- ▶ Može blokirati sistem (npr. GC u Javi)

- ▶ Možemo da nekako probamo da podelimo WAL datoteku
- ▶ Jedan WAL možemo podeliti u više segmenata
- ▶ Za svaki segment možemo da specificiramo veličinu
- ▶ Datoteke segmenata se skladište na disk nakon nekog definisanog praga
- ▶ U memoriji možemo da čuvamo samo zadnji segment
- ▶ Ovo su neke od standardnih ideja kako da rešimo problem — *divide and conquer* princip

Na primer RocksDB (Netflix), koristi veličinu zapisa, tj. svaki segment je iste veličine

```
+-----+-----+-----+-----+--- ... ---+  
| CRC (4B) | Size (2B) | Type (1B) | Log number (4B) | Payload |  
+-----+-----+-----+-----+--- ... ---+
```

CRC = 32bit hash computed over the payload using CRC

Size = Length of the payload data

Type = Type of record

(kZeroType, kFullType, kFirstType, kLastType, kMiddleType )

The type is used to group a bunch of records together to represent blocks that are larger than kBlockSize

Payload = Byte stream as long as specified by the payload size

Log number = 32bit log file number, so that we can distinguish between records written by the most recent log writer vs a previous one.

Jedan WAL možemo podeliti u više segmenata...

Gde da čuvamo segmente, ideje :) ?

## Segmentacija loga - lokacija segmenata

- ▶ Segmente možemo da čuvamo na različitim mestima — nije baš praktično
- ▶ Segmente možemo da čuvamo na jednom mestu – može biti praktično
- ▶ Ako se odlučimo za drugu opciju, naš WAL treba da zna **samo** putanju do direktorijuma koji čuva segmente
- ▶ Ovaj direktorijum obično nosi naziv *wal* — gle čuda :)
- ▶ Ova ideja se može pokazati korisnom malo kasnije...

- ▶ Kada se WAL pokrene, on treba da preskenira *wal* direktrijum, i da pokupi lokacije segmenata
- ▶ Segmenti neće biti učitani u memoriju odmah
- ▶ Iz praktičnih razloga možemo da učitamo samo poslednji segment
- ▶ Ideja iza ovoga jeste brži pristup — pretpostavka: možda su podaci koje tražimo relativno skoro zabeleženi (imamo sreće)

Kada se WAL pokrene, on treba da preskenira *wal* direktrijum, i da pokupi lokacije segmenata. Segmenti neće biti učitani u memoriju odmah...

Pa šta onda da učitamo, ideje :) ?

- ▶ Postoji nekoliko strategija
- ▶ Jedna opcija je da pokupimo lokacije (putanje) do segmenata
- ▶ Ovo radimo da bi mogli lakše da im pristupimo — nema potrebe da ponovo skeniramo *wa/* direktorijum
- ▶ **ALI** vvek treba da znamo redosled segmenata!
- ▶ Ovo nam pomaže da znamo šta smo pročitali kada radimo pretragu



Uvek treba da znamo redosled segmenata...

Kako ovo postići, ideje :) ?

## Segmentacija loga - imenovanje segmenata

- ▶ Segmentacijom WAL-a moramo obezbediti jednostavan način za mapiranje offset-a WAL-a (ili rednih brojeva) u segmente
- ▶ Ovo se može uraditi na nekoliko načina
- ▶ Na primer, ime svakog segmenta se dobija spajanjem unapred poznatog prefiksa (npr wal) i offeta (ili rednog broja segmenta) — npr: wal\_0001.log
- ▶ Ako je potrebno da pročitamo neki segment, moramo ga naći po identifikatoru na disku, i pretražiti sapise u njemu

## Učitavanje segmenata

- ▶ WAL obično ima specijalizovan folder koji čuva sve segmente
- ▶ Kada se WAL pokreće, potrebno je da preskeniramo taj folder i da vidimo koliko segmenata ima
- ▶ Nakon toga, možemo da formiramo strukturu unutar WAL-a sa putanjama i offset-ima za vaki segmet, radi lakšeg kasnijeg rada i pronalaska
- ▶ U memoriju WAL-a, umožemo učitati samo poslednji segment
- ▶ Poslednji segment možemo i dodatno markirati — dodati marker *\_END*

Format koji mi koristitimo sličan je RocksDB-u, ali malo uprošćen, znači mi možemo da definišemo veličinu segmenta kako nama odgovara

```
+-----+-----+-----+-----+-----+...+--+...--+
|  CRC (4B)  | Timestamp (16B) | Tombstone(1B) | Key Size (8B) | Value Size (8B) | Key | Value |
+-----+-----+-----+-----+-----+...+--+...--+
```

CRC = 32bit hash computed over the payload using CRC

Key Size = Length of the Key data

Tombstone = If this record was deleted and has a value

Value Size = Length of the Value data

Key = Key data

Value = Value data

Timestamp = Timestamp of the operation in seconds

Kako segmentirati naš uprošćen WAL format, ideje :) ?

## Segmetacija - mogućnosti

- ▶ Prag možemo definisati na nekoliko načina
- ▶ Po veličini
- ▶ Po broju zapisa
- ▶ Po transakcijama
- ▶ ...

## Uporediti

- ▶ Ako segmente podelimo na istu veličinu, onda smo mi dužni da višak podataka prebacimo u naredni segment
- ▶ Dužni smo da mi vodimo računa o ovome, i da to ispravno implementiramo u algoritam.
- ▶ Prednost, sistemi koji koriste segmente iste veličine mogu da se lakše optimizuju
- ▶ Ako definišemo da je segment različite veličine, lakše je za implementaciju, ali optimizacija je teža
- ▶ Ali možemo da imamo datoteku za recimo svaku transakciju
- ▶ To nas dovodi do toga da imamo dosta malih segmenata na disku — zauzimaju prostor

## Brisanje delova loga

- ▶ Prethodnom idejom rešili smo problem performasni našeg WAL-a
- ▶ Velika datoteka neće više biti uskor grlo sistema
- ▶ Ali sada možemo dobiti jako puno malih datoteka na disku
- ▶ Ako to ne rešimo, imaćemo problem da će male datoteke zauzeti sav disk!
- ▶ Rešimo jedan problem, pojavi se drugi :(



## Write Ahead Log - Problem 1

Implementirali ste WAL mehanizam, i rešili ste problem uskog grla, ali sada ima dosta datoteka. Kako da elimišemo datoteke koje više nisu od važnosti za wal

Kako ovo rešiti, ideje :) ?

## Low-Water Mark

- ▶ Treba nam mehanizam koji će reći WAL mašineriji koji deo segmenata je bezbedno obrisati
- ▶ WAL zna putanju do *wal* direktorijuma, odakle da briše segmente — ova odluka se pokazala korisna :)
- ▶ *Low-Water Mark* ideja daje najniži indeks ili **low water mark**, pre koga se segmeti mogu obrisati
- ▶ Kratko rečeno, to je indeks u WAL-u unapred definisan, koji pokazuje koji deo WAL-a može da se obriše
- ▶ Uglavom možemo obrisati sve osim poslednjeg segmenta

- ▶ Ako ovaj mehanizam radi u isto vreme kada i WAL, može doći do problema
- ▶ Zaustavićemo WAL mašineriju da bi obrisali segmente (Java GC)
- ▶ Ovaj mehanizam se uglavnom pokreće kao nezavisan proces.program (ili nit više o tome naredni semestar :)))
- ▶ Dakle, potreban je mehanizam koji neće zaustaviti rad WAL-a, ali već koji će u pozadini obrisati nepotrebne segmente
- ▶ U velikim sistemima baza podatka, ovo može da se radi kada se dešava *snapshot sistema*, zarad dodatne sigurnosti og greške i otkaza

## Izmene sa više klijenata

- ▶ Do sada smo WAL posmatrali samo kao sistem koji ima jednog klijenta
- ▶ U sistemima baza podataka to je (uglavom) slučaj — baza je klijent za WAL
- ▶ Ali WAL se može koristiti i za druge aplikacije
- ▶ Sistemi zasnovani na WAL-u i log-u su jako popularni u zadnje vreme
- ▶ Tada možemo imati više korisnika koji nešto pišu/čitaju

- ▶ Ako ne vodimo računa, podaci mogu biti nekonzistentni
- ▶ Jedan klijent može da obriše ili promeni informacije drugog
- ▶ WAL može da se sačuva informacije u pravom redosledu, ali ne mora
- ▶ ...

## Write Ahead Log - Problem 3

Kako da dodajemo ili menjamo informacije u WAL-u, a da informacije i dalje budu konzistentne?

Kako ovo rešiti, ideje :) ?

## Serijalizacija posla

- ▶ Rešenje je relativno jednostavno
- ▶ Možemo napraviti red čekanja, i u njega dodavati poslove
- ▶ WAL će povremeno kupiti informacije iz ovog reda i upisivati ispravno kako su se oni dešavali
- ▶ Ovaj proces se još naziva i *serijalizacija* posla ili red čekanja
- ▶ Prednost ove ideje je što klijent brže dobija odgovor nazad, i može da nastavi sa poslom
- ▶ **ALI** uvek treba razmisliti o trajnosti podataka, da li i taj red treba da se perzistira na disk

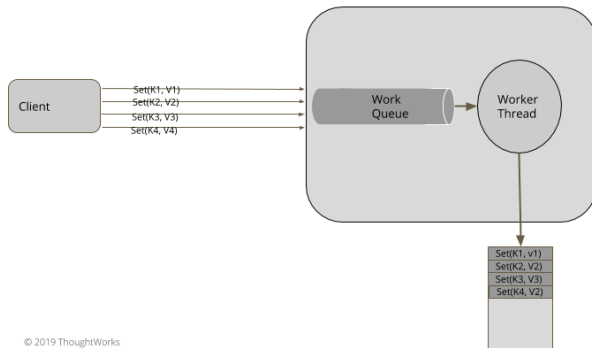
## Write Ahead Log - Problem 4

Uvek treba razmisliti o trajnosti podataka, da li i taj red treba da se perzistira na disk?

Ideje :) ?



Kratak odgovor bi bio, zavisi od tipa aplikacije i okruženja u kom se izvršava :)



(Martin Fowler Singular Update Queue

<https://martinfowler.com/articles/patterns-of-distributed-systems/singular-update-queue.html>)

## Dodatni materijali

- ▶ Write-Ahead Log for Dummies (nije uvreda :))
- ▶ Write Ahead Log Martin Fowler
- ▶ Database Internals: A Deep Dive into How Distributed Data Systems Work
- ▶ Read, write and space amplification
- ▶ ARIES/NT: A Recovery Method Based on Write-Ahead Logging for Nested Transactions
- ▶ Linux mmap OS call
- ▶ Exploring mmap using go

## Write Ahead Log - Pitanja

Pitanja :) ?