SODOBNE NERELACIJSKE PODATKOVNE BAZE (NOSQL)

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ RI IN UI, 3. LETNIK
MAGISTRSKI ŠTUDIJ RI

Matjaž Kukar, 2023/24

Vsebina

- problemi relacijskih podatkovnih baz (teoretični in praktični)
- nerelacijske podatkovne baze, NoSQL

- MongoDB (dokumentni SUPB)
  - namestitev
  - delo z dokumenti
  - iskanje
  - posodabljanje
  - vgnezdeni dokumenti
  - kurzorji
  - indeksiranje
- Neo4j (grafni SUPB)
  - namestitev
  - delo z grafi
  - iskanje

Uvod

"Facebook now has more than 1.8 billion monthly active users. Its data storage is more than 300 petabytes. Every 60 seconds on Facebook:

- *510 comments are posted*
- *293,000 statuses are updated*
- *136,000 photos are uploaded"*

"Twitter now has more than 320 million active users, sending > 500 million tweets every day"

"Webscale" aplikacije

- veliko podatkov
- veliko istočasnih uporabnikov
- veliko zahtevanih obdelav
- časovno pogojene obremenitve (Facebook torek in četrtek +20%)

So relacijske baze primerne za takšna bremena?

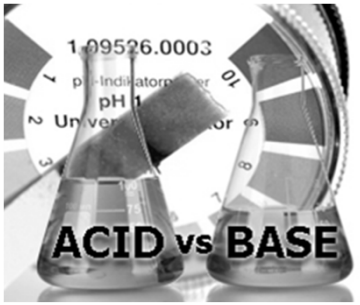
Problemi z resursi - možne rešitve

- **vertikalno skaliranje (scaling up):** nadgradnja virov z zmogljivejšimi
  - kje je meja? cena?
- **horizontalno skaliranje (scaling out):** porazdelitev podatkov po več strežnikih
  - master-slave: pisanje se izvaja na glavnem strežniku, branja se lahko izvajajo iz sekundarnih baz (problem - konsistentnost)
  - deljenje podatkov (partitioning, sharding): razdelitev podatkov v podmnožice, boljše skaliranje, vendar izguba možnosti izvedbe stikov med podatki in referenčne integritete
- **druge možne rešitve**
  - replikacija cele baze v več "master" baz,
  - izvedba brez stikov – denormalizacija (stiki so eno od ozkih grl),
  - hranjenje majhnih baz v primarnem spominu,
  - nerelacijske rešitve?

NoSql

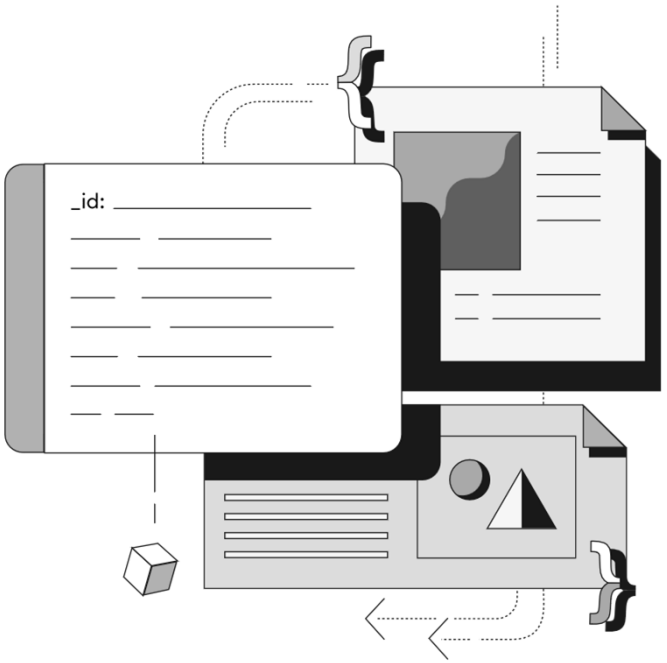
- **relacijske baze**: *one size fits all*
- **ozka grla**
  - Stične operacije
  - Konsistentnost podatkov v PB pri sočasni uporabi - ACID

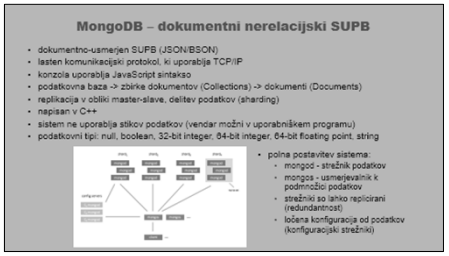
- **nerelacijske baze**: *prilagojene zbirke podatkov za specifične aplikacije*
  - večinoma žrtvujejo shemo ACID
  - shema BASE (basically available, soft state, eventually consistent)
  - prednosti: cena, zmogljivost
  - slabosti: pomanjkanje standardov, potrebna specifična priučitev, omejena prenosljivost, nezrelost tehnologije
  - ne uporabljajo fiksne podatkovne sheme in stikov!



Primer nerelacijskega SUPB - MongoDB

- Dokumentni podatkovni model ⇒ JSON
- JavaScriptu podoben povpraševalni jezik v povezavi z JSON sintakso
- Enostaven za uporabo
- Skalabilen
- Dostop iz Pythona: pyMongo






```
{
   ...
   name: { first: "Alan", last: "Turing" },
   contact: { phone: { type: "cell", number: "111-222-3333" } },
   ...
}
```

BASE vs ACID

Not Only SQL

Basic Availability

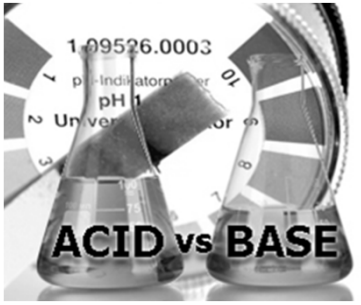
- Podatki v PB so dostopni „večino časa“

Soft-state

- Konsistentnost pisanja ni zagotovljena, ravno tako ne konsistentnost med replikami podatkov (v vsakem trenutku)

Eventual consistency

- Sčasoma se podatek „stabilizira“ v konsistentno stanje

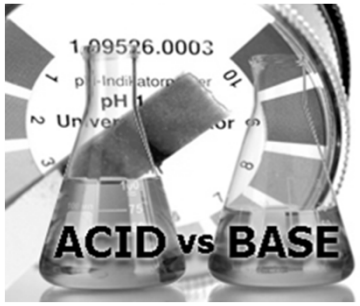


CAP – zaželene lastnosti porazdeljenih sistemov (tudi PB)

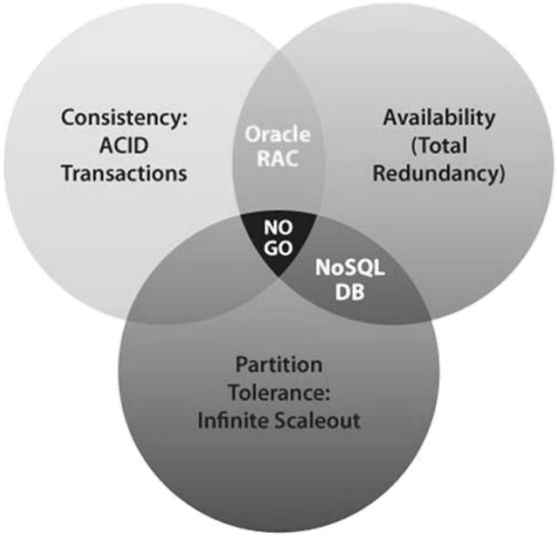
- Consistency - konsistentnost: (ACID)
  Vsako branje prebere zadnjo veljavno vrednost podatka (ali pa branje ni dovoljeno)

- Availability – razpoložljivost:
  Vsaka bralna zahteva dobi vrnjeno vrednost (v principu brez garancije, da gre za zadnjo verzijo podatka).

- Partition tolerance – zmožnost delitve podatkov:
  Sistem deluje kljub težavam (zakasnitve ali izgube podatkov) na poljubno velikem delu (<100%) povezav med vozlišči.



Teorem CAP



- Eric Brewer, 2000; dokaz na MIT 2002
- Vsak sistem za delo s podatki ima tri lastnosti:
  - konsistentnost (Consistency),
  - razpoložljivost (Availability) in
  - zmožnost delitve podatkov (Partitions)
- Teorem pravi: pri deljenju podatkov
  lahko zagotovimo **največ dve** od teh treh lastnosti

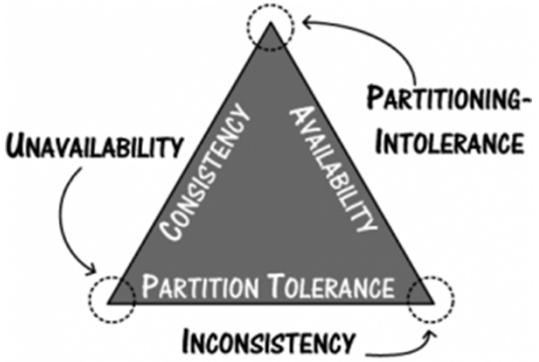
Primer: podatke razdelimo na več računalnikov. Kasnejša posodobitev podatka zahteva posodobitev vseh kopij. Scenarija:

- zaklenemo vse kopije, da zagotovimo konsistentnost (zmanjšana razpoložljivost), ali
- žrtvujemo konsistentnost na račun večje razpoložljivosti (sčasoma podatki postanejo konsistentni)

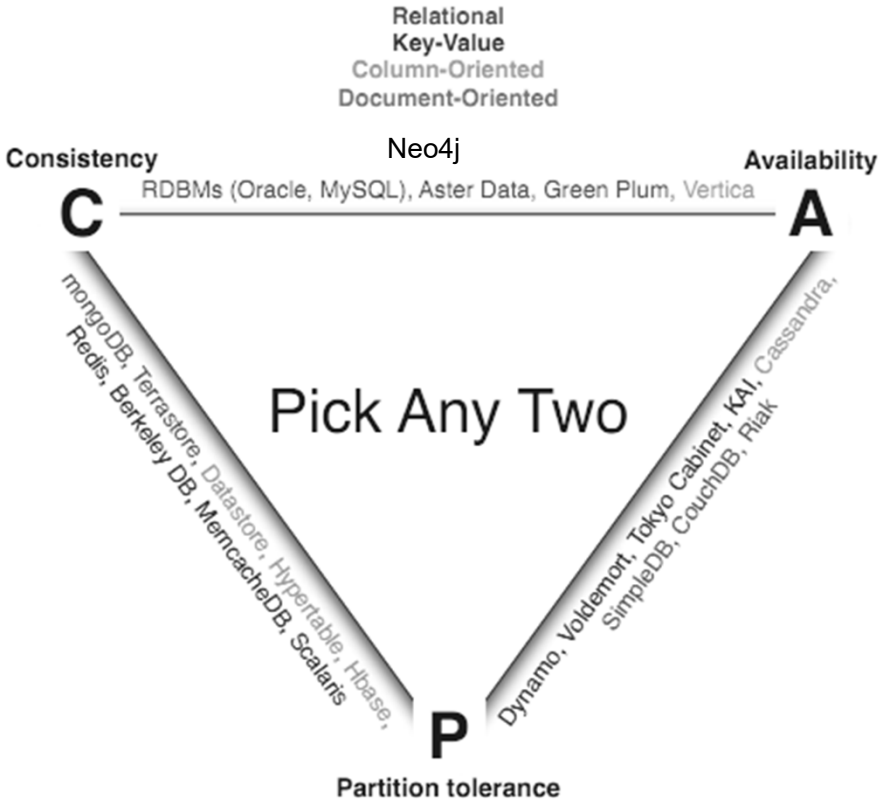
Teorem CAP

Torej: žrtvovati je potrebno enega od kriterijev: C, A ali P

- **konsistentni in razpoložljivi (CA)** sistemi imajo težavo z deljenjem podatkov, težave običajno obvladujejo z replikacijo,
- **konsistentni, porazdeljeni sistemi (CP)** imajo težavo z razpoložljivostjo podatkov ob naporu zagotavljanja njihove konsistentnosti,
- **razpoložljivi, porazdeljeni sistemi (AP)** dosegajo sčasno konsistentnost (eventual consistentcy) z replikacijo podatkov in občasnim preverjanjem konsistentnosti v podatkovnih vozliščih.



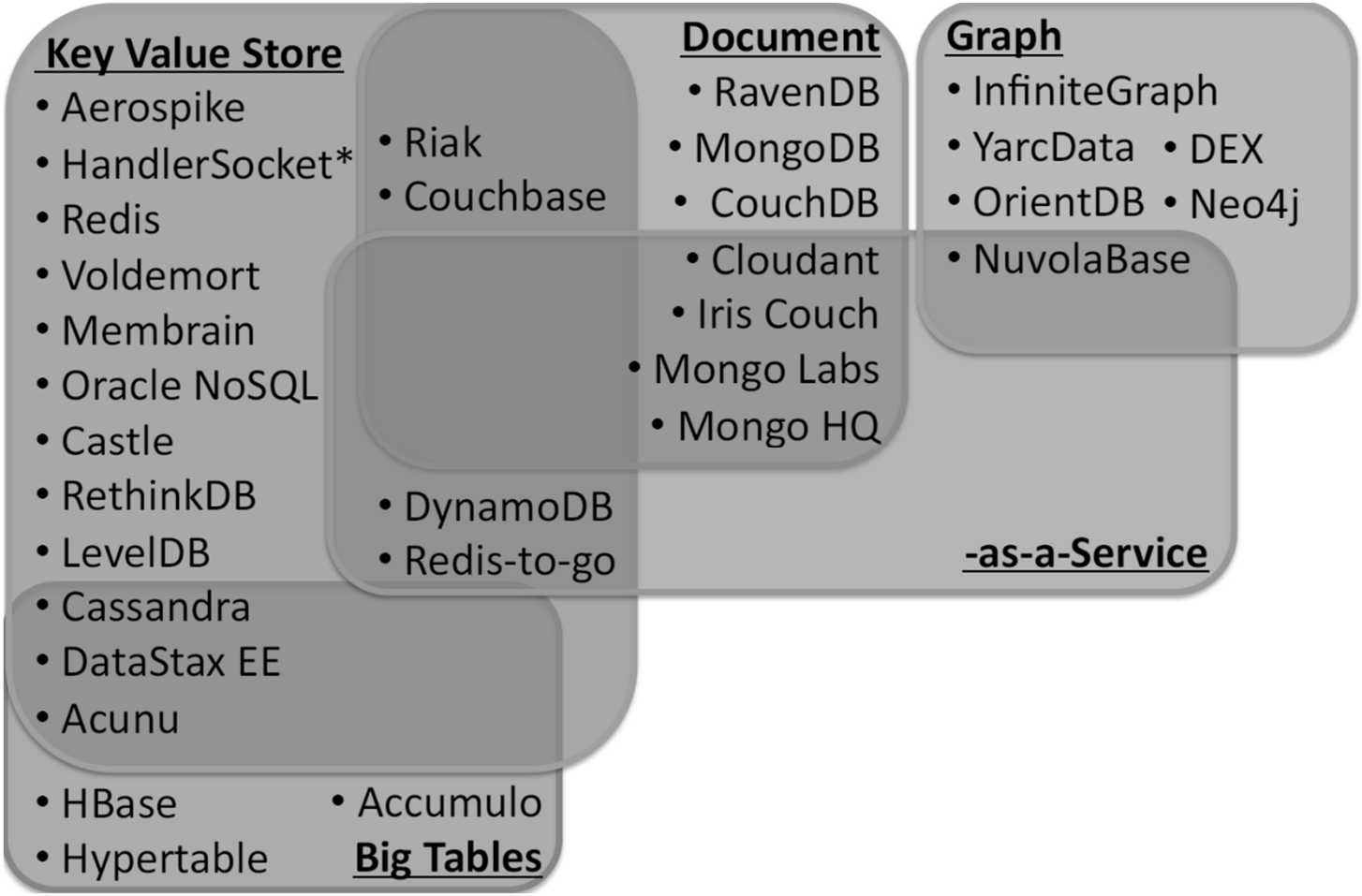
Teorem CAP


Relational
Key-Value
Column-Oriented
Document-Oriented
Neo4j
Consistency
Availability
RDBMs (Oracle, MySQL), Aster Data, Green Plum, Vertica
C
A
P
Pick Any Two
mongoDB, Terrastore, Datastore, Hypertable, Hbase,
Redis, Berkeley DB, MemcacheDB, Scalaris
Dynamo, Voldemort, Tokyo Cabinet, KAI, Cassandra,
SimpleDB, CouchDB, Riak
Partition tolerance

Izvedbe NoSQL

- Prilagojene specifičnim načinom uporabe in vrstam aplikacij
  - **shrambe s ključi (key-value pairs):** BerkleyDB, Keyspace, Dynomite, Voldemort, MemcachedDB in Tokyo Cabinet.
  - **dokumentne zbirke**: MongoDB (Foursquare, SourceForge, Fotopedia, Joomla Ads), CouchDB (CERN, BBC), Redis
  - **zbirke grafov:** Neo4j, AllegroGraph, InfoGrid, Sones, graphDB in FlockDB
  - **stolpično usmerjene zbirke (column-oriented databases):** Hypertable in Cassandra (Digg, Facebook, Twitter, Rackspace), dodatki rel. bazam
  - **objektne shrambe-v zadnjem času dvig popularnosti (podatkovna jezera):** Oracle Coherence, db4o, ObjectStore, GemStone, Polar

NoSQL SUPB


Key Value Store
• Aerospike
• HandlerSocket*
• Redis
• Voldemort
• Membrain
• Oracle NoSQL
• Castle
• RethinkDB
• LevelDB
• Riak
• Couchbase
Document
• RavenDB
• MongoDB
• CouchDB
• Cloudant
• Iris Couch
• Mongo Labs
• Mongo HQ
Graph
• InfiniteGraph
• YarcData • DEX
• OrientDB • Neo4j
• NuvolaBase
• DynamoDB
• Redis-to-go
-as-a-Service
• Cassandra
• DataStax EE
• Acunu
• HBase
• Hypertable
• Accumulo
Big Tables

Težave NoSQL

- Ni standardnega povpraševalnega jezika
  - Sami delamo, kar sicel dela SQL prevajalnik (nizkonivojske operacije)
- Zavržemo > 40 let izkušenj relacijskih SUPB
  - Težko smo boljši od prevajalnika/optimizatorja SQL poizvedb
  - Visokonivojski jeziki so boljši po več kriterijih (neodvisnost od podatkov, manj kode)
- Ni shranjenih podprogramov
  - samo ena interakcija med aplikacijo in SUPB (namesto ena za vsak zapis, kot pri NoSQL)
  - premaknemo kodo k podatkom in ne obratno
- Če ACID danes ne potrebujemo, ali lahko zagotovimo to za jutri?
  - premiki podatkov, nekomutativne posodobitve, večzapisna stanja
  - če potrebujemo integritetne omejitve
  - eventuelna konsistentnost $\rightarrow$ zmeda v podatkih

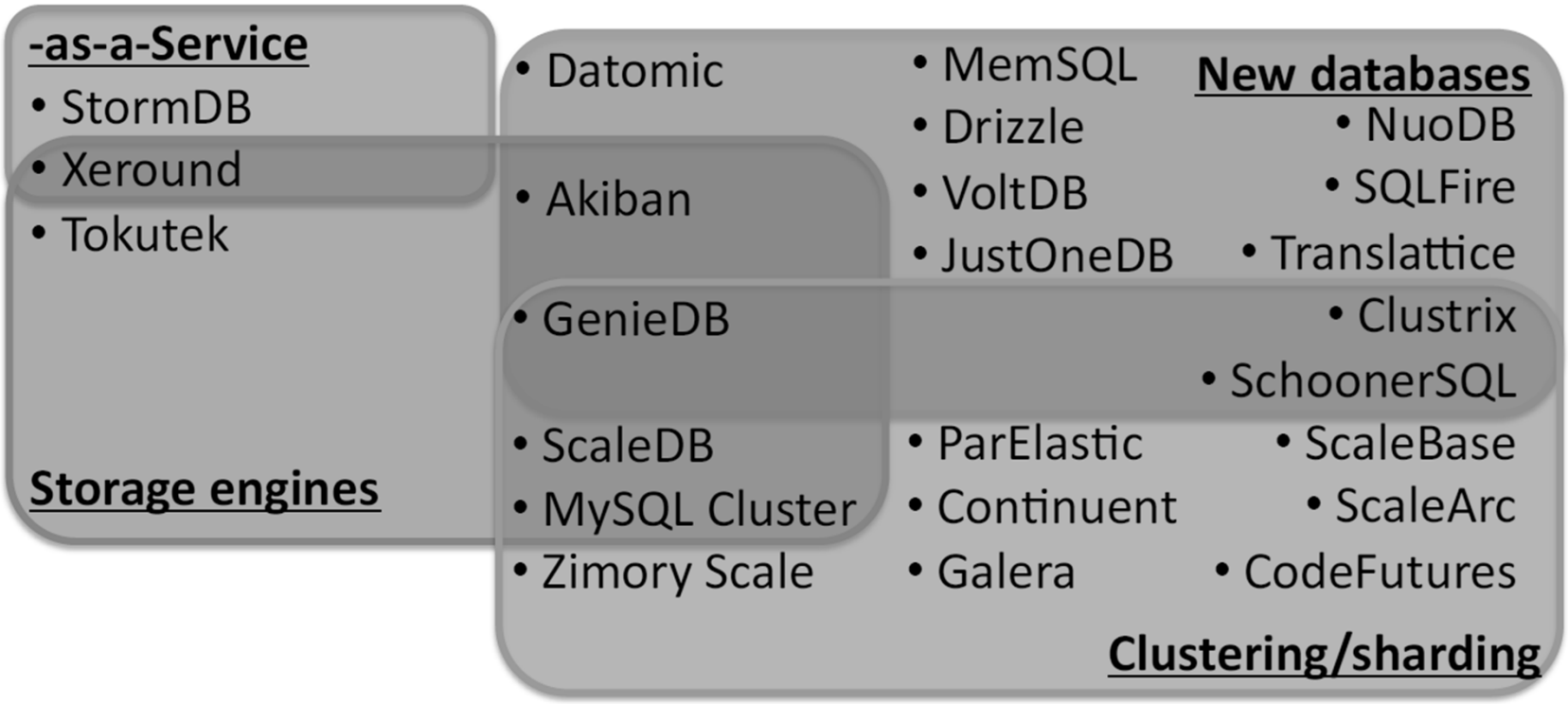
Za kaj oz. kdaj je torej primeren NoSQL

- Netransakcijski sistemi
- Enozapisne, komutativne transakcije
- Neprimerno za sodobne OLTP sisteme
- Ne potrebujemo enovitega povpraševalnega jezika
  - programska koda
  - CQL, UnQL (po zgledu SQL, nestandardno, nekompatibilno)

SQL + NoSQL = NewSQL?

- NoSQL:
  - Nova, moderna zvrst nerelacijskih SUPB
  - Zavračanje pojmov fiksnih shem tabel in stičnih operacij
  - Načrtovan z namenom omogočanja zahtev po masivnem horizontalnem skaliranju
  - Omogoča upravljanje podatkov brez definirane sheme
  - Bye, bye, SQL
- NewSQL
  - Zadnji trend na področju relacijskih SUPB
  - Ohranja SQL in ACID
  - Načrtovan z namenom omogočanja zahtev po masivnem horizontalnem skaliranju ali
  - Tako velik performančni napredek, da horizontalno skaliranje ni več potrebno (VoltDB)

NewSQL SUPB


-as-a-Service
• StormDB
• Xeround
• Tokutek
Storage engines
• Datomic
• Akiban
• GenieDB
• ScaleDB
• MySQL Cluster
• Zimory Scale
• MemSQL
• Drizzle
• VoltDB
• JustOneDB
• ParElastic
• Continuent
• Galera
New databases
• NuoDB
• SQLFire
• Translattice
• Clustrix
• SchoonerSQL
• ScaleBase
• ScaleArc
• CodeFutures
Clustering/sharding

Splošen zaključek

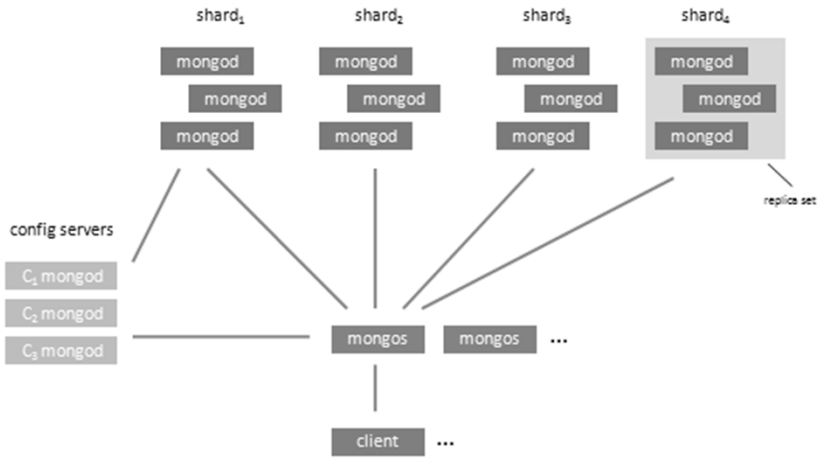
- Zelo specializirana namembnost večine NoSQL SUPB
- Žrtvovanje konsistentnosti za boljše porazdeljeno delovanje
- Vendar v praksi:
  - Lastnost P je nepogrešljiva
  - Konsistentnost se vedno bolj kaže kot nepogrešljiva
- Moderni pristopi:
  - Teorem CAP v resnici prepoveduje le perfektno razpoložljivost (A) in konsistentnost (C) ob prisotnosti razpada/particioniranja omrežja (kar je zelo redek dogodek)
  - Kompromis zagotoviti perfektno A ali C je v resnici dinamičen - NoSQL SUPB samo nekaj časa vztraja v konkretnem (CP ali AP) načinu: CAP -> PACELC (kompromisi)
- Zanimivo branje
  - *http://www.infoq.com/articles/cap-twelve-years-later-how-the-rules-have-changed*
  - Abadi, Daniel J. "Consistency tradeoffs in modern distributed database system design", *IEEE Computer Magazine* 45.2 (2012): 37

An airline reservation system:

- When most of seats are available: it is ok to rely on somewhat out-of-date data, availability is more critical
- When the plane is close to be filled: it needs more accurate data to ensure the plane is not overbooked, consistency is more critical

MongoDB – dokumentni nerelacijski SUPB

- dokumentno-usmerjen SUPB (JSON/BSON)
- lasten komunikacijski protokol, ki uporablja TCP/IP
- konzola uporablja JavaScript sintakso
- podatkovna baza -> zbirke dokumentov (Collections) -> dokumenti (Documents)
- replikacija v obliki master-slave, delitev podatkov (sharding)
- napisan v C++
- sistem ne uporablja stikov podatkov (vendar možni v uporabniškem programu)
- podatkovni tipi: null, boolean, 32-bit integer, 64-bit integer, 64-bit floating point, string



- polna postavitev sistema:
  - mongod - strežnik podatkov
  - mongos - usmerjevalnik k podmnožici podatkov
  - strežniki so lahko replicirani (redundantnost)
  - ločena konfiguracija od podatkov (konfiguracijski strežniki)

Namestitev

- http://www.mongodb.org/, prenos community različice (januar 2024: 7.04)
- mongod - strežniški program
  - pot do podatkov: argument --dbpath ali
    uporaba konfiguracijske datoteke in --config
  - strežnik posluša na vratih 27017
  - (spletni administrativni strežnik posluša na vratih 28017)
- mongod - strežniški program
- mongo - priložen odjemalec (ukazna vrstica); compass – GUI okolje
- pogosta uporaba JSON in JavaScript sintakse (specifikacija dokumentov, poizvedb, skripte, ...)

```
> mongod --config mongodb.config
Mon Nov 05 16:20:46 [initandlisten] MongoDB starting : pid=8384 port=27017 dbpath=c:\mongodb\data 64-bit host=quaddrix
Mon Nov 05 16:20:46 [initandlisten] db version v2.2.0, pdfile version 4.5
Mon Nov 05 16:20:46 [initandlisten] git version: f5e83eae9cfbec7fb7a071321928f00d1b0c5207
Mon Nov 05 16:20:46 [initandlisten] build info: windows sys.getwindowsversion(major=6, minor=1, build=7601, platform=2,
service_pack='Service Pack 1') BOOST_LIB_VERSION=1_49
Mon Nov 05 16:20:46 [initandlisten] options: { config: "mongodb.config", dbpath: "c:\mongodb\data" }
Mon Nov 05 16:20:46 [initandlisten] journal dir=c:/mongodb/data/journal
Mon Nov 05 16:20:46 [initandlisten] recover : no journal files present, no recovery needed
Mon Nov 05 16:20:46 [initandlisten] waiting for connections on port 27017
Mon Nov 05 16:20:47 [websvr] admin web console waiting for connections on port 28017
```

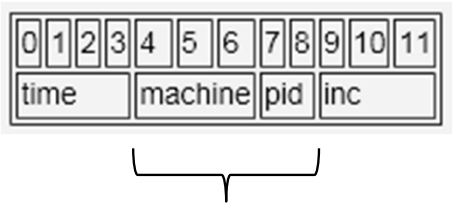
Primerjava pojmov

SQL	MongoDB
database (podatkovna baza)	database (podatkovna baza)
table (tabela)	collection (zbirka)
row (vrstica)	dokument JSON
column (stolpec)	JSON field (polje v dokumentu JSON)
primary key (primarni ključ)	polje _id v dokumentu JSON
indeks	indeks
group by	agregacija

Primarni ključ dokumenta: _id

- Striktneje: ekvivalent primarnega ključa
- Imeti mora enolično določeno, nespremenljivo vrednost
- Lahko je poljubnega tipa (razen array)
- Lahko ga podamo pri kreiranju dokumenta
- Če ga ne podamo, ga MongoDB kreira avtomatsko v obliki ObjectId

- ObjectId:
  - 12-bytni BSON (binarni JSON) zapis

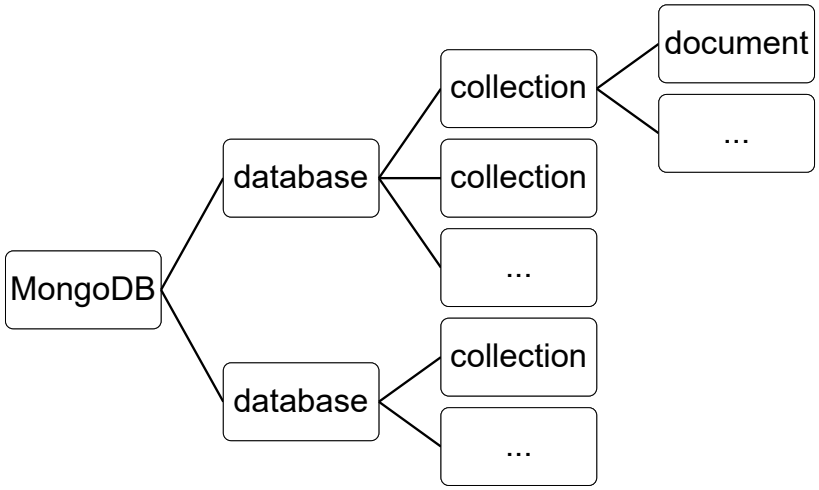


5-bytna psevdo-
naključna vrednost

Prvi koraki

```
show dbs                        // seznam baz podatkov
show collections                // seznam zbirk
use <podatkovna_baza>           // uporabi podano bazo
db                              // referenca do aktivne baze

db.help()                       // pomoč
db.stats()                      // statistike
db.version()                    // različica
```

- lena izvedba: **ustvarjanje baz in zbirk** je **implicitno** ob ustvarjanju dokumentov



Delo z dokumenti

```
// največja velikost dokumenta 16 MB (2018)
db.studenti.insert({ime: "janko", priimek: "novak"})

db.studenti.remove(kriterij)
db.studenti.drop()                  // brisanje cele zbirke (hitreje!)


db.studenti.find()


db.studenti.find(kriterij)          // vrne kurzor na zadetke
db.studenti.findOne(kriterij)       // vrne prvi zadetek

// zamenja vse dokumente, ki ustrezajo kriteriju
db.studenti.update(kriterij, novi_dokument)

// To je Javascript sintaksa, pymongo sintaksa je malenkost drugačna
```

Iskanje - modifikatorji

```
db.x.find({visina: {$gte: 180}})                    // višina večja od 180
                                                    // podobno $lt, $lte, $gte
db.x.find({prijatelji: {$ne: "Bojan"}})             // prijatelj ni enak "Bojan"
db.x.find({teza: {$in: [70, 75]}})                  // teža je v podani množici
db.x.find({teza: {$nin: [70, 75]}})                 // teža ni v podani množici
db.x.find({$or: [{teza: {$gt: 80}},
        {visina: {$gt: 180}}]})                     // disjunkcija
db.x.find({teza: {$not : {$mod: [5,0]}}})           // teža ni deljiva s 5
db.x.find({prijatelji: {$all: ["Bojan", "Teo"]}})   // vsebovanost podmnožice
db.x.find({prijatelji: {$size: 3}})                 // velikost polja je 3
db.x.find({}, {prijatelji: {$slice: [0,2]}})        // izberi rezino (del) polja
db.x.find({polje : {$exists : 1}})                  // izberi, če polje obstaja
```

Posodabljanje


```
db.x.update({ime: "Eva"}, {nov dokument})          // zamenjaj cel dokument
db.x.update({ime: "Eva"}, {$set : {mama : "Ana"}})        // nastavi polje
db.x.update({ime: "Eva"}, {$unset : {mama : 1}})          // odstrani polje
db.x.update({ime: "Eva"}, {$inc : {starost : 5}})         // inkrement polja
db.x.update({ime: "Eva"}, {$push : {prijatelji : "Janez"}})     // dodaj v polje
db.x.update({ime: "Eva"}, {$addToSet : {loto : 42}})      // dodaj brez ponav.
db.x.update({ime: "Eva"}, {$pop : {loto : 1}})            // odstrani s konca
db.x.update({ime: "Eva"}, {$pop : {loto : -1}})           // odstrani z začetka
db.x.update({ime: "Eva"}, {$pull : {loto : 15}})          // odstrani iz polja

db.x.update({ime: "Eva"}, {$inc : {starost : 5}}, true)       // če ne obstaja, dodaj
db.x.update({ime: "Eva"}, {$inc : {starost : 5}}, true, true) // posodobi vse zadetke
```

Gnezdeni dokumenti

- možno gnezdenje dokumentov in iskanje po gnezdenih poljih (npr. knjige.avtorjev)

```
doc = {   ime : "Janko",
          priimek : "Novak",
          knjige : [
                      { avtorjev : 3, strani : 100},
                      { avtorjev : 5, strani : 50},
                      { avtorjev : 8, strani : 400}
                    ]
          }
```

```
// iskanje z identično vsebino
db.primer.find({ime: {priimek: "Novak", prvo: "Janko"})
// iskanje po poljih
db.primer.find({"ime.prvo": "Janko", "ime.priimek": "Novak"})
// pogoji vezani na vsebino vsakega elementa
db.primer.findOne({knjige: {$elemMatch: {avtorjev : 3, strani : 50 }}})
// pozicijsko iskanje
db.primer.findOne({"knjige.1.strani": 50})
// $ nadomesti pozicijo najdenega dokumenta
db.primer.findOne({"knjige.avtorjev" : 3, "knjige.strani": 50 }, {"knjige.$":1})
```

Literatura

- Osnovna literatura
  http://docs.mongodb.org/manual

- kratki (referenčni) povzetki:
  http://www.10gen.com/reference

- Peter Membrey, MongoDB Basics, Apress, 2014
  https://www.apress.com/gp/book/9781484208960

- Python data persistence: With SQL and NOSQL Databases
  https://bpbonline.com/products/python-data-persistence-sql-and-nosql-programming-book-ebook

Literatura

Queries and What They Match

`{a: 10}`	Docs where a is 10, or an array containing the value 10.
`{a: 10, b: "hello"}`	Docs where a is 10 and b is "hello."
`{a: {$gt: 10}}`	Docs where a is greater than 10. Also `$lt` (<), `$gte` (>=), `$lte` (<=), and `$ne` (!=).
`{a: {$in: [10, "hello"]}}`	Docs where a is either 10 or "hello."
`{a: {$all: [10, "hello"]}}`	Docs where a is an array containing both 10 and "hello".
`{"a.b":| 10}`	Docs where a is an embedded document with b equal to 10.
`{a: {$elemMatch: {b: 1, c: 2}}}`	Docs where a is an array containing a single item with both b equal to 1 and c equal to 2.
`{$or: [{a: 1}, {b: 2}]}`	Docs where a is 1 or b is 2.
`db.foo.find({a: /^m/})`	Docs where a begins with the letter "m".

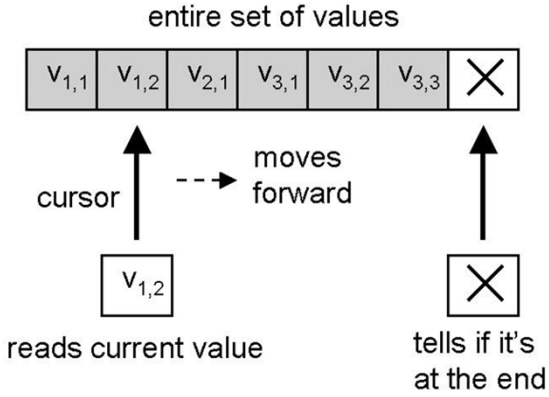
The following queries cannot use indexes as of MongoDB v2.0. These query forms should normally be accompanied by at least one other query term which *does* use an index:

`{a: {$nin: [10, "hello"]}}`	Docs where a is anything but 10 or "hello."
`{a: {$mod: [10, 1]}}`	Docs where a mod 10 is 1.
`{a: {$size: 3}}`	Docs where a is an array with exactly 3 elements.
`{a: {$exists: true}}`	Docs containing an a field.
`{a: {$type: 2}}`	Docs where a is a string (see bsonspec.org for more types).
`{a: /foo.*bar/}`	Docs where a matches the regular expression "foo.*bar".
`{a: {$not: {$type: 2}}}`	Docs where a is not a string. `$not` negates any of the other query operators.

Literatura

SQL	MongoDB
SELECT * FROM users WHERE age <= 33	db.users.find({age: {$lte: 33}})
SELECT * FROM users WHERE name LIKE '%Joe%'	db.users.find({name: /Joe/})
SELECT * FROM users WHERE name LIKE 'Joe%'	db.users.find({name: /^Joe/})
SELECT * FROM users WHERE age > 33 AND age < 40	db.users.find({age: {$gt: 33, $lt: 40}})
SELECT * FROM users ORDER BY name DESC	db.users.find().sort({name: -1})
SELECT * FROM users WHERE age = 32 AND name = 'Bob'	db.users.find({age: 32, name: "Bob"})
SELECT * FROM users LIMIT 10 SKIP 20	db.users.find().skip(20).limit(10)
SELECT * FROM users WHERE age = 33 OR name = 'Bob'	db.users.find({$or:[{age:33}, {name: "Bob"}]})
SELECT * FROM users LIMIT 1	db.users.findOne()
SELECT DISTINCT name FROM users	db.users.distinct("name")
SELECT COUNT(*) FROM users	db.users.count()
SELECT COUNT(*) FROM users WHERE AGE > 30	db.users.find({age: {$gt: 30}}).count()
SELECT COUNT(AGE) FROM users	db.users.find({age: {$exists: true}}).count()
CREATE INDEX ON users (name ASC)	db.users.ensureIndex({name: 1})
CREATE INDEX ON users (name ASC, age DESC)	db.users.ensureIndex({name: 1, age: -1})
EXPLAIN SELECT * FROM users WHERE age = 32	db.users.find({age: 32}).explain()
UPDATE users SET age = 33 WHERE name = 'Bob'	db.users.update({name: "Bob"}, {$set: {age: 33}}, false, true)
UPDATE users SET score = score + 2 WHERE name = 'Bob'	db.users.update({name: "Bob"}, {$inc: {score: 2}}, false, true)
DELETE FROM users WHERE name = 'Bob'	db.users.remove({name: "Bob"})

Kurzorji



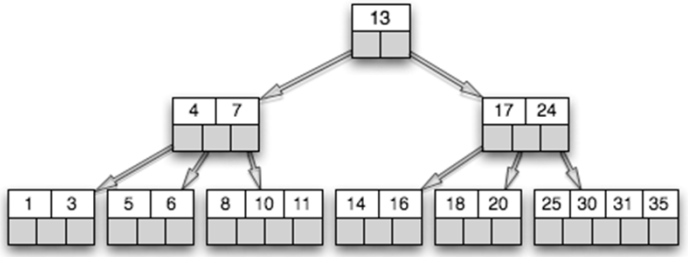
- kurzor - oblika iteratorja po podatkih v zbirki

```
var cur = db.evidenca.find()                  // vrni kurzor
cur.forEach(function (x) {printjson(x); })    // iteracija po kurzorju
```

- `limit`, `skip`, `sort`
- `limit` in `skip` uporabna za ostranjevanje (pagination) v aplikacijah)

```
db.evidenca.find().limit(3)                   // omeji na prve 3 zapise
db.evidenca.find().skip(3)                    // preskoči 3 zapise
db.evidenca.find().sort({starost : 1})        // sortiranje naraščajoče
db.evidenca.find().sort({visina : -1})        // sortiranje padajoče

db.evidenca.count()                           // štetje zadetkov
db.evidenca.count({visina: {$gt : 170}})      // štetje s pogojem
db.evidenca.distinct("visina")                // seznam različnih
```

Indeksiranje



- omejitev: največ 64 indeksov na zbirko
- indeks na {a : 1, b : 1, c : 1, ..., z : 1} pohitri delovanje poizvedb
  {a: 1}, {a : 1, b: 1}, {a : 1, b : 1, c : 1, ...}, ...
- možno tudi indeksiranje gnezdenih dokumentov
- podatkovna struktura indeksov: B-drevesa (kot pri relacijskih PB)

```
db.x.ensureIndex({visina: 1})                          // izdelava indeksa
db.x.ensureIndex({visina: 1}, {name : "indy"})         // poimenovanje indeksa
db.x.dropIndex({visina: 1})                            // brisanje indeksa
db.x.ensureIndex({visina: 1}, {unique : true})         // unikatni indeks (za ključe)

db.x.find({starost : 33}).explain()                    // poda statistiko poizvedbe
```

Geoprostorsko indeksiranje

- iskanje točk, ki so po lokaciji (koordinatah) sorodne izvorni točki

- vsak dokument vsebuje en par podatkov, ki predstavljajo lokacijo; pozor: Pythonovi (pred 3.6) slovarji niso urejeni (uporabimo bson.SON())

- koordinate so običajno na intervalu od -180 do 180 (ustreza zemljepisni dolžini/širini)

```
{ "gps" : [ 0, 100 ] }
{ "gps" : { "x" : -30, "y" : 30 } }
{ "gps" : { "latitude" : -180, "longitude" : 180
}}
```

- izgradnja indeksa

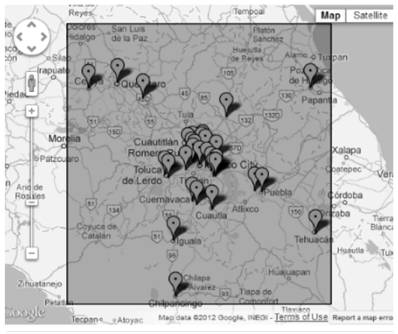
```
db.map.ensureIndex({"gps" : "2d"})
```

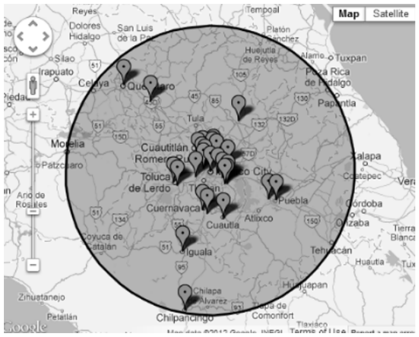
Geoprostorsko indeksiranje

- iskanje:

```
db.map.find({"gps" : {$near   : [40, -73]}})
db.map.find({"gps" : {$within : {$box : [[10, 20], [15, 30]]}}})
db.map.find({"gps" : {$within : {$center : [[12, 25], 5]}}})
```

  - kot oblika možni tudi $center, $circle ali $poly





- možna kombinacija indeksov za optimicijo iskanja po različnih poljih
  - `db.places.ensureIndex( { location : "2d" , category : 1 } );`
  - `db.places.find( { location : { $near : [50,50] }, category : 'coffee' } );`

- tipi indeksov: 2d – ravninska geometrija, 2dsphere – sferična geometrija (WGS84, World Geodetic System, 1984; uporablja GPS)

Kompleksne poizvedbe

- operator $where
- pozor: počasna izvedba (pretvorba iz BSON v JavaScript, dela brez uporabe indeksov)

```
> db.primer.insert({jabolko: 1, banana : 6, breskev : 3})
> db.primer.insert({jabolko: 8, ananas : 4, lubenica : 4})

> db.primer.findOne({$where: function () {
... for (var prvi in this) {
...     for (var drugi in this) {
...         if (prvi != drugi && this[prvi] == this[drugi]) return true;
...     }
... }
... return false;
... }})

{
        "_id" : ObjectId("5098b267b6979a0c0c662391"),
        "jabolko" : 8,
        "ananas" : 4,
        "lubenica" : 4
}
```

PyMongo – MongoDB odjemalec

- Instalacija v Python:
  - conda install pymongo (distribucija Anaconda)
  - pip install pymongo
- Navodila: http://api.mongodb.org/python/current/tutorial.html
- Zdaj lahko iz Pythona dostopate tako do MariaDB, kot MongoDB (peta – opcijska - domača naloga)

Uporaba iz Pythona (pymongo)

Bistvene razlike do JS konzole

- zapis funkcij s podčrtaji (find_one namesto findOne ipd.)
- slovarji ali BSON namesto JSON

```
from pymongo import MongoClient

client = MongoClient('localhost', 27017)     # privzeti parametri
db = client.test                             # baza test
db.collection_names()                        # seznam vseh zbirk

db.obvestila.insert(dokument)                # dodajanje dokumenta

posts.find_one({})

for post in db.izpiti.find({}):              # iteriranje po zadetkih
    print(post)

for post in db.izpiti.find({}):              # varnejše iteriranje
    print(post.get("nagrada", "ni nagrade"))
```

Iskanje, posodabljanje

```
# štetje zapisov - count
db.izpiti.find({"letnik": 1}).count()

# omejitev števila zadetkov - limit
for x in db.izpiti.find({"letnik": 1}).limit(3): x

# uporaba modifikatorjev, sortiranje
for x in db.izpiti.find({"letnik": {"$gt": 1}}).sort("ime"): x

# posodabljanje zapisov
db.izpiti.update({"letnik": 1},{"$inc": {"letnik" :1}}) # samo prvi
db.izpiti.update({"letnik": 1},{"$inc": {"letnik" :1}}, multi=True)       # vseh zadetkov
db.izpiti.update({"letnik": 1},{"$inc": {"letnik" :1}}, upsert=True)      # ustvari, če ne obstaja
```

Indeksi: navadni in geoprostorski

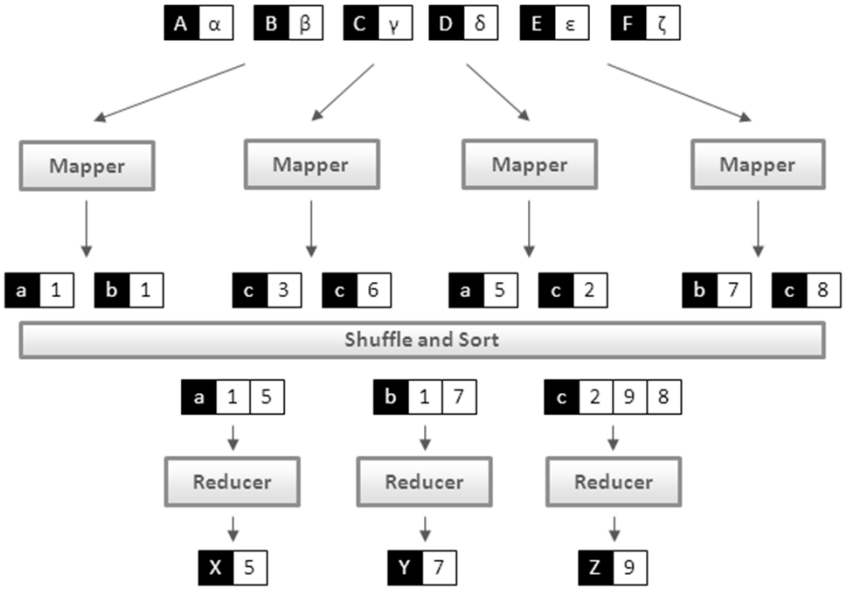
```
#indeksiranje
db.izpiti.create_index([("letnik", ASCENDING), ("author", ASCENDING)])
db.izpiti.drop_index([("letnik", ASCENDING), ("author", ASCENDING)])

db.izpiti.find({...}).explain()["cursor"]        # statistike iskanja
db.izpiti.find({...}).explain()["nscanned"]


# geoprostorsko indeksiranje
import bson
from pymongo import GEO2D                        # sinonim za "2dsphere"
loc = bson.SON()                                 # ohranja vrstni red elementov
loc["x"]=3
loc["y"]=4
dok = {"ime": "Metka", "loc": loc}
db.prostor.insert(dok)

db.prostor.create_index([("loc", GEO2D)])
for doc in db.prostor.find({"loc": {"$near": [3, 6]}}).limit(3):  doc
for doc in db.prostor.find({"loc": {"$within": {"$box": [[0,0],[3,4]]}}}): doc
```

Primer (jadralci)

```
# Jadralec Darko
db.jadralec.insert( {"jid": 22, "ime" : "Darko", "rating": 10, "starost":45} )

# Darkove rezervacije
db.rezervacija.insert( {"jid": 22, "cid" : 101, "dan": "2006-10-10" } )
db.rezervacija.insert( {"jid": 22, "cid" : 102, "dan": "2006-10-10" } )
db.rezervacija.insert( {"jid": 22, "cid" : 103, "dan": "2006-10-8" } )
db.rezervacija.insert( {"jid": 22, "cid" : 104, "dan": "2006-10-7" } )

# Indeksi
db.rezervacija.ensure_index("jid")
db.rezervacija.ensure_index("cid")
db.rezervacija.ensure_index( [   ("jid", pymongo.DESCENDING),
                                 ("cid", pymongo.ASCENDING)       ] )


# STIK: Poišči vse Darkove rezervacije
darko = db.jadralec.find_one({"ime" : "Darko"})
rez =  db.rezervacija.find( {"jid" : darko["jid"]} )
for r in rez:
    print(r)
```

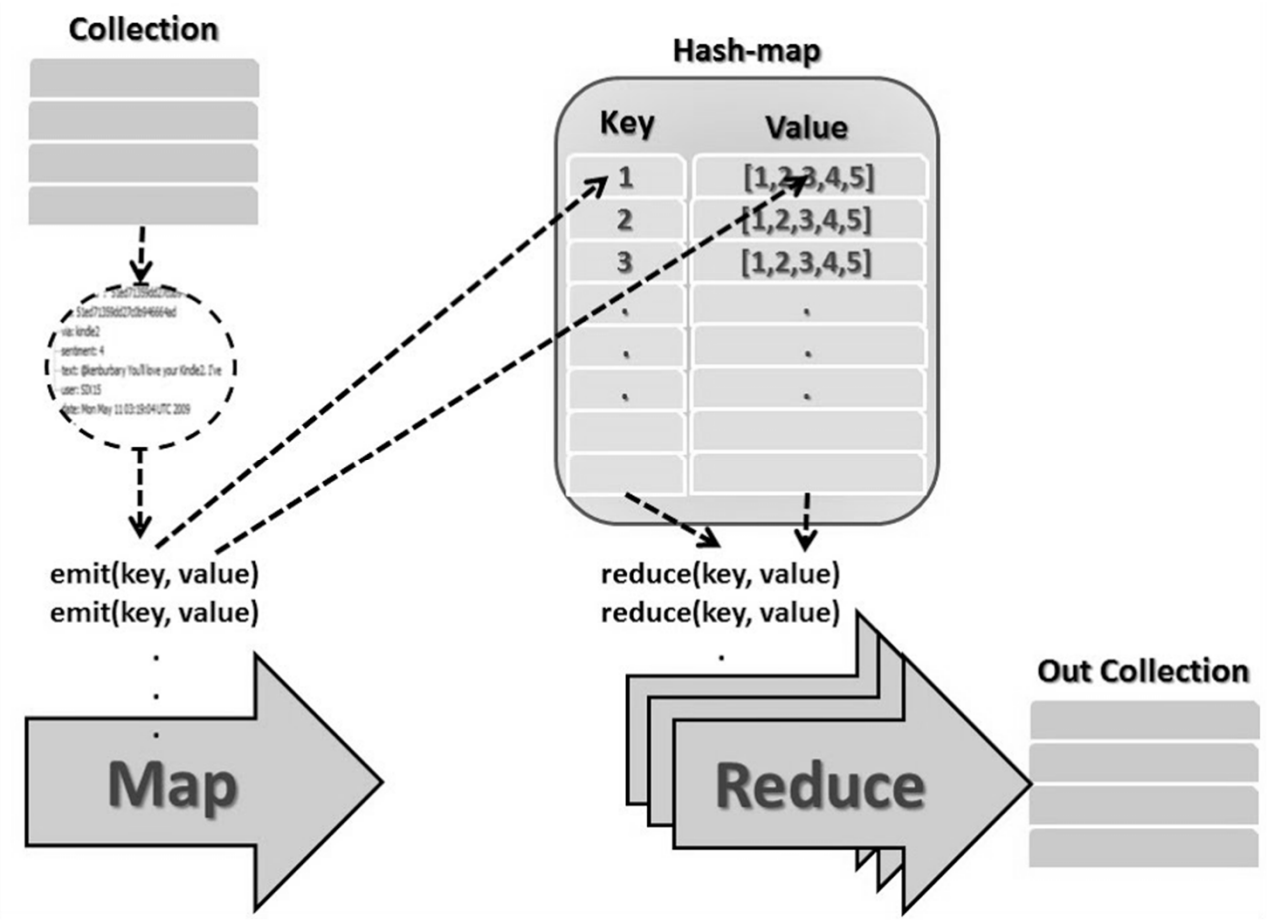
MapReduce

- postopek omogoča preprosto paralelizacijo programov (poizvedb) v velikih podatkovnih bazah preko velikega števila računalnikov/jeder/procesorjev
- splošen koncept, popularizirala Google in Apache Hadoop
- podobna ideja kot pri funkcijskem programiranju (map-fold)
- enostavna in učinkovita paralelizacija asociativnih *idempotentnih* funkcij
- velik **pretok** podatkov vendar previsoka **latenca** za izvajanje v realnem času



MongoDB MapReduce

- **map**: preslika vhodne dokumente v drugačno predstavitev (in/ali ključ) in jo/ju posreduje naprej s stavkom **emit**
- **reduce**: za vsak ključ prejme polje vrednosti od funkcije map in izračuna končni rezultat



MapReduce

Podana je študentska evidenca opravljenih izpitov:

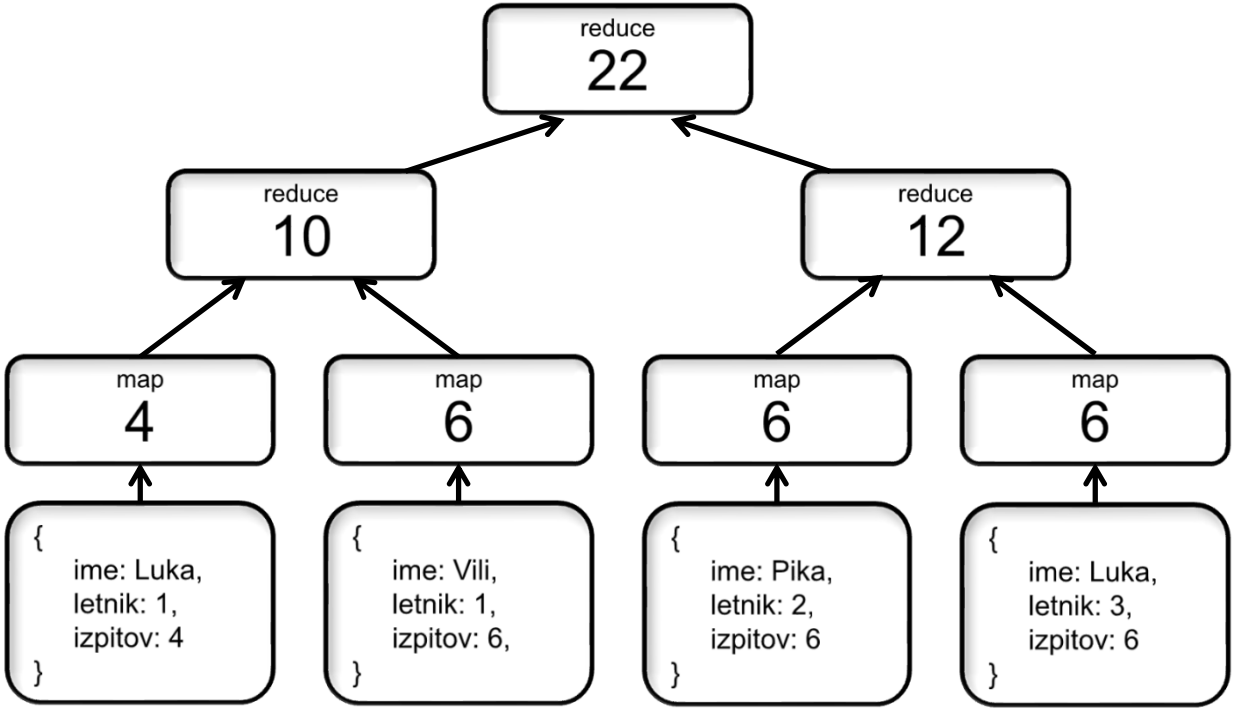
```
> db.izpiti.find({},{_id:0})   # Projekcija, izpis brez _id
{ "ime" : "Luka", "letnik" : 1, "izpitov" : 4 }
{ "ime" : "Vili", "letnik" : 1, "izpitov" : 6 }
{ "ime" : "Jaka", "letnik" : 1, "izpitov" : 2 }
{ "ime" : "Taja", "letnik" : 2, "izpitov" : 2 }
{ "ime" : "Dino", "letnik" : 2, "izpitov" : 4 }
{ "ime" : "Igor", "letnik" : 3, "izpitov" : 2 }
{ "ime" : "Nina", "letnik" : 3, "izpitov" : 3 }
{ "ime" : "Dani", "letnik" : 3, "izpitov" : 6 }
{ "ime" : "Pika", "letnik" : 3, "izpitov" : 5 }
{ "ime" : "Dasa", "letnik" : 3, "izpitov" : 5 }
```

Zanima nas:

- Kakšno je skupno število izpitov, ki so jih opravili vsi študenti v letnikih?
- Kakšno je povprečno število izpitov, ki so jih opravili vsi študenti v letnikih?
- Kakšno je povprečno število izpitov, ki so jih opravili študenti po posameznih letnikih?

MapReduce: primer 1

1.) Kakšno je skupno število izpitov, ki so jih opravili vsi študenti v letnikih?



- reduce mora biti **asociativen**, vrstni red izvedbe je neopredeljen!!!
- reduce mora vrniti podatek istega tipa kot je tip rezultata funkcije emit

MapReduce: primer 1

```
var mapper = function() {
     emit(null, this.izpitov)
}
```

```
var reducer = function(key, values) {
     var sum = 0;
     values.forEach(function(x) {
          sum += x;
     })
     return sum;
}
```

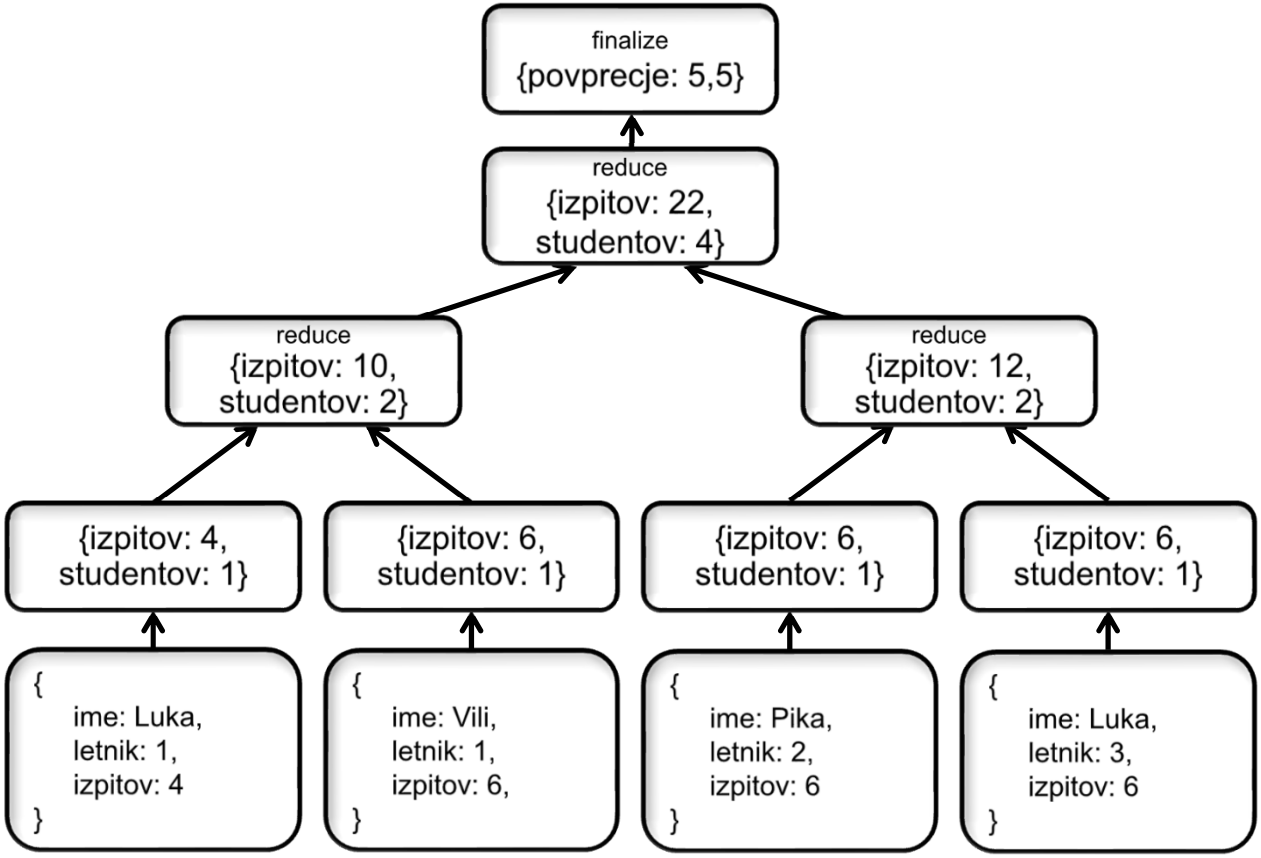
```
> db.izpiti.mapReduce(mapper, reducer, {out: "rezultati"})
{
        "result" : "rezultati",
        "timeMillis" : 97,
        "counts" : {
                "input" : 10,
                "emit" : 10,
                "reduce" : 1,
                "output" : 1
        },
        "ok" : 1,
}

> db.rezultati.find()
{ "_id" : null, "value" : 39 }
> db.rezultati.findOne().value
39
```

naziv zbirke, v kateri se bo shranil rezultat

izpis rezultata

MapReduce: primer 2

2.) Kakšno je povprečno število izpitov, ki so jih opravili vsi študenti v letnikih?



MapReduce: primer 2

Kakšno je povprečno število izpitov, ki so jih opravili vsi študenti v letnikih?

```
var mapper = function() {
     emit(null, {studentov: 1, izpitov: this.izpitov})
}
```

```
var reducer = function(key, values) {
     var sum = {studentov: 0, izpitov: 0}
     values.forEach(function(x) {
          sum.studentov += x.studentov;
          sum.izpitov += x.izpitov
     })
     return sum;
}
```

```
> db.izpiti.mapReduce(mapper, reducer, {out: "rezultati"})
> db.rezultati.find()
{ "_id" : null, "value" : { "studentov" : 10, "izpitov" : 39 } }
```

```
> var finalizer = function(key, value) {
     var povprecje = value.izpitov/value.studentov;
     delete value.izpitov;
     delete value.studentov;
     value.povprecje = povprecje;
     return value;
}
```

funkcija za finalizacijo rezultata, ki se izvede

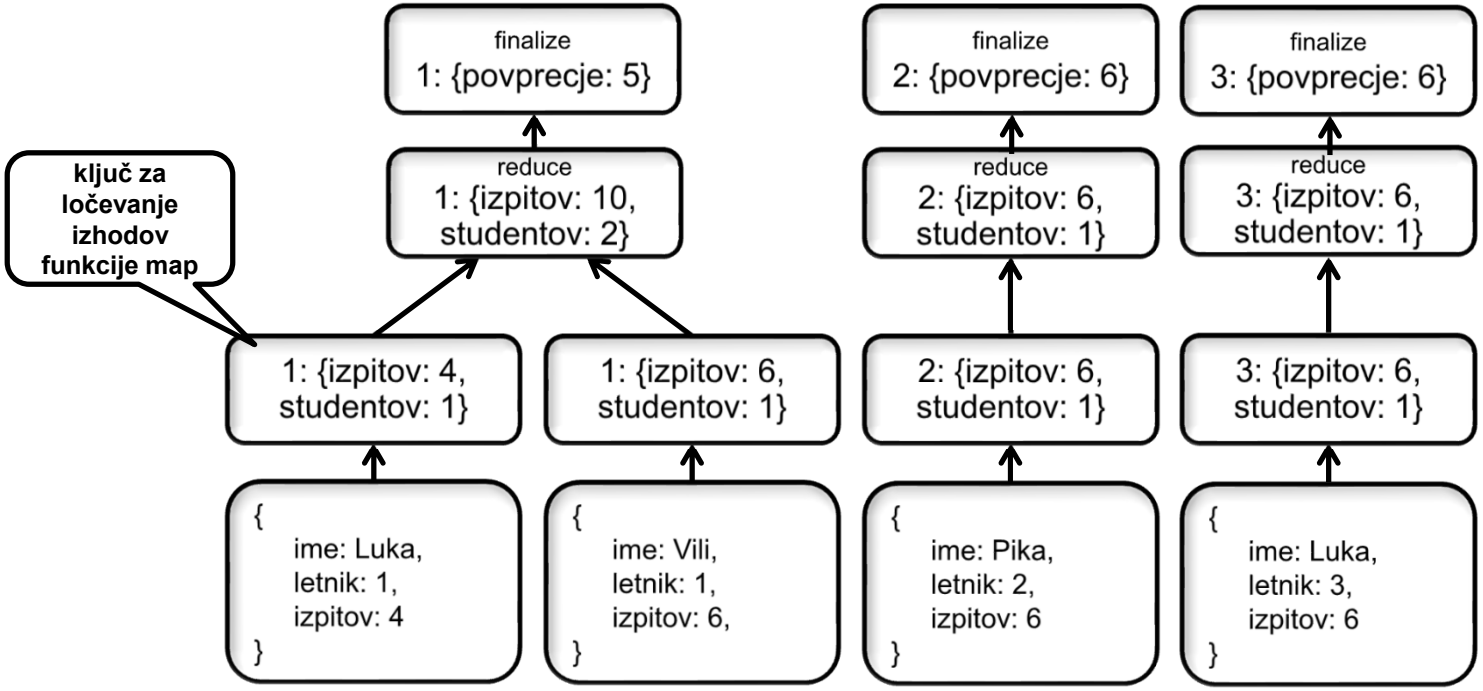
```
> db.izpiti.mapReduce(mapper, reducer,
       {out: "rezultati", finalize: finalizer})
> db.rezultati.find()
{ "_id" : null, "value" : { "povprecje" : 3.9 } }
```

dodatni parameter za uporabo finalizatorja

MapReduce: primer 3

3.) Kakšno je povprečno število izpitov, ki so jih opravili študenti po posameznih letnikih?

- emit(key, value)



MapReduce: primer 3

Kakšno je povprečno število izpitov, ki so jih opravili študenti po posameznih letnikih?

```
var mapper = function () {
    emit(this.letnik, { studentov: 1, izpitov: this.izpitov })
}
% reducer in finalizer ostaneta enaka!
```

uporaba ključa

```
> db.izpiti.mapReduce(mapper, reducer,
            { out: {inline: 1}, finalize: finalizer }).results
        [
                {
                        "_id" : 1,
                        "value" : {
                                "povprecje" : 4
                        }
                },
                {
                        "_id" : 2,
                        "value" : {
                                "povprecje" : 3
                        }
                },
                {
                        "_id" : 3,
                        "value" : {
                                "povprecje" : 4.2
                        }
                }
        ]
```

izpis na konzolo

PyMongo in map_reduce

```
from bson.code import Code

map = Code("function() {"
                "emit(this.letnik, {studentov: 1, izpitov: this.izpitov})"
           "}")

reduce = Code("function(key, values) {"
                "var sum = {studentov: 0, izpitov: 0};"
                "values.forEach(function(x) {"
                    "sum.studentov += x.studentov;"
                    "sum.izpitov += x.izpitov;"
                "});"
                "return sum;"
              "}")

result = db.izpiti.map_reduce(map, reduce, "myresults")

for doc in result.find():
    print (doc)
```

objekt za hranjenje programske kode

zapis programske kode v več vrsticah

zbirka, kamor se zapiše rezultat

kurzor po rezultatih

MongoDB - literatura

- Eelco Plugge, Tim Hawkins, Peter Membrey: The Definitive Guide to MongoDB: The NoSQL Database for Cloud and Desktop Computing. Apress, 2010.
- Karl Seguin: The Little MongoDB Book. http://github.com/karlseguin/the-little-mongodb-book, 2012.
- MongoDB manual: http://www.mongodb.org/display/DOCS/Manual
- PyMongo Documentation: http://api.mongodb.org/python/current/
- Donovan Hsieh, NoSQL Data Modelling, eBay, 2014 http://www.ebaytechblog.com/2014/10/10/nosql-data-modeling

Grafni SUPB

- Podatkovni model je graf z lastnostmi (omrežje, „property graph“)
  - Podatki se hranijo v vozliščih, povezavah in njihovih dodanih lastnostih
- Vsako vozlišče vsebuje kazalce na svoje naslednike
  - Posledično ne potrebujemo nujno (lahko pa) dodatnih indeksov
- Povezave vsebujejo najpomembnjši del informacije, saj povezujejo
  - Vozlišča z drugimi vozlišči
  - Vozlišča z njihovimi lastnostmi

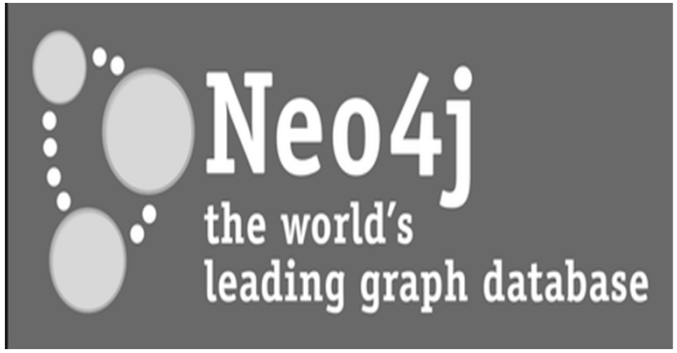
Neo4j, grafni nerelacijski SUPB

- Kaj je Neo4j?
- Grafni nerelacijski SUPB
- Povpraševalni jezik Cypher
- Povezava z aplikacijami (Python)
- Kdaj ga izbrati?

- Namestitev:
  - Prenos (OS in arhitektura sistema)
  - Preprosta namestitev (le specifikacija avtentikacije, kasneje jo lahko izklopite)

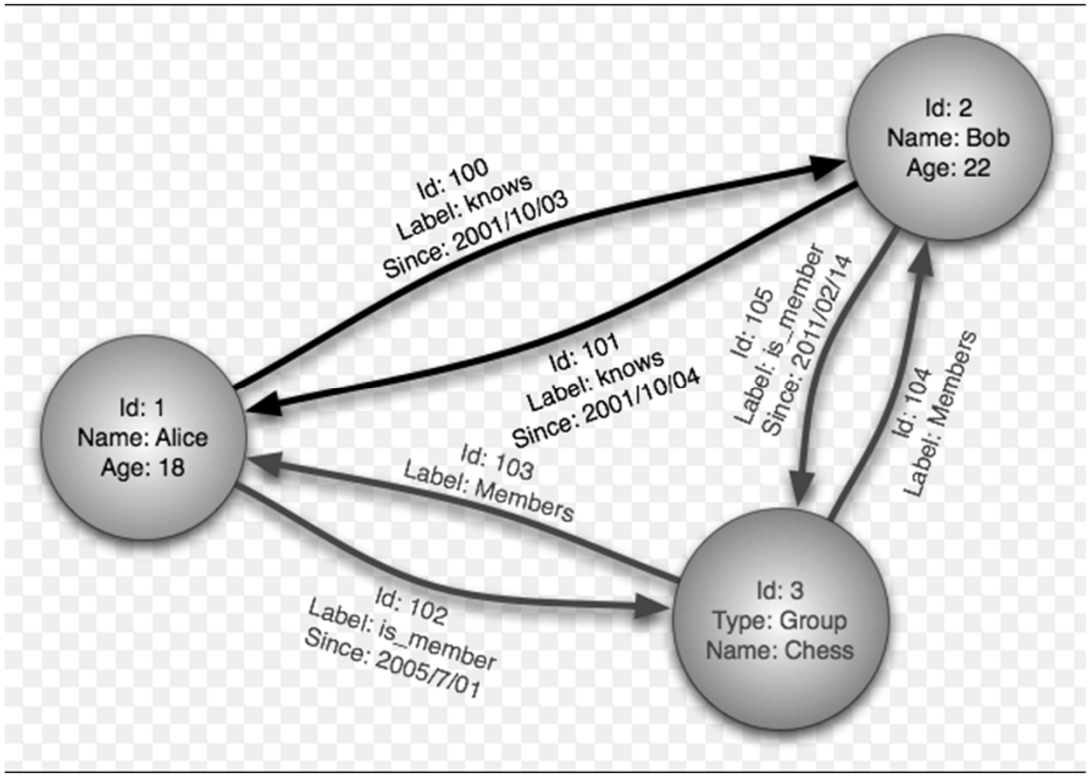
Kaj je Neo4j

- Produkt podjetja Neo Technologies
- Najpopularnejši grafni SUPB
- Implementiran v Javi
- Odprtokoden



(www.neo4j.org)

GRAFNI SUPB

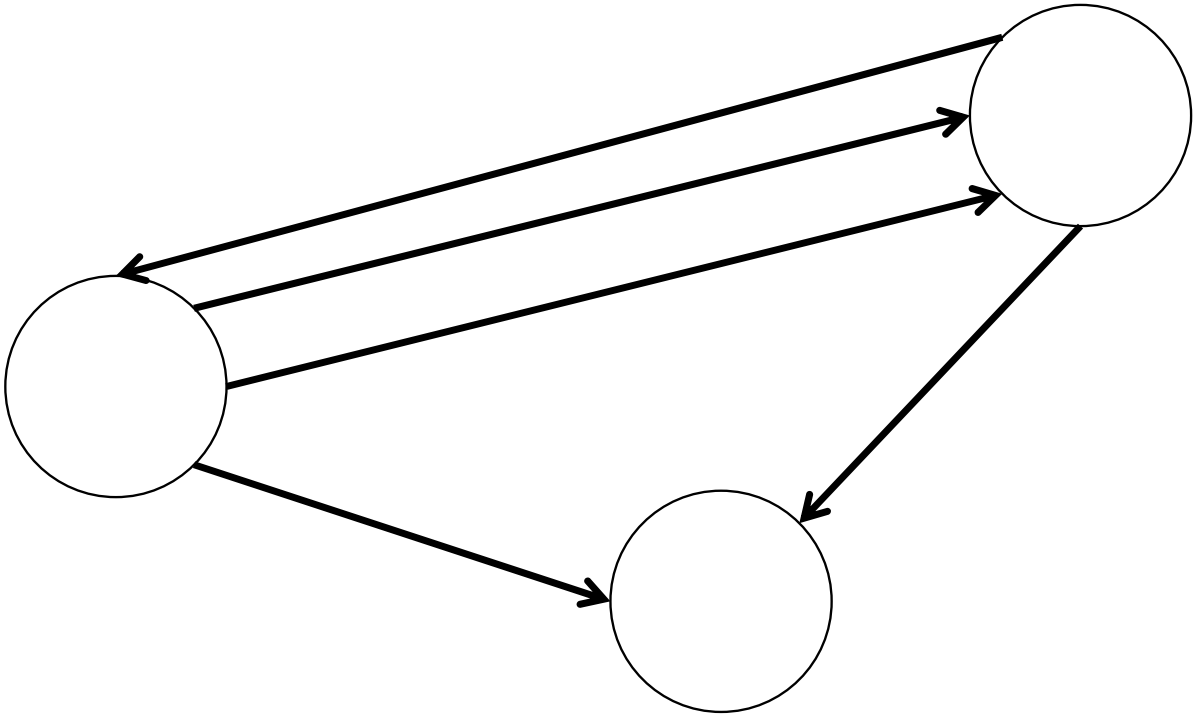


Vozlišča lahko vsebujejo

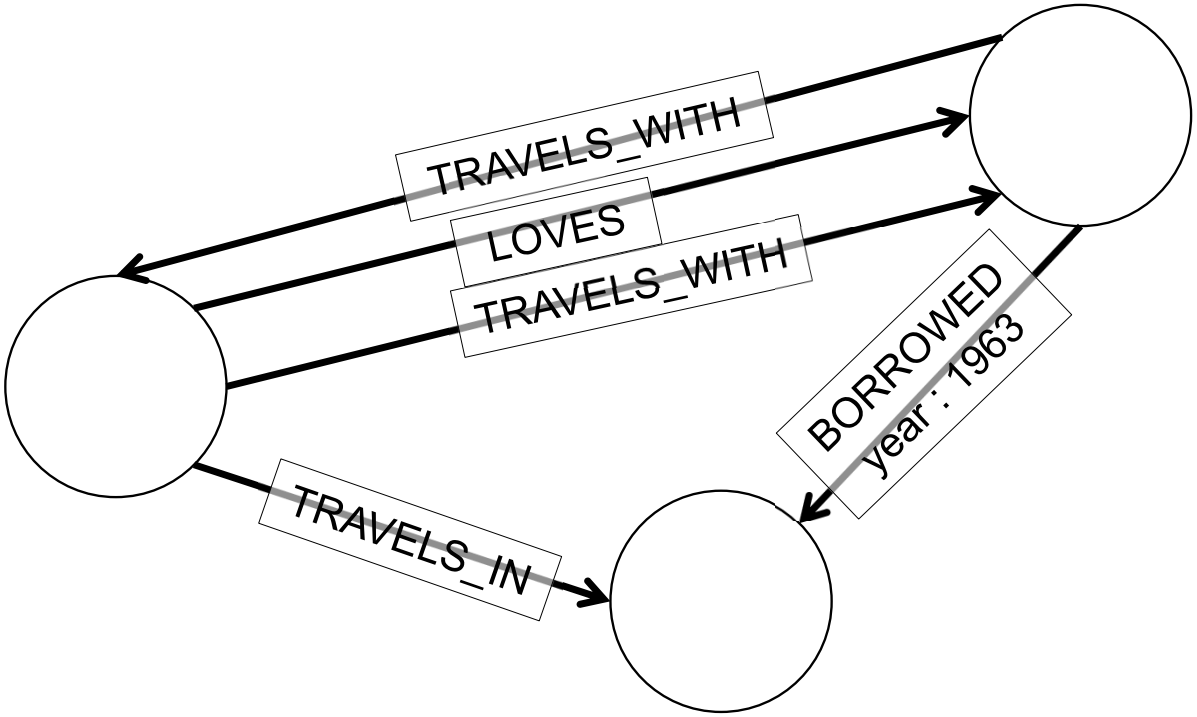
- Identifikator (id, ime)
- Lastnosti (properties): pari (ime lastnosti, vrednost)
- Oznako (label): pripadnost skupini/tipu vozlišč

(Wikipedia)

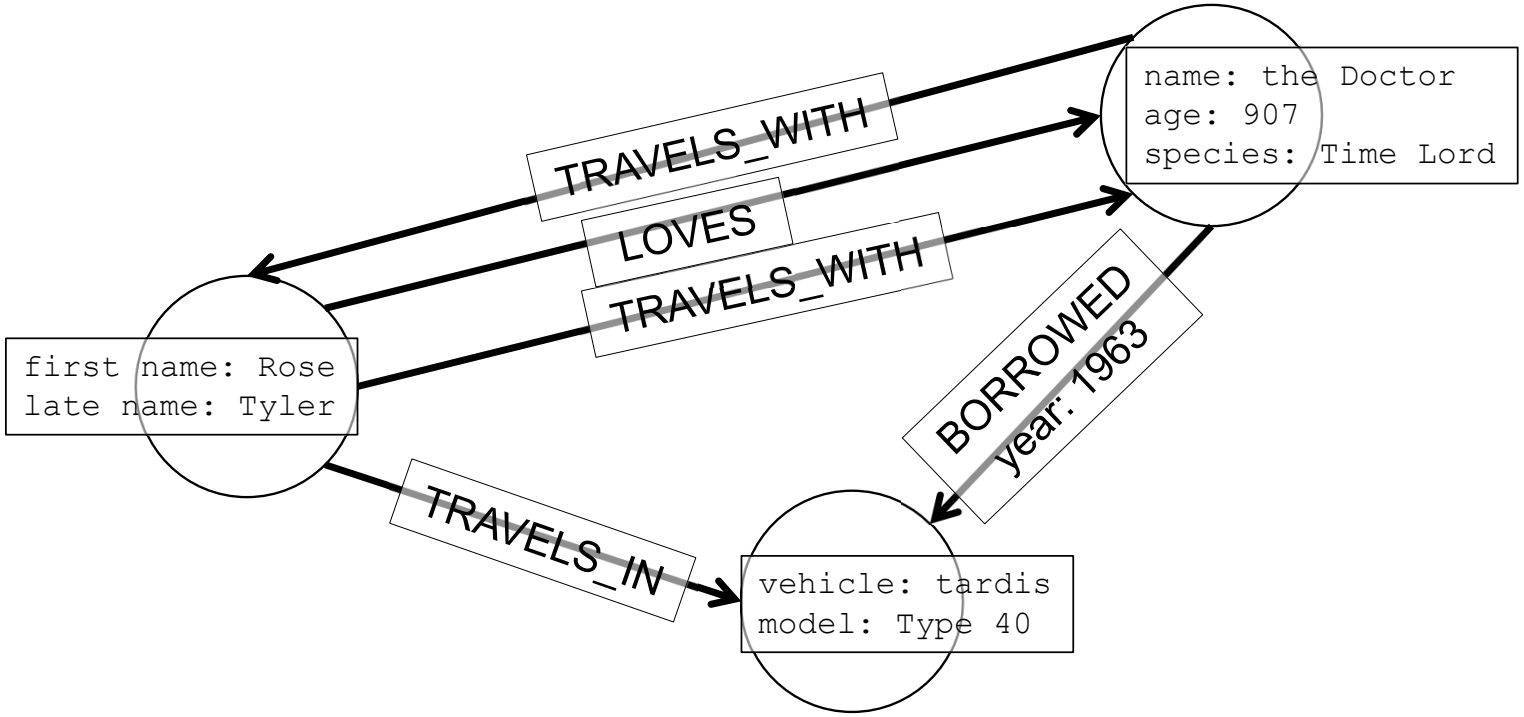
PODATKOVNI MODEL: GRAF Z LASTNOSTMI (PROPERTY GRAPH)



PODATKOVNI MODEL: GRAF Z LASTNOSTMI (PROPERTY GRAPH)

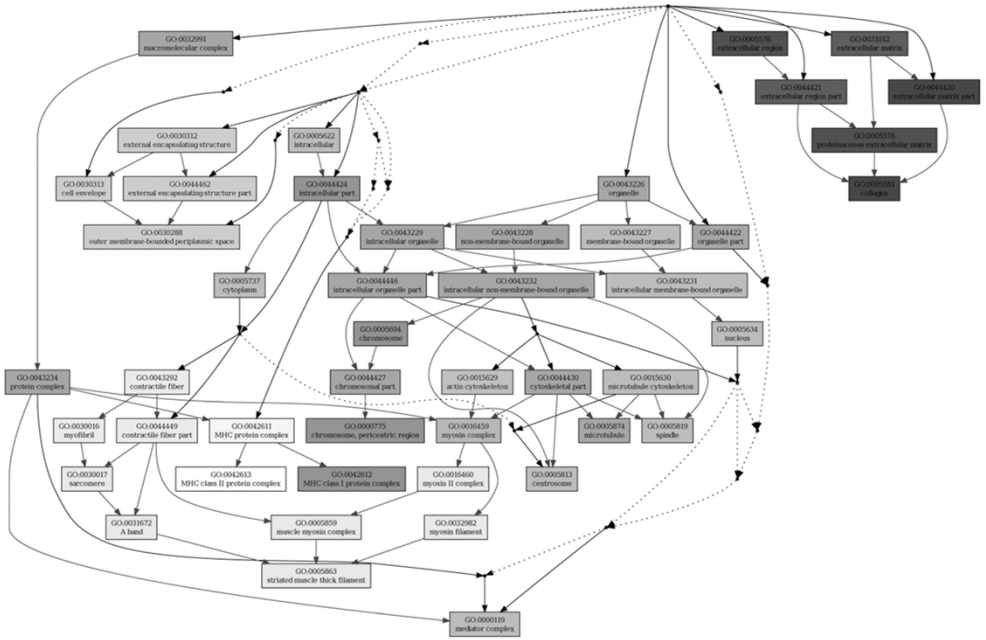


PODATKOVNI MODEL: GRAF Z LASTNOSTMI (PROPERTY GRAPH)



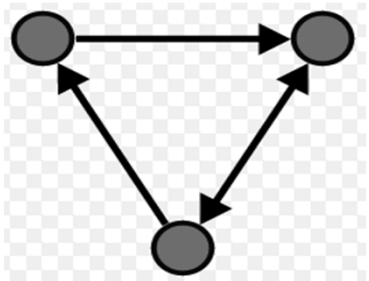
Prednosti grafnih SUPB

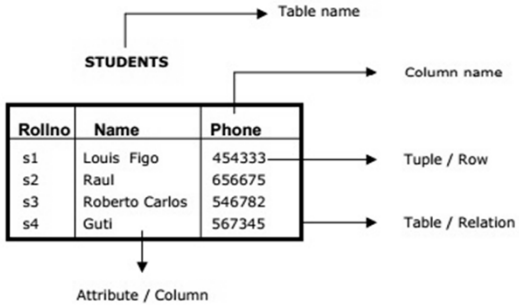
- Če nas zanimajo povezave (razmerja) med entitetami (vozlišči) so grafni SUPB zelo uporabni zaradi svojega podatkovnega modela
- Grafni SUPB so zelo primerne za asociativne podatkovne množice
  - Podobno kot družabna omrežja
- Omogočajo direktno preslikavo objekno usmerjenih struktur in aplikacij
  - Klasifikacija objektov
  - Hierarhije (razmerja starš - potomec)
- **Zelo fleksibilen podatkovni model**

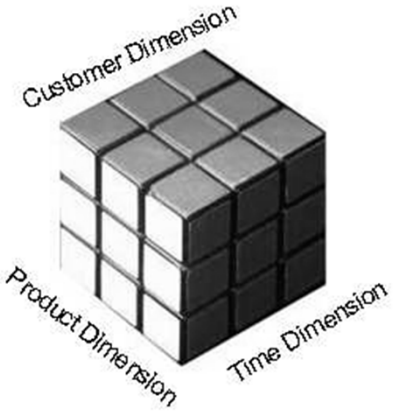


Pomanjkljivosti grafnih SUPB

- Manj primerno za tabelarične podatke z malo razmerji
- Slaba podpora za OLAP in druge večdimenzionalne strukture
  - Aktivno področje, potrebne nadaljnje raziskave in razvoj
- V določenih primerih problematično horizontalno skaliranje







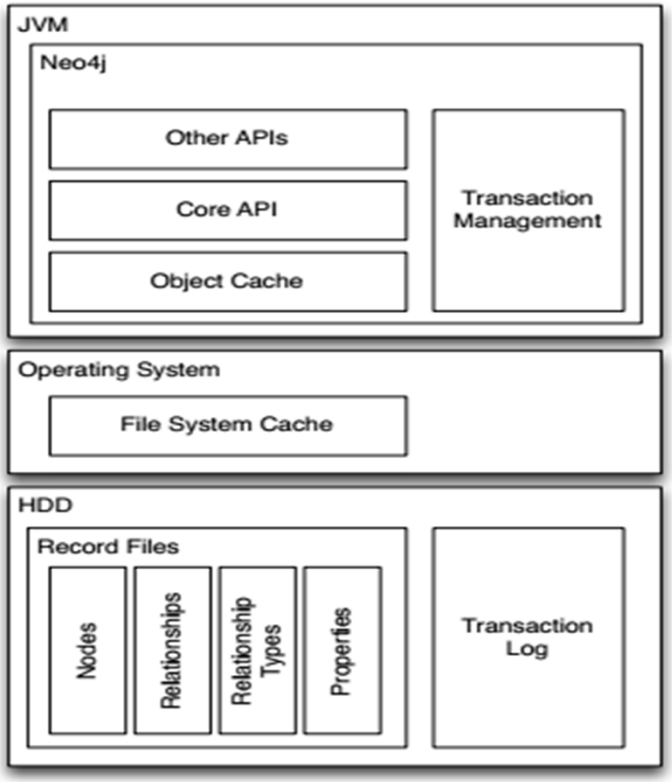
Enostavnost in učinkovitost agregacije

Primerjava Neo4j in relacijskih SUPB

- Nima vnaprej definirane sheme/konvencije, ki se je mora držati
  - Vsako vozlišče/povezava ima lahko poljuben nabor lastnosti
- Podpora ACID transakcijam (logičnim enotam dela)
- Povpraševalni jezik Cypher (nekoliko podoben SQL)
  - Iniciativa openCypher (viri/materiali za implementacijo jezika)
  - Del iniciative SQL/PGQ (Property Graph Queries in SQL), integracija v SQL ISO standard SQL/PGQ:2020, trenutno v fazi specifikacije zahtev
- Enostaven za učenje in uporabo
- Dobra dokumentacija, velika podpora skupnosti
- Podpora sodelovanju z drugimi jeziki
  - Java, Python, Perl, Scala, …

(Mistry, Deep, 2013)

ARHITEKTURA NEO4J



(Bachman, 2013, p.11)

Povpraševalni jezik Cypher

- Eden od načinov za povpraševanje v Neo4j (ostalo: REST API , Gremlin, Core API + povezave z zunanjimi jeziki, …)
- Formulacija povpraševanj, ki temelji na razmerjih med podatki
- Specifikacija z vzorci (patterns)
- Primer vzorca (ustvarjanje povezave med konkretnima vozliščema):

```
MATCH (a:Person { name: 'Ann' }), (b:Person { name: 'Dan' })
      CREATE (a)-[:KNOWS]->(b)
```

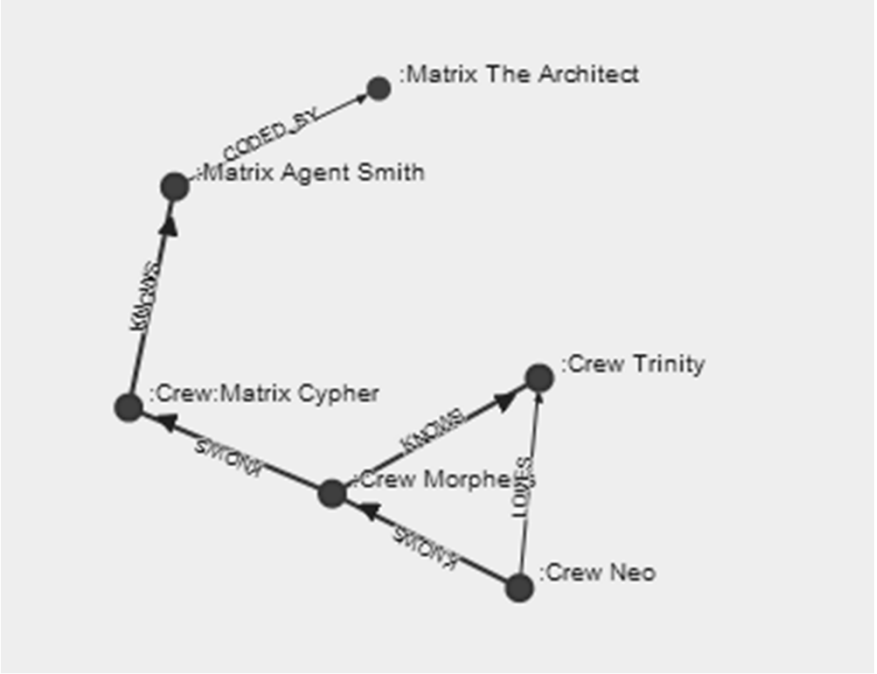
- Mnoge značilnosti izhajajo iz želje po odpravi težav relacijskih SUPB (npr. odprava stičnih tabel)

(Hunger, Michael 2013)

CYPHER

```
CREATE (Neo:Crew { name:'Neo' })
```

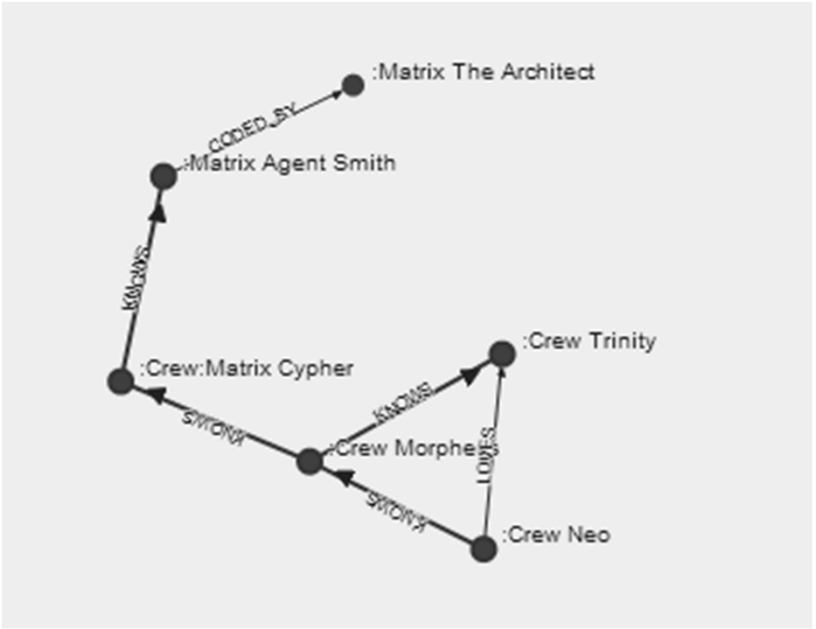
```
(Neo)-[:KNOWS]->(Morpheus)
```



(www.neo4j.org/learn/cypher)

CYPHER

```
Query:
MATCH (n:Crew)-[r:KNOWS*]-m
WHERE n.name='Neo'
RETURN n AS Neo,r,m
```



Neo	r	m
{name:"Neo"}	[(0)-[0:KNOWS]->(1)]	(1:Crew {name:"Morpheus"})
{name:"Neo"}	[(0)-[0:KNOWS]->(1), (1)-[2:KNOWS]->(2)]	(2:Crew {name:"Trinity"})
{name:"Neo"}	[(0)-[0:KNOWS]->(1), (1)-[3:KNOWS]->(3)]	(3:Crew:Matrix {name:"Cypher"})
{name:"Neo"}	[(0)-[0:KNOWS]->(1), (1)-[3:KNOWS]->(3), (3)-[4:KNOWS]->(4)]	(4:Matrix {name:"Agent Smith"})

(www.neo4j.org/learn/cypher)

KDO VSE UPORABLJA NEO4J?

Tudi:

- Ebay
- LinkedIn
- Walmart
- …

(www.neo4j.org)

Kdaj uporabiti grafni SUPB?

- Ključna vprašanja
  - Ali bomo obravnavali predvsem razmerja?
  - Kakšna bodo poizvedovanje?
- Grafni SUPB Neo4j je med najpogosteje uporabljanimi nerelacijskimi SUPB, popularnejši so le MongoDB (dokumentni), Cassandra (stolpčni), Redis (ključ-vrednost), Hbase (stolpčni).
- Najpopularnejši grafni SUPB (2020), poudarjeni so čisti grafni SUPB, neo4j ima več kot 50% delež

1. **Neo4j**
2. Microsoft Azure Cosmos DB
3. ArangoDB
4. OrientDB
5. Virtuoso
6. **JanusGraph**
7. Amazon Neptune
8. GraphDB
9. **Dgraph**
10. **Giraph**

Neo4j / grafni SUPB in skaliranje

- Horizontalno skaliranje grafov in izvajanje grafnih algoritmov je v splošnem problematično!
- Zakaj: tipično visoka povezanost netrivialnih grafov („six degrees of separation“), zato so potrebne poizvedbe med vozlišči
- Vendar: iskanje vzorcev je pogosto možno dobro paralelizirati (neodvisnost)
- Možne rešitve:
  - Popolna replikacija podatkov (grafov) na vseh vozliščih – ni vedno mogoče. Enostavno, vendar prostorsko potratno!
  - Omejevanje globine lokalnih povezav oz. poti (npr. do 3 lokalno, višje/daljše lahko tudi med vozlišči). Relativno zahteven pristop!
- Neo4j - tipična topologija: porazdeljeno branje, centralizirano zapisovanje, popolna replikacija podatkov

Neo4j - literatura

- Ian Robinson, Jim Webber, Emil Eifrém: Graph Databases, 2nd Edition, O'Reilly Media, https://neo4j.com/books/ (free)
- http://www.neo4j.org
- http://www.neo4j.org/learn/cypher
- Bachman, Michal (2013). GraphAware: Towards Online Analytical Processing in Graph Databases
  - http://graphaware.com/assets/bachman-msc-thesis.pdf
- Hunger, Michael (2012). Cypher and Neo4j
  - http://vimeo.com/83797381
- Mistry, Deep (2013). Neo4j: A Developer’s Perspective
  - http://osintegrators.com/opensoftwareintegrators%7Cneo4jadevelopersperspective
- Wikipedia (Neo4j, Graph Database)

Zaključek: nerelacijski SUPB – da ali ne?

- Ni standardnega povpraševalnega jezika.
- V primerjavi z relacijskimi PB problematično pisanje (nižjenivojski jeziki) in optimizacija poizvedb.
- Podpora transakcijam ACID. Ali jih res ne potrebujemo na dolgi rok?
- BASE zahteva trezen razmislek, sicer lahko vodi v zmedo.
- Kdaj torej uporabiti nerelacijske SUPB?
  - Zahtevana masivna (webscale) paralelizacija
  - Ni potrebe po transakcijah
  - Ne potrebujemo enovitega, standardnega povpraševalnega jezika

Za kaj oz. kdaj je torej primeren NoSQL

- Netransakcijski sistemi
- Enozapisne, komutativne transakcije
- Neprimerno za sodobne OLTP sisteme
- Ne potrebujemo enovitega povpraševalnega jezika
  - programska koda
  - CQL, UnQL (po zgledu SQL, nestandardno, nekompatibilno)