Adatbázisrendszerek
12. előadás: NoSQL adatbázisok
Alapfogalmak, NoSQL rendszerek és adatmodellek, NoSQL adatmodellezés

2021. május 10.

DEBRECENI EGYETEM

Előadás vázlata

12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

Konzisztencia

ACID vs BASE

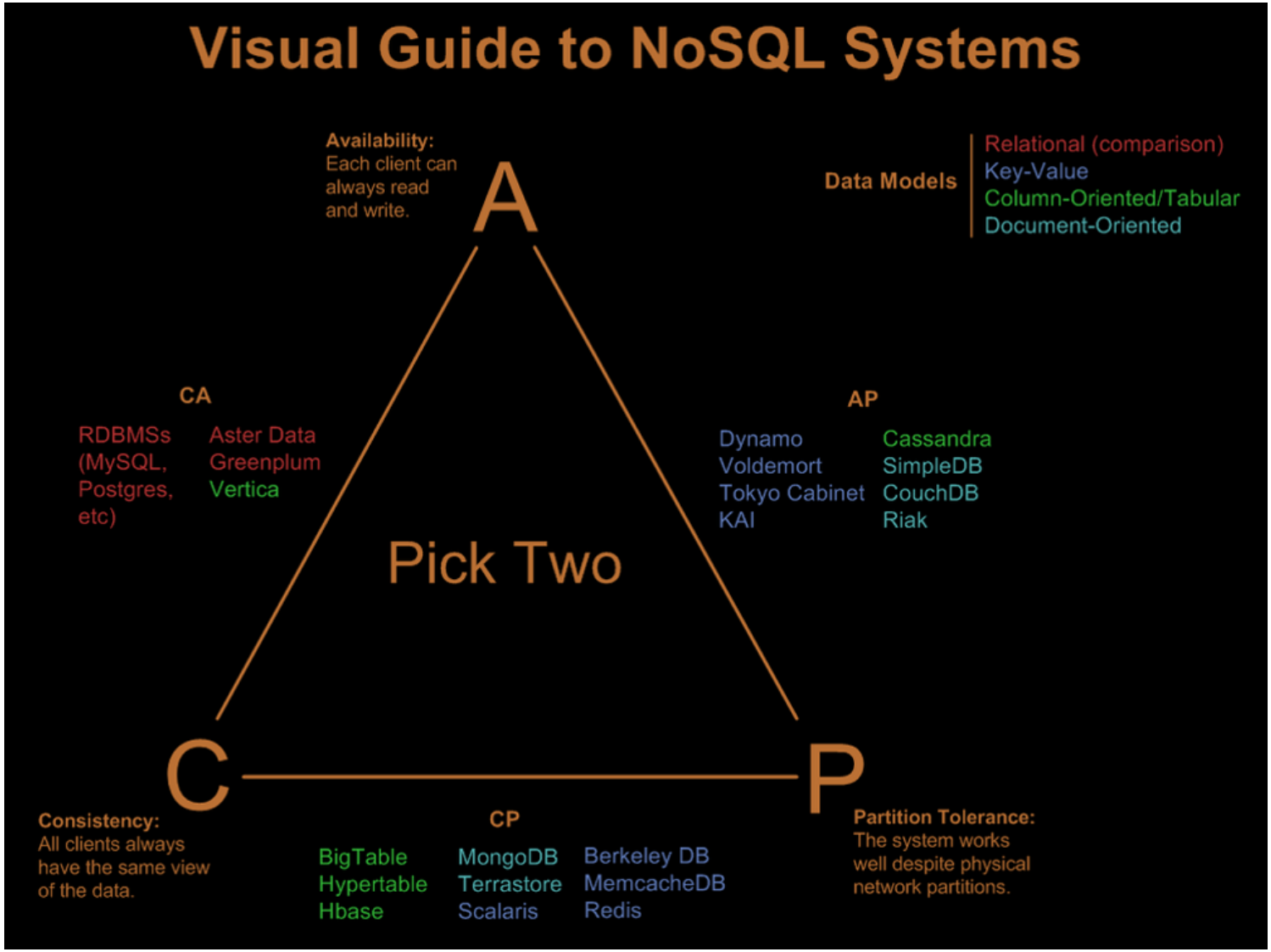
NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adat-modellezés

- CAP tétel
- Konzisztenciafajták
- BASE versus ACID
- NoSQL adatmodellek
  - Kulcs–érték modell
  - Rendezett kulcs–érték modell
  - Oszlopcsalád modell
  - Dokumentum modell
  - Gráfmodell
- NoSQL adatmodellezési technikák

NoSQL rendszerek osztályozása



CAP tétel

Állítás: Egy elosztott rendszer az alábbi három alapvető képesség közül legfeljebb kettőt tud megvalósítani:

- konzisztencia (consistency), minden csomópont egy adott pillanatban ugyanazt az adatot látja
- rendelkezésre állás (availability), minden kérésre érkezik válasz arról, hogy a kérés végrehajtása sikeres vagy sikertelen volt-e
- particionálástűrés (partition tolerance), a rendszer egy tetszőleges üzenet elvesztése vagy a rendszer egy részének hibája esetén is tovább működik – csak a teljes rendszer hibája, pl. egy generális hálózati hiba, okozhatja a működés hibáját

Irodalom

A tételt Eric Brewer fogalmazta meg:
A. Fox and E.A. Brewer, "Harvest, Yield and Scalable Tolerant Systems", Proc. 7th Workshop Hot Topics in Operating Systems (HotOS 99), IEEE CS, 1999, pp. 174-178.

Bizonyítva 2002-ben:
Seth Gilbert and Nancy Lynch, "Brewer's conjecture and the feasibility of consistent, available, partition-tolerant web services", SIGACT News 33, 2 (June 2002), pp. 51-59.

Továbbgondolva 2012-ben:
Brewer, E., "CAP twelve years later: How the "rules" have changed", Computer , vol.45, no.2, Feb. 2012, pp.23-29 .

Lehetőségek

- Elhagyni a particionálástűrést: rakjunk mindent egy gépre, vagy egyetlen, atomi módon elbukó egységre (pl. egy rack-be), skálázhatósági problémát jelent
- Elhagyni a rendelkezésre állást: egy esemény bekövetkezésekor az érintett szolgáltatások megvárják, amíg az adatok konzisztenciája helyreáll, ezalatt elérhetetlenné válnak (particionálástűrés másik oldala)
- Elhagyni a konzisztenciát: ez a valóságban is sokszor így van
  - egy árucikk-adatbázis konzisztens-e, ha a raktáros épp most tör össze valamit
  - ha egyszerre két rendelés érkezik egyetlen árucikkre, akkor csak az egyiket tudjuk azonnal kiszolgálni, de a másik is beszerzés alá kerül, ha erről értesítjük az ügyfelet (néha nem probléma, de helyfoglalásnál már igen)
  - a rendelkezésre állás sokszor fontosabb a konzisztenciánál

Konzisztenciafajták

- Kliens oldali konzisztencia: hogyan figyeljük meg az adatok változását?
- Szerver oldali konzisztencia: hogyan áramlanak a módosítások keresztül a rendszeren, és a rendszer milyen garanciákat tud adni a módosításokra vonatkozóan

Kliens oldali konzisztencia

- A kliens oldalán az alábbi komponensek helyezkednek el:
  - egy tárolórendszer: tekintsük fekete dobozként
  - egy A folyamat: írja és/vagy olvassa a tárolórendszert
  - B és C folyamatok: A-tól függetlenek, és szintén írják és/vagy olvassák a tárolót, az információ megosztása érdekében kommunikálniuk kell
- A kliens oldali konzisztencia arról szól, hogy a megfigyelők (ez esetben az A, B és C folyamatok) hogyan és mikor látják a tároló egy adatobjektumának változását. Feltesszük, hogy az A folyamat végezte a módosítást. Három konzisztenciafajtáról beszélhetünk:
  - erős konzisztencia (strong consistency)
  - gyenge konzisztencia (weak consistency)
  - esetleges konzisztencia (eventual consistency)

12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

Konzisztencia

ACID vs BASE

NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adat-modellezés

Miután a módosítás végrehajtódott, minden (akár A, akár B, akár C által végzett) hozzáférés a módosított értéket adja eredményül.

Gyenge konzisztencia

- A rendszer nem garantálja, hogy a későbbi hozzáférések a módosított értéket adják eredményül.
- Több feltételnek is teljesülnie kell, mielőtt az érték visszaadásra kerül.
- A módosítás megtörténte és azon pillanat közötti időszakot, amelyre már garantált, hogy minden megfigyelő mindig a módosított értéket látja, inkonzisztenciaablaknak (inconsistency window) nevezzük.

Esetleges konzisztencia

12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

Konzisztencia

ACID vs BASE

NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adat-modellezés

- A gyenge konzisztencia egy speciális formája: a tárolórendszer garantálja, hogy amennyiben az objektumra nem érkezik új változtatás, végül majd minden hozzáférés az utoljára módosított értéket adja vissza.
- Ha nem történik hiba, akkor az inkonzisztenciaablak maximális mérete olyan tényezők alapján meghatározható, mint amilyen a kommunikáció késleltetése, a rendszer terhelése, vagy a replikációs sémába bevont replikák száma.
- A legismertebb esetleges konzisztenciájú rendszer a doménnév-feloldó szolgáltatás (domain name system, DNS).

Szerver oldali konzisztencia

12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

Konzisztencia

ACID vs BASE

NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adat-modellezés

Legyen

- N az adatok replikáit tároló csomópontok száma
- W azon replikák száma, amelyeknek a módosítás véglegesítését megelőzően nyugtázniuk kell a módosítás beérkezését
- R azon replikák száma, amelyeket érinteni kell akkor, ha egy adatobjektumra olvasási művelet érkezik

Ha $W + R > N$, akkor erős konzisztencia áll fenn: az írók és az olvasók között biztosan van átfedés.

Ha $W + R \leq N$, akkor gyenge/esetleges konzisztencia van: elképzelhető, hogy írók és olvasók között nincs átfedés.

Szerver oldali konzisztencia

Példa: replikáció relációs adatbázis-kezelő rendszerben

- szinkron módon: a replika módosítása is a tranzakció része, ekkor pl. $N = 2, W = 2$ (a szinkron replikáció miatt), $R = 1$, vagyis erős konzisztencia van, hiszen mindegy, a kliens melyik replikát olvassa, konzisztens választ fog kapni (probléma akkor van, ha valamelyik csomópont nem elérhető)
- aszinkron módon: a másolat a tranzakciótól függetlenül, többnyire késleltetve jön létre (pl. a naplóbejegyzések átvitelével és rágörgetésével), ekkor pl. $N = 2$, $W = 1$, $R = 1$ vagyis $R + W = N$, a konzisztencia nem garantálható (vagy a módosított csomópontról olvasunk, vagy a másikról, ahová még nem biztos, eljutott a napló)

Particionálási módszerek

- Horizontális particionálás: a különböző egyedelőfordulásokat azok adatainak egyben tartásával különböző elemekre osztjuk
  - különböző sorok különböző táblába kerülnek, pl. eladási adatok esetén régiók alapján osztunk
  - egy egyedelőfordulás összes adata egyazon partícióra kerül
  - shardingról akkor beszélünk, ha az egyedelőfordulásokat az adatbázis-kezelő rendszer több példánya között osztjuk szét
- Vertikális particionálás: az egyedelőfordulások adatait szétbontjuk
  - kevesebb oszloppal rendelkező táblákat készítünk, a maradék oszlopokat pedig további táblákba helyezzük
  - ilyen pl. a normalizálás

ACID versus BASE

12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

Konzisztencia

ACID vs BASE

NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adat-modellezés

ACID: Atomicity, Consistency, Isolation, Durability

- Erős konzisztencia
- Konzervatív (pesszimista) ütemezés
- Bonyolult (séma)evolúció
- Középpontban a commit

BASE: Basically Available, Soft-state, Eventually consistent

- Egyszerűbb és gyorsabb
- Esetleges konzisztencia
- Agresszív (optimista) ütemezés
- Könnyebb evolúció
- Körülbelüli válaszok elegendőek

Agresszív és konzervatív ütemezés

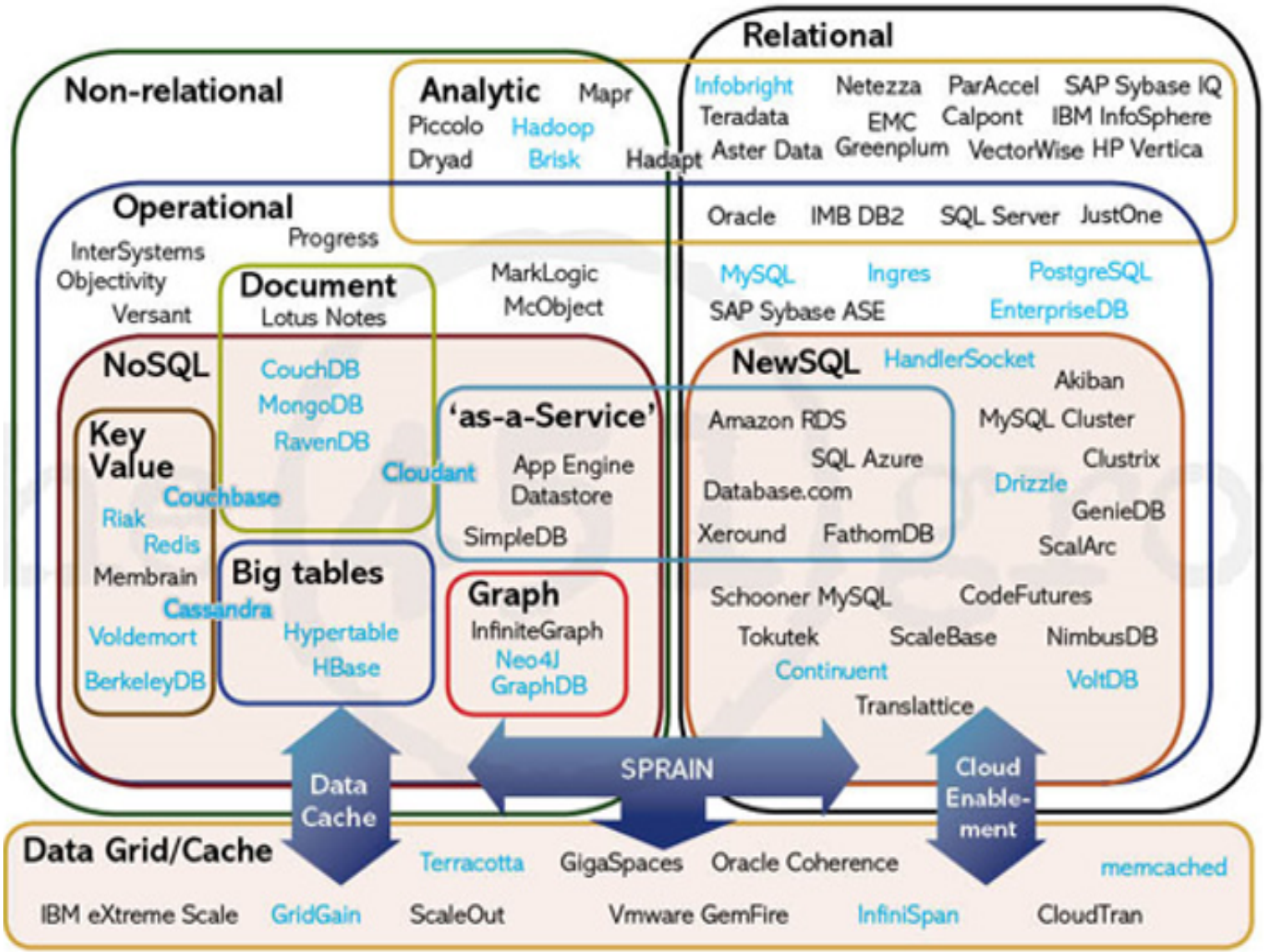
Ha a tranzakciókezelőtől befut egy kérés az ütemezőhöz, 3 lehetőség van:

1. Azonnal végrehajtani
2. Késleltetni (sorba állítani)
3. Visszautasítani (abortálni)

Az agresszív (optimista) stratégia az 1) pontot favorizálja, azzal együtt, hogy amit adott időn belül nem lehet befejezni, vagy problémát okozna, ott a 3)-ast javasolja.

A konzervatív (pesszimista) megközelítés szerint a 2) a jó.

Adatbáziskezelő rendszerek



NoSQL projektek

12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

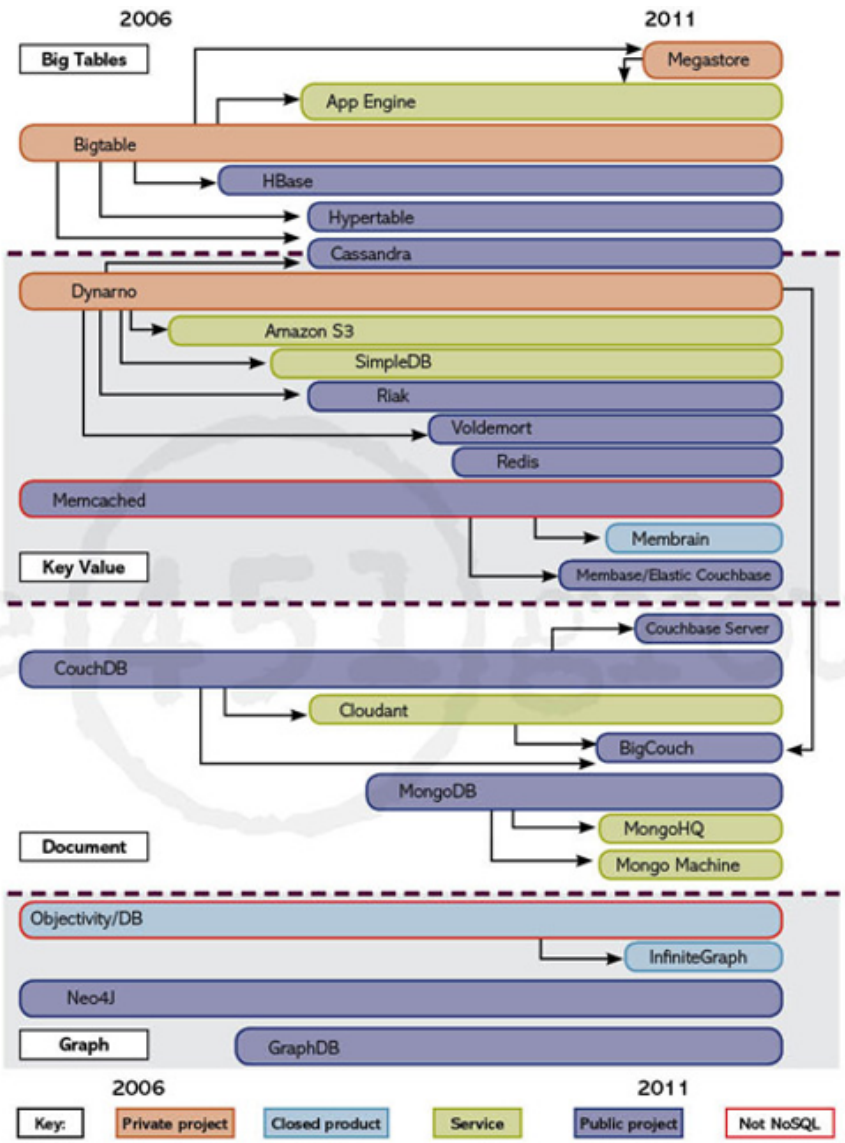
Konzisztencia

ACID vs BASE

NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adatmodellezés



NoSQL projektek

12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

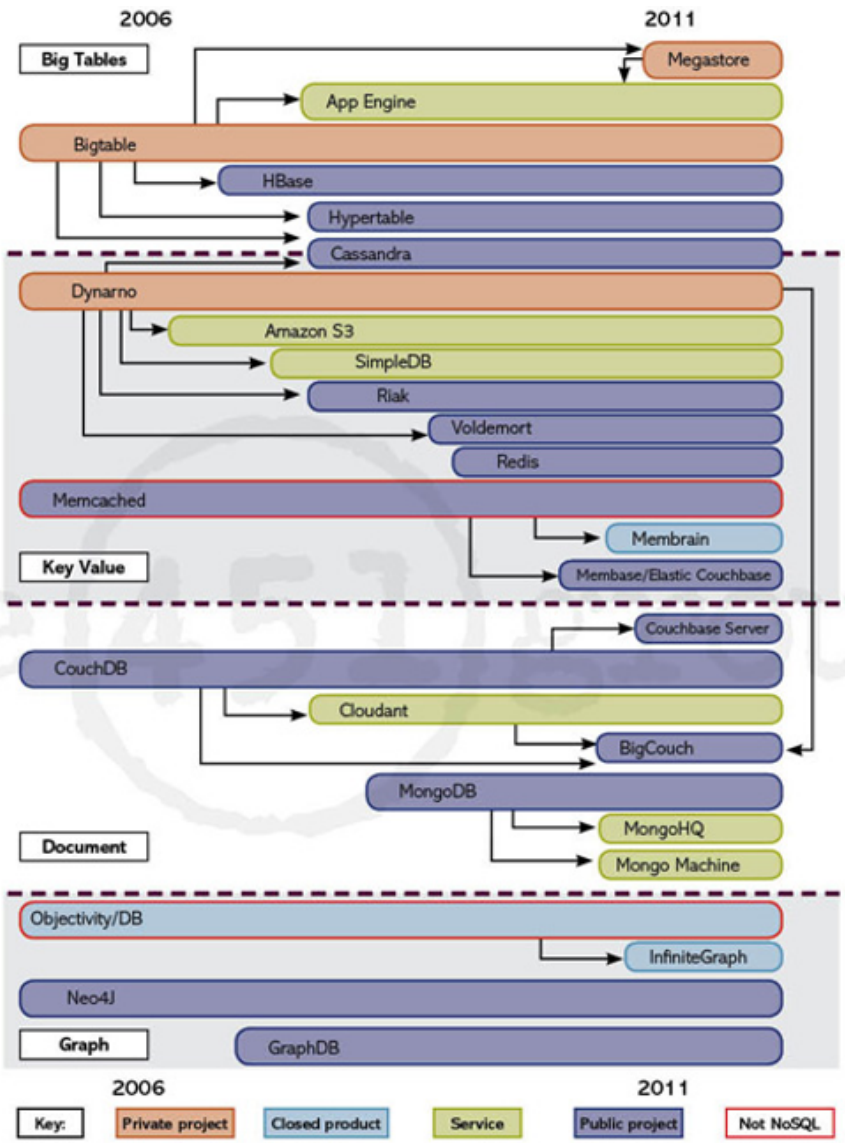
Konzisztencia

ACID vs BASE

NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adatmodellezés



12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

Konzisztencia

ACID vs BASE

NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adat-modellezés

- Felhasználóorientált kapcsolattartásra tervezve
- Fontos az aggregált jelentések készítése → csoportképzés (group by)
- Nem várható el a felhasználóktól, hogy kezeljék a konkurenciát, adatintegritást, konzisztenciát és az adattípusok validációját → tranzakciós garanciák, sémák, hivatkozási integritás
- Az alkalmazásoknak nincs szüksége olyan gyakran adatbázisbeli aggregációra és sok esetben képesek az integritás és validitás megvalósítására: ezen funkciók megszüntetése nagy hatással van a teljesítményre és a skálázhatóságra!

Adatmodellek evolúciója

- Kulcs–érték modell: (K, V) párok együttese, ahol K kulcs, V pedig egy érték, kiterjesztése a rendezett kulcs–érték modell: kulcstartományok feldolgozása + megnövelt aggregációs képesség
- Oszlopcsalád/BigTable modell: az értékeket mint map-of-maps-of-maps modellezi, oszlopcsaládok, oszlopok és időbélyeggel ellátott verziók segítségével
- Dokumentum modell: a sémák tetszőleges bonyolultságúak lehetnek (nem csak map-of maps), adatbázis által kezelt indexek is megjelennek
- Gráf modell: a rendezett kulcs–érték modellből származó oldalág, egyedek transzparens modellezése (pl. függőség)

Méret versus komplexitás

12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

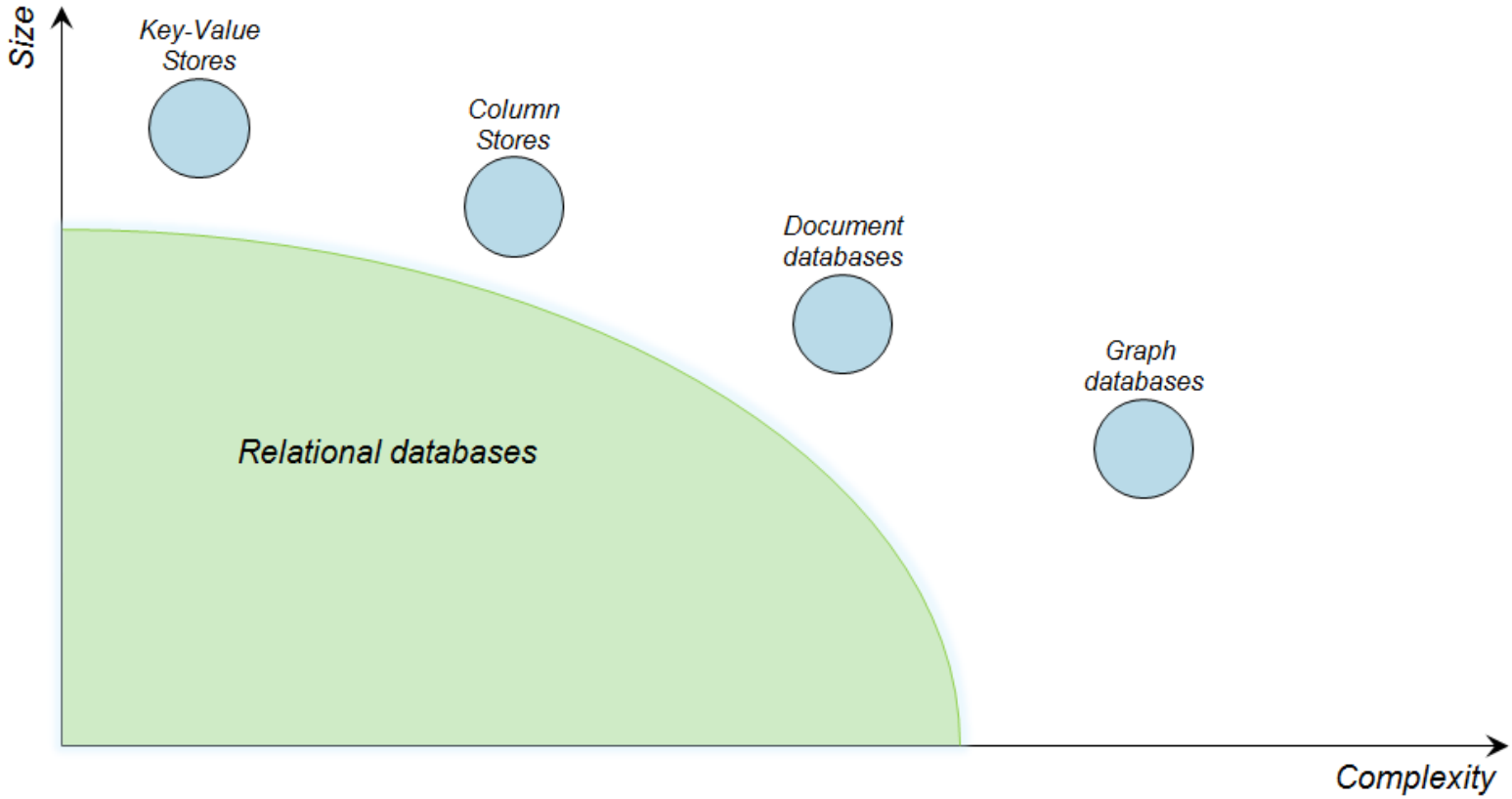
Konzisztencia

ACID vs BASE

NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adat-modellezés



Kulcs–érték tárolók (KVS)

12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

Konzisztencia

ACID vs BASE

NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adat-modellezés

- KVS: key-value store
- Az ezen az elven felépülő adattárak egyszerű hashtáblák
- Az érték egy blob, amit az adattár csak tárol, anélkül, hogy tudná és érdekelné, mit tartalmaz (ennek értelmezése teljesen az alkalmazás felelőssége)
- Osztott adattárakban általában esetleges konzisztenciájú adatokkal dolgozunk (eventual consistency) amelyek „előbb-utóbb” konzisztensek lesznek
- A skálázhatóságot particionálás (sharding) segítségével valósítja meg: a kulcs értéke alapján dől el, hogy a kulcs–érték párt melyik csomóponton kell tárolni (replikációra is szükség lehet!)

Példa

A lastVisit kulcshoz tartozó érték az utolsó látogatás időbélyege, a user kulcshoz tartozó érték pedig egy táblázat, amely az ügyfél-azonosítót, az ügyfél nevét és országkódját, valamint az időzónát tárolja.

```
{
  "lastVisit":1324669989288,
  "user":{
    "customerId":"91cfdf5bcb7c",
    "name":"Márton Ispány",
    "countryCode":"HUN",
    "tzOffset":"CET"
  }
}
```

Kulcs–érték tárolók

Mikor használjuk?

- Munkamenetadatok (lehetséges kulcs: sessionid)
- Bevásárlókosarak adatai (lehetséges kulcs: userid)
- Felhasználói profilok, beállítások

Mikor ne használjuk?

- Ha kapcsolatok vannak az adatok között
- Többműveletes tranzakciók esetén: pl. ha több kulcs mentésekor valamelyik sikertelensége esetén a többi hatását is vissza szeretnénk vonni
- Ha a lekérdezést az adatok (és nem pedig a kulcsok) alapján kell elvégezni
- Ha kulcsok halmazán kell műveletet végezni

Rendezett kulcs–érték tárolók

12. előadás: NoSQL adatbázisok

Bevezetés

CAP tétel

Konzisztencia

ACID vs BASE

NoSQL rendszerek

NoSQL adatmodellek

NoSQL adat-modellezés

- A kulcsok növekvően rendezettek (mint egy szótárban)
- Sok rekord feldolgozásánál könnyen skálázható (scaling-out)
- Kétféle keresés:
  - pontos
  - tartomány

Oszlopcsaládok

- BigTable-szerű adatbázisok
- Oszlopcsalád: kapcsolódó – gyakran együttesen elért – adatok csoportja, sorokban tárolva
- Egy sor kulcsához számos oszlop tartozik
- Egy oszlop egy kulcs–érték pár (oszlopnév-oszlopérték)
- Minden oszlophoz tartozik egy időbélyeg: pl. adatok lejártságának eldöntésére, írási konfliktusok feloldására

Példa egy oszlopra:

```
{
    name:  "fullName",
    value:  "Márton Ispány",
    timestamp:  12345667890
}
```

Oszlopcsaládok

Mikor használjuk?

- Eseménynaplózás
- Tartalomkezelő rendszerek, blog platformok
- Számlálók: pl. egy webalkalmazásban meg kell számolni és kategorizálni kell az oldalak látogatóit
- Lejáró oszlopok: pl. demóhozzáférés vagy megadott ideig mutatott hirdetések, a nem kellő oszlopok egy megadott idő (time to live, TTL) után automatikusan törlődnek.

Mikor ne használjuk?

- Ha ACID tranzakciókra van szükségünk
- Ha a lekérdezés mintái változnak: az oszlopcsaládok áttervezésére lehet szükség

Dokumentum-adatbázisok

- Dokumentumok tárolására és lekérésére szolgálnak: XML, JSON, BSON, stb.
- A dokumentumok önleíróak, hierarchikus szerkezetűek, kollekciókat és skalár értékeket tartalmazhatnak
- Úgy képzelhetjük el őket, mint olyan kulcs–érték tárolók, ahol az érték megvizsgálható (az maga a dokumentum)
- Egyetlen dokumentum szintjén atomi tranzakciókról beszélhetünk
- Skálázás: sharding segítségével, fontos a kulcs megválasztása

Dokumentum-adatbázisok

Mikor használjuk?

- Eseménynaplózás: különféle alkalmazásoknak különféle naplózási szükségleteik vannak, különféle események jönnek létre
- Tartalomkezelő rendszerek, blog platformok
- Webes ill. valósidejű analitika: a dokumentum egyes részeinek módosításával könnyen tárolhatók, pl. az oldalletöltések vagy az egyedi látogatók (új metrikákat is könnyen hozzáadhatunk)
- E-kereskedelmi alkalmazások: rugalmas szerkezetre van szükségük a rendelések és termékek tárolására

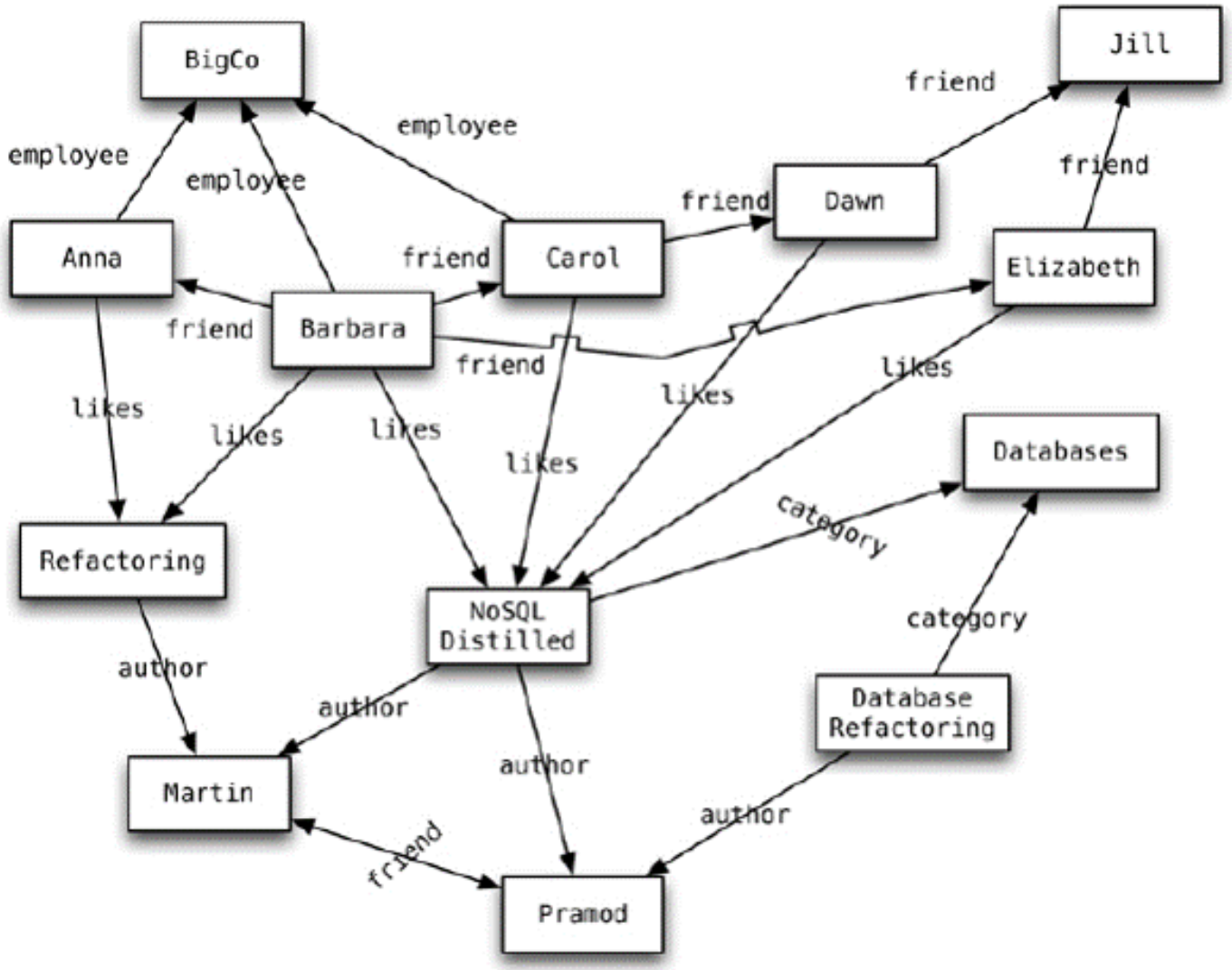
Mikor ne használjuk?

- Különböző műveleteken átívelő összetett tranzakciók esetén (bár léteznek atomi, dokumentumközi műveleteket támogató rendszerek, pl. RavenDB)
- Változó aggregátumokra vonatkozó lekérdezések esetén

Gráfadatbázisok

- Csomópontok: az egyedek tulajdonságokkal együtt történő leírásai
- Élek: irányítottak (az egyedek kapcsolatait írják le), van típusuk, lehetnek attribútumaik
- Egy lekérdezés tulajdonképpen egy bejárás
- Mivel összekapcsolódó csomópontokon operálnak, általában nem támogatják azok különböző szerverekre osztását (egy szerveren belül az adatok mindig konzisztensek)
- Skálázhatóság: nehéz ügy
  - RAM / csak olvasható hozzáférést biztosító csomópontok hozzáadása
  - szakterület-specifikus tudás alapján sharding

Gráfadatbázisok



Gráfadatbázisok

Mikor használjuk?

- Összekapcsolódó adatok: szociális, céges stb. hálók
- Útvonalválasztás, hely alapú szolgáltatások
- Ajánlói rendszerek

Mikor ne használjuk?

- Ha az összes (vagy elegendően sok) csomópontot módosítani kell
- Globális (a teljes gráfot érintő) gráfműveletek

NoSQL adatmodellezés

- A relációs modellével szemben alkalmazásorientált megközelítést használunk
  - a relációs modellezést az elérhető adatok szerkezete vezérli, „milyen válaszaim vannak?”
  - a NoSQL modellezést az alkalmazásfüggő elérési minták (vagyis a támogatandó lekérdezések fajtái) vezérlik, „milyen kérdéseim vannak?”
- Az adatszerkezetek és algoritmusok mélyebb megértését igénylik
- Az adattöbbszörözés és a denormalizáció alapértelmezés

Denormalizáció

- Ugyanazon adat több dokumentumba/táblába másolása a lekérdezésfeldolgozás egyszerűsítése ill. optimalizálása, vagy pedig a felhasználói adatok egy bizonyos adatmodellnek történő megfeleltetése érdekében.
- Kompromisszumok: Lekérdezési adatmennyiség vagy I/O per lekérdezés vs. összadatmennyiség, Feldolgozási bonyolultság vs. összadatmennyiség
- Alkalmazhatóság: kulcs–érték tárolók, dokumentum-adatbázisok, BigTable-szerű adatbázisok

Aggregátumok

- A kulcs–érték tárolók és a gráfadatbázisok általában nem rendelkeznek megszorítással az értékekre vonatkozóan. Pl. egy felhasználói account olyan összetett kulccsal rendelkező bejegyzések segítségével modellezhető, mint UserID_név, UserID_email vagy UserID_üzenetek stb. Ha egy felhasználónak nincsenek emailjei vagy üzenetei, akkor a megfelelő bejegyzés nem létezik.
- A BigTable alapú modellek egy oszlopcsaládon belüli oszlopok változó halmazával és egy cella változó számú verziójával biztosítja a soft schema képességeket.
- A dokumentum-adatbázisok természetüknél fogva nem rendelkeznek sémával, bár egyikük-másikuk lehetővé teszi a bejövő adatok felhasználó által definiált séma segítségével történő validációját.
- Alkalmazhatóság: kulcs–érték tárolók, dokumentum-adatbázisok, BigTable-szerű adatbázisok

Soft schema

Lehetővé teszi, hogy a komplex belső szerkezettel (pl. beágyazott egyedekkel) rendelkező egyedeket osztályokba soroljuk és variálhassuk az egyes egyedek szerkezetét. Ennek két fő előnye van:

- az $1 : N$ kapcsolatok beágyazott egyedek segítségével történő minimalizálása (és ezáltal az összekapcsolások számának csökkentése)
- az üzleti egyedek és a heterogén üzleti egyedek egyetlen dokumentumkollekció ill. tábla segítségével történő modellezésének „technikai” különbségeinek elrejtése

Példa: e-kereskedelmi termék

- Minden terméknek vannak attribútumai, amelyek minden termék számára közösek, pl. azonosító, ár, leírás.
- Különféle termékek azonban különböző attribútumokkal rendelkezhetnek (pl. könyv esetén szerző, farmer esetén hossz).
  - Ezen attribútumok némelyike $1 : N$ vagy $M : N$ természetű, mint a track a zenei albumok esetén.
  - Néhány egyed nem modellezhető fix típus segítségével, pl. a farmerek attribútumai gyártóspecifikusak vagy akár márkafüggők is lehetnek (félig strukturált szerkezet).
- Ez ugyan megoldható relációsan, de a megoldás messze nem elegáns.
- A soft schema lehetővé teszi, hogy egyetlen aggregátum (a termék) segítségével modellezhessük az összes terméktípust és attribútumaikat.