Adatvezérelt rendszerek

Lekérdezés optimalizálás

BME AUT
Automatizálási és
Alkalmazott
Informatikai Tanszék

Tartalom

Mi a lekérdezés optimalizálás célja?

Optimalizálás alapelvek

- Statisztikák alapján értékel
  - > Költség = Válaszidő (CPU + I/O idő)
- Triviális terv
  - > Egyszerűbb lekérdezéshez egyértelműen generálható
  - > Szabály alapú
- Ha nem készíthető triviális terv
  - > Összetett lekérdezések
  - > 3 fázisú optimalizáló

Fizikai terv

- Fizikai terv elemei
  - > Relációt beolvasó operátorok
    - – Logikai terv levél eleminek beolvasása
  - > Relációs algebrai műveletet végrehajtó operátor
- Tervek készítése
  - > Szabály alapú
  - > Költségbecslés alapú
    - – Tábla elérési módok
    - – Join operátorok megvalósítási módjai
    - – Join sorrend

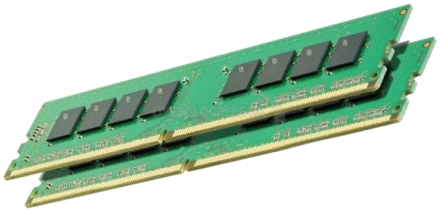
Jó tanácsok – 1

- Statisztikák legyenek naprakészek
  - > Elavult statisztika → rossz végrehajtási terv
  - > (Automatikus, hacsak nem kapcsoljuk ki stb.)
- Lekérdezés struktúrája
  - > SQL deklaratív környezet
    - – Gondolkodjunk procedurálisan is!
  - > Többféleképp is megfogalmazható ugyanaz
  - > Törekedjünk az egyszerűségre
  - > Kerüljük a select * -ot
  - > Jó struktúrával sokat lehet nyerni
    - – Csak ezután kísérletezzünk a hintek használatával

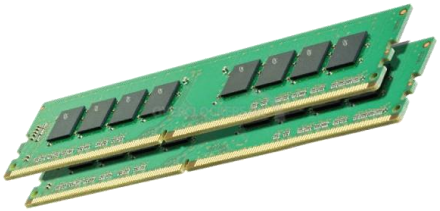
MongoDB indexek

- Index „csak" keresési célt szolgál
  - > (Hiszen nincs join)
- Index típusok
  - > Egyszerű & összetett
  - > Unique index
    - – primary key jellegű attribútumot így lehet garantálni
  - > Tömbök tartalmát is indexeli
  - > Beágyazott dokumentumokat is indexeli
  - > TTL, Geospatial, full text
- Indexet létre kell hozni
  - > Kivéve: _id-ra unique

Mi a lekérdezés optimalizálás célja?



Mi a lekérdezés optimalizálás célja?



Válaszidőt befolyásoló tényezők

- I/O költség
  - Adatbázisokban meghatározó
  - Moore törvény nem igaz rá
  - Speciális kezelési módok
  - Írás, olvasás, pozicionálás (seek)
- CPU használat
  - Komplex lekérdezések
  - Összetett számítások
- Memória használat
  - Cache hatás

Rövid történelem

- A '70-es évek: sötét idők, manuális optimalizáció
- '70-es, '80-as évek
  - Relációs adat és deklaratív SQL születése
  - Az optimalizálás a rendszer feladata
  - Join-ok sorrendjének optimalizációja stb.
    - Nagyságrendi különbségek!
  - Heurisztikus optimalizálás
- '80-as, '90-es évek
  - Költség alapú, teljesebb körű optimalizáció, push-downs
- '90-es évek
  - Indexelhető, materializált nézetek, adattárházak

Optimalizálás alapelvek

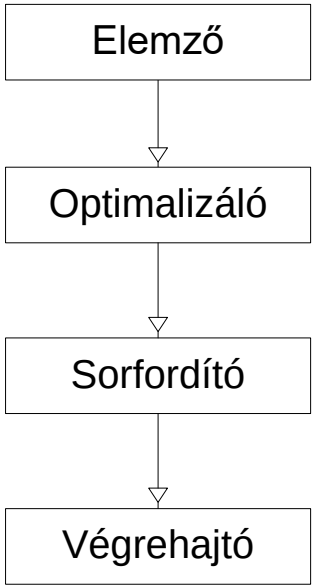
- Statisztikák alapján értékel
  - Költség = Válaszidő (CPU + I/O idő)
- Triviális terv
  - Egyszerűbb lekérdezéshez egyértelműen generálható
  - Szabály alapú
- Ha nem készíthető triviális terv
  - Összetett lekérdezések
  - 3 fázisú optimalizáló

Háromfázisú optimalizáció

- Ha nincs triviális terv
- 0. Fázis
  - Egyszerű átalakítások
  - Preferált hash join
  - Ha a költség < X → végrehajtás
- 1. Fázis
  - Kibővített átalakítások
  - Ha a költség < Y → végrehajtás
- 2. Fázis
  - Párhuzamos végrehajtás vizsgálata

Lekérdezés feldolgozás menete

- Elemző
  - Lekérdezés fordítása
  - Logikai terv készítése
- Optimalizáló
  - Fizikai terv elkészítése
  - Táblák bejárása
  - Táblák összekapcsolása
- Sorfordító
  - Fizikai terv leképezése I/O műveletekre
- Végrehajtó
  - Műveletek végrehajtása



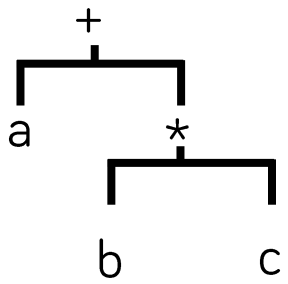
Microsoft SQL Server

Logikai végrehajtási terv

Logikai végrehajtási terv elemei

- Elemző fa
  - Relációk (levél elemek)
  - Műveletek (csomópontok)
  - Adatok áramlása (lentről fölfelé)
- Relációs algebra műveletek
  - Descartes-szorzat ($R \times S$)
  - Projekció ($\pi_L(R)$)
  - Szelekció/kiválasztás ($\sigma_F(R)$)
  - Összekapcsolás ($R \bowtie S$)
  - Ismétlődések szűrése ($\delta(R)$)
  - Csoportosítás ($\gamma_L(R)$)
  - Rendezés ($\tau_L(R)$)

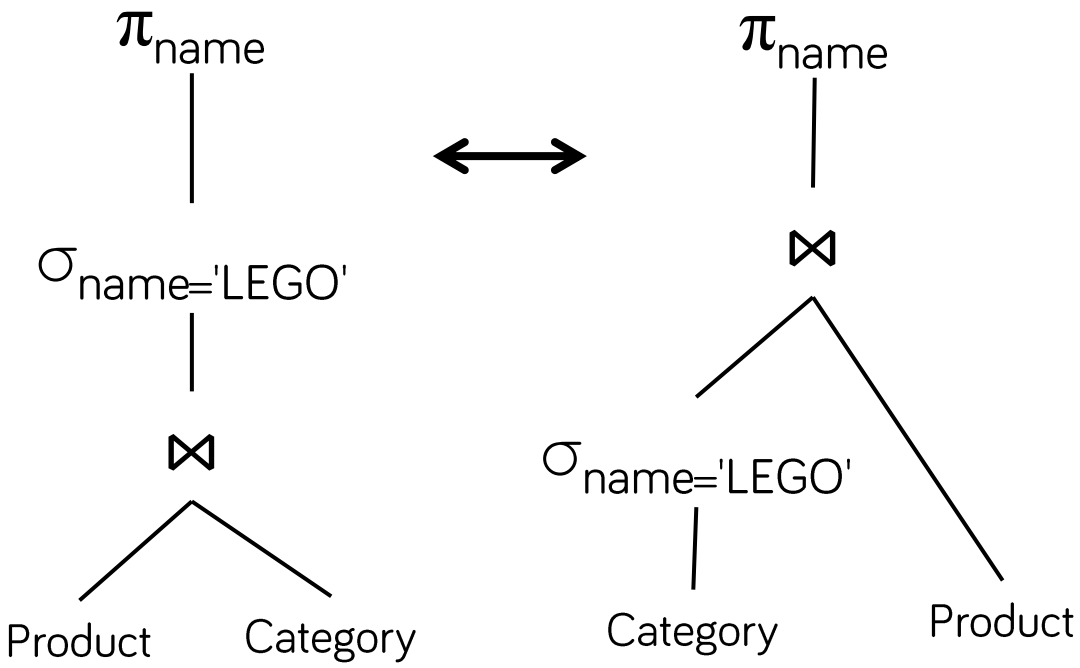
a + b * c



Egyszerű lekérdezés elemző fája

- Egyszerű lekérdezés, több, ekvivalens logikai terv

```
SELECT p.name
from Product p
join Category c on p.CategoryID = c.ID
where c.Name = 'LEGO'
```

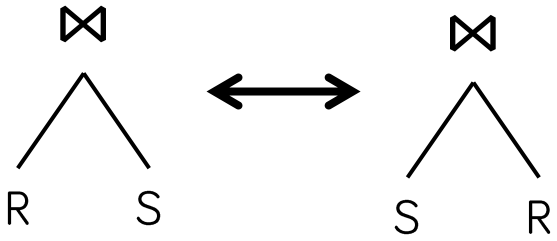


Elemzőfa átalakítása

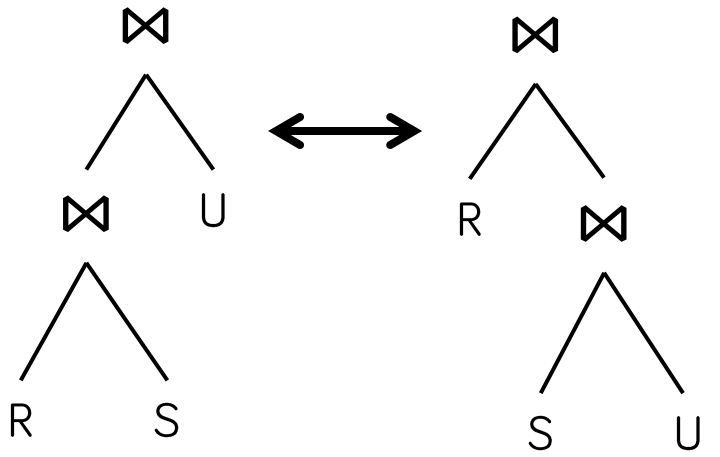
- Ekvivalens átalakítások
  - Ugyanazt az eredményhalmazt adják
- Legkisebb költségű logikai terv keresése
  - Dinamikus programozás
  - Heurisztika alkalmazása
- Fizikai végrehajtási terv keresési terének vágása
  - Költség becslés alapján

Ekvivalens átalakítások 1

- Kiválasztás
  - Felcserélési szabály: $\sigma_{F1}(\sigma_{F2}(R)) = \sigma_{F2}(\sigma_{F1}(R))$
  - Szétvágási szabály:
    - $\sigma_{F \text{ and } G}(R) = \sigma_F(\sigma_G(R))$
    - $\sigma_{F \text{ or } G}(R) = \sigma_F(R) \text{ UNION } \sigma_G(R)$

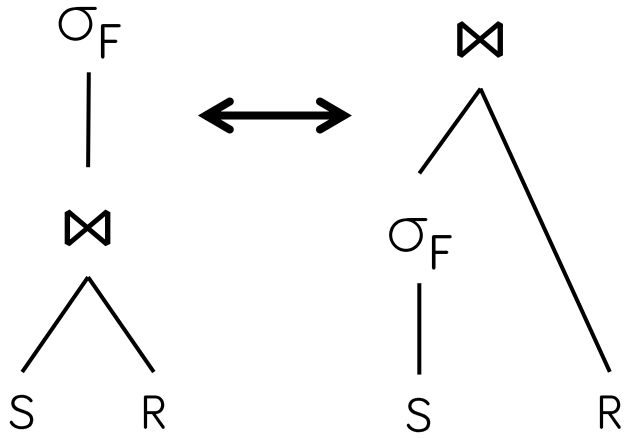


- Összekapcsolás
  - $R \bowtie_F S = \sigma_F(R \times S)$
  - $R \bowtie S = S \bowtie R$
  - $(R \bowtie S) \bowtie U = R \bowtie (S \bowtie U)$



Ekvivalens átalakítások 2

- Összekapcsolás és kiválasztás
  - $\sigma_F(R \bowtie S) = \sigma_F(R) \bowtie S$
    - ha R-ben szerepel minden F-ben vizsgált attribútum
  - $\sigma_F(R \bowtie S) = R \bowtie \sigma_F(S)$
    - ha S-ben szerepelnek az F-ben vizsgált attribútumok
  - $\sigma_F(R \bowtie S) = \sigma_F(R) \bowtie \sigma_F(S)$
    - ha R-ben és S-ben is szerepelnek F attribútumai
- Ismétlődések
  - $\delta(\gamma_L(R)) = \gamma_L(R)$
  - $\delta(R \times S) = \delta(R) \times \delta(S)$
    - Join operátorokra is igaz



Optimalizálás

- Mi a legjobb sorrendje a r1 ⋈ r2 ⋈ . . . ⋈ rn kifejezésnek?
- Ha n=7 -> 665280 lehetőség
- Ha n=10 -> 176 milliárd lehetőség
  - > Dinamikus programozással 59000 alternatíva
- Rengeteg egyéb tényező
  - > Merge-join lassabb, de rendezett halmazt ad
- …
- -> Túl nagy az optimalizálás költsége

Heurisztika: szabályok

- Szűrjünk minél előbb
  - Kiválasztás (szelekció, szűrés) műveletek lefelé mozgatása a fában
- Projektáljunk minél előbb
  - Csökkenti az attribútumokat
- A legerősebb szűréssel kezdjünk
- A legszűkebb joinokkal kezdjünk
  - Az átmeneti halmaz kisebb
  - Direkt szorzat csak akkor ha a lekérdezés erre utasít
    - `select * from Category, Product`

Fizikai terv

- Fizikai terv elemei
  - Relációt beolvasó operátorok
    - Logikai terv levél eleminek beolvasása
  - Relációs algebrai műveletet végrehajtó operátor
- Tervek készítése
  - Szabály alapú
  - Költségbecslés alapú
    - Tábla elérési módok
    - Join operátorok megvalósítási módjai
    - Join sorrend

Nested loop join

- Egymásba ágyazott kettős for ciklus $r \bowtie_\theta s$ számítására

```
for each tuple t_r in r do begin
    for each tuple t_s in s do begin
        test pair (t_r,t_s) to see if they satisfy the join condition θ
        if they do, add t_r • t_s to the result.
    end
end
```

- **Tetszőleges méretű táblákra** működik
  - Nagy méret esetén: a két tábla egy-egy blokkját tartja memóriában
- **Nagyon kis táblákra a leggyorsabb**
- Lehetőséget ad csővezeték használatára
- I/O költség
  - *O(blokk_szám_1 * blokk_szám_2)*

Hash join

- **Nem rendezett táblák, legalább az egyik kicsi**
- Első menetben
  - **Kisebb reláció beolvasása**
  - Vödrös hash építése a memóriában / diszken
    - Kulcs a join operátorban szereplő oszlop
- Második menet
  - A nagyobbik reláció beolvasása
  - Kapcsolódó rekordok keresése a vödrös hashben
- I/O költség
  - *O(blokk_szám_1 + blokk_szám_2)*

Sort Merge Join

- **Ha már mind a két tábla rendezve van**
  - Ha nincs, a rendezés az összekapcsolási kulcs szerint plusz költség
  - Lehet memóriában vagy diszken
- A két ***rendezett listát*** összefésüli
  - Listák közös bejárása
- **Azonos méretű relációk esetén**
  - **Különösen, ha rendezett a két tábla**
- I/O költség
  - *O(blokk_szám_1 + blokk_szám_2)*

Táblaelérési módok

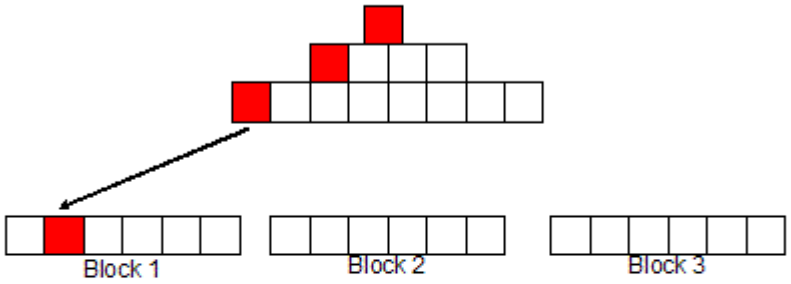
- Alapvetően két féle megközelítés
  1. **Table scan - Teljes átvizsgálás**
     - Ha nincs alkalmazható index
     - Ha minden rekordra szükség van
     - Kis táblák esetén
     - A táblára vonatkozó szűrési feltételt is kiértékeli
  2. Index alapú átvizsgálás
     - Szűrés esetén, ha a szűrési feltételre létezik index
     - Rendezés esetén, ha a rendezési feltételre létezik index

Indexelt táblaelérési módok

- Clustered index **scan**
  - Nyalábolt adatolvasás
  - Az adatblokkok index szerint vannak rendezve
  - Clustered index primary key mentén létrejön
  - Table scan helyett ezt preferálja
- Nonclustered **index scan**
  - Hasonló, mint a clustered index scan
  - Alapvetően az '=' operátor kiértékelésére
- Clustered/Nonclustered **index seek**
  - Hasonló az index scan-hez
  - B* fa leveleinek bejárása egy kezdőelemtől
    - A '>', '**between**', '<' operátorok kiértékelése

MS SQL Server indexei

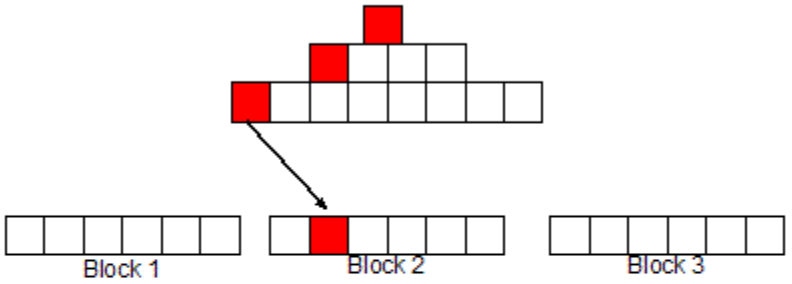
- Clustered / non-clustered



Select order_nbr, item_name from ordor natural join item;

Clustered table rows

Clustering_factor ~= blocks



Select order_nbr, item_name from ordor natural join item;

Un-Clustered table rows

Clustering_factor ~= num_rows

Forrás: http://www.dba-oracle.com/t_table_row_resequencing.htm

MS SQL Server indexei

- B* fa alapú indexek
  - Egyszerű
  - Összetett
    - Hierarchikus
  - Clustered
    - Adatblokkok sorrendje index szerint
    - Egy táblán egy lehet
    - Definiált elsődleges kulcs mentén automatikusan létrejön

Indexek sajátosságai – 1

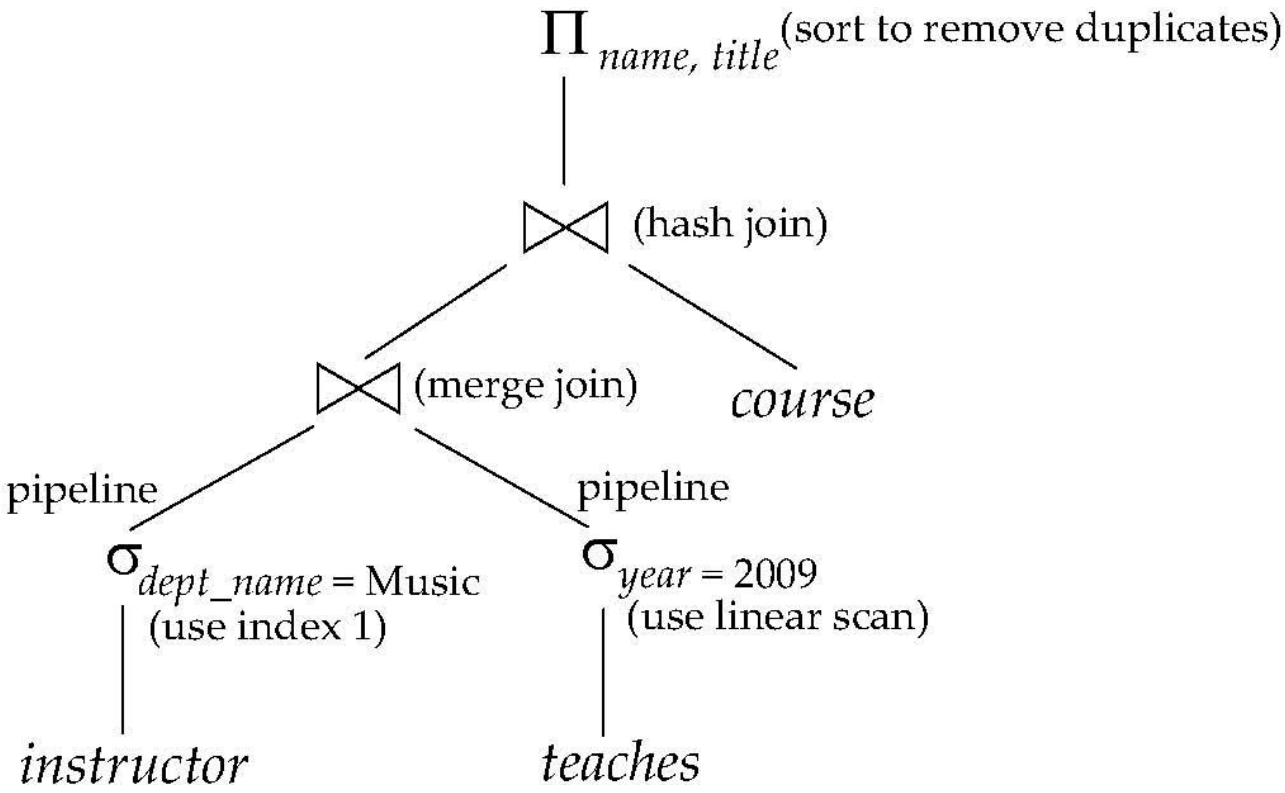
- Cover index (included column)
  - > B^* fa levelének bővítése oszlopokkal
  - > Nem kell kiolvasni a tényleges rekordot
- Clustered és non clustered indexek együttes használata
  - > Nonclustered index levél eleme
    - – Nem fizikai címet tartalmaz
    - – Kulcs érték a clustered indexre
  - > Indirekció, dupla index olvasás

Indexek sajátosságai – 2

- Indexelt nézetek
  - Nézet eredményének tárolása
    - Materialized view
  - Index is rendelhető hozzá

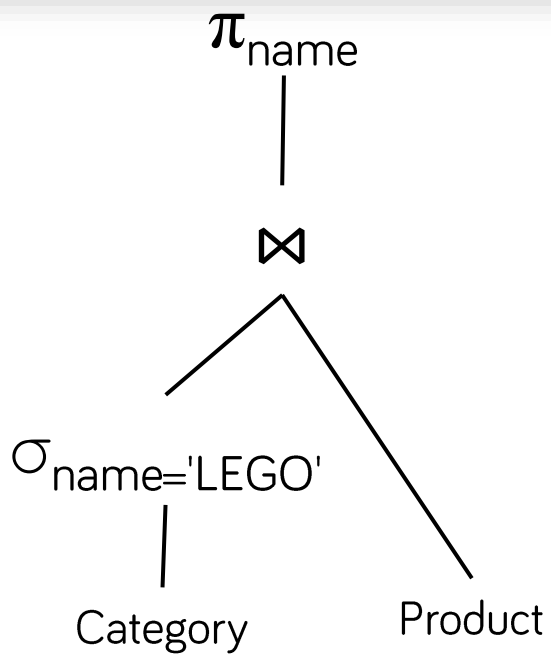
Végrehajtási terv

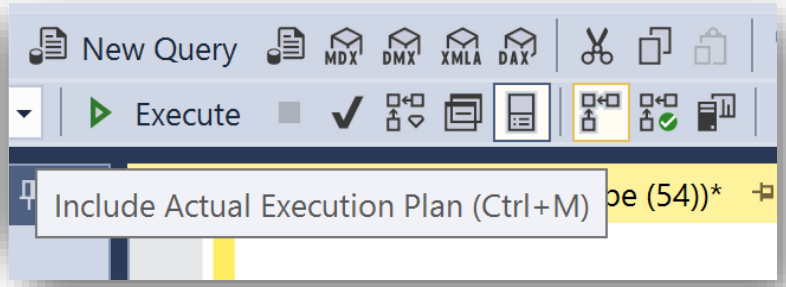
- Definiálja, hogy pontosan milyen műveletet hajt végre az egyes csomópontokban

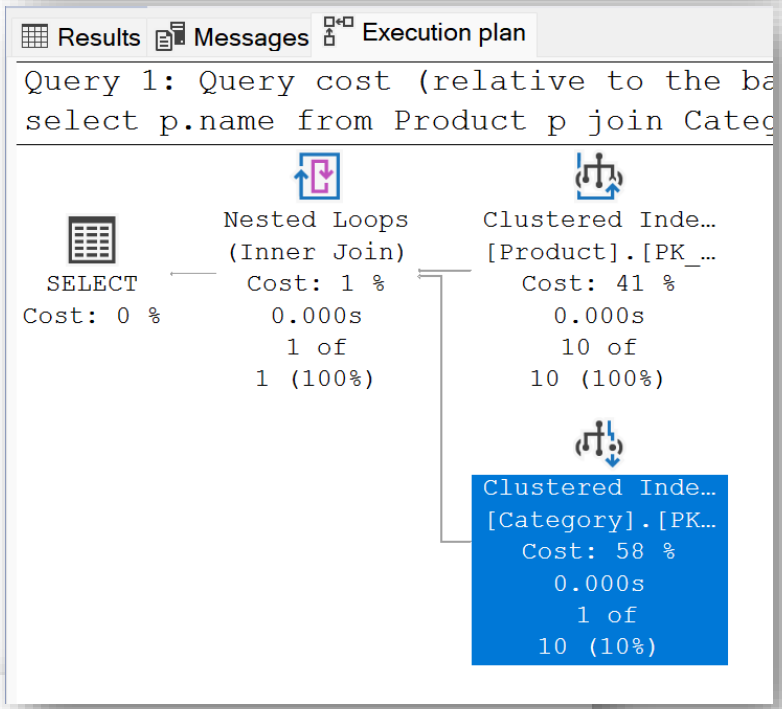


Végrehajtási terv megnézése

```
select p.name from Product p
join Category c on p.CategoryID = c.ID
where c.Name = 'LEGO'
```





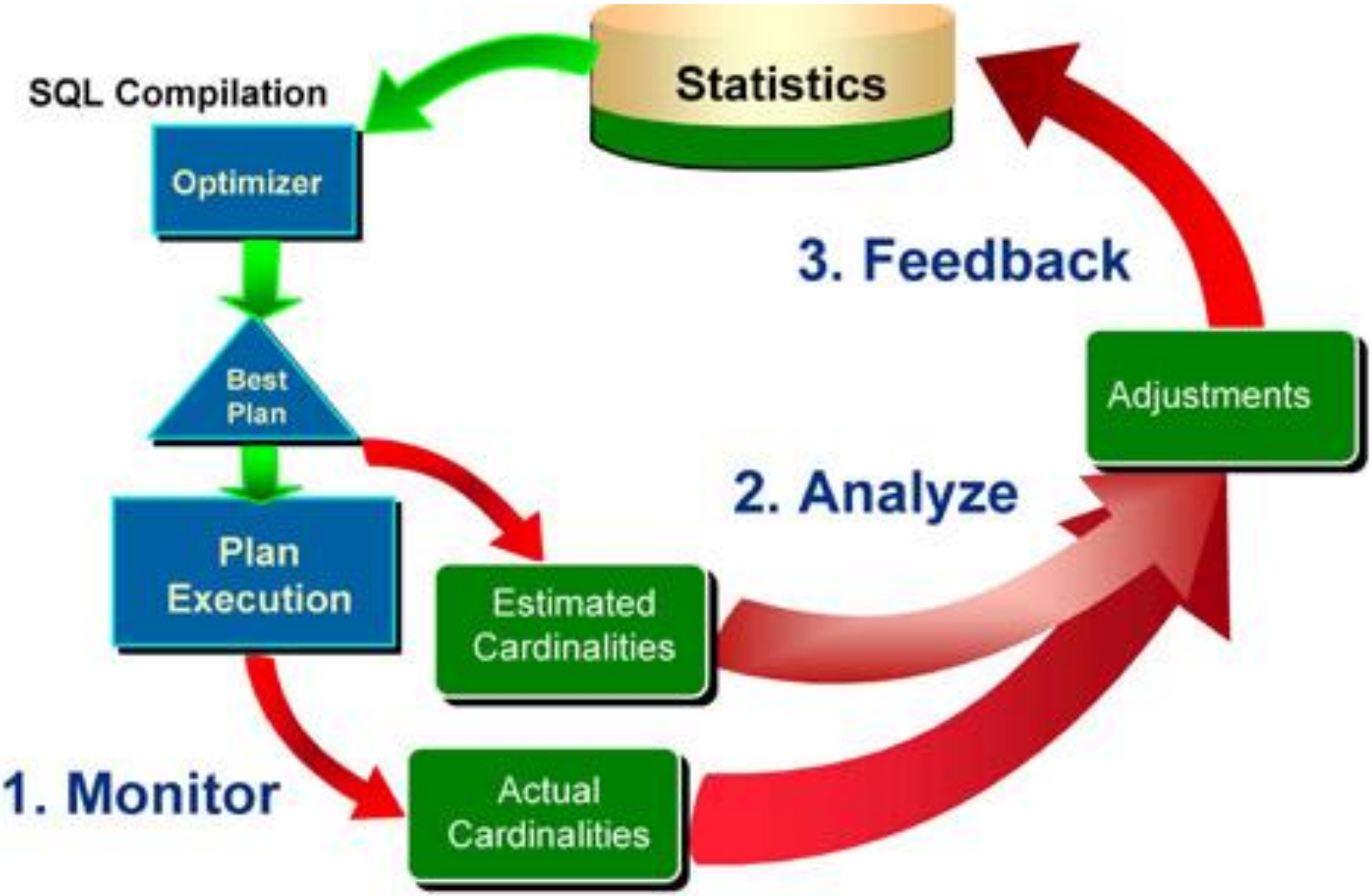


Parallel	False
Physical Operation	Clustered Index Seek
Predicate	[M22XDS].[dbo].[Category].[Name] as [c].[Name]=N'LEGO'
Scan Direction	FORWARD

Végrehajtási terv alternatívák

- Több terv alternatíva lehet, melyik optimális?
  - Hatalmas különbségek: másodpercek vagy napok
  - A költség azon múlik, hogy az egyes fázisoknál hány sor az eredmény
  - Ezt statisztikák alapján becsli a rendszer
    - -> Önhangoló adatbázis, szükség esetén újratervez
- Plan cache
  - Végrehajtási terv cache
  - Ha ugyan olyan struktúrájú lekérdezés jött
  - Statisztikák nem változtak
    - Lehet, hogy kézzel kell frissíteni a cache-t!
    - A statisztika frissítést be kell állítani!

Önhangolás


Statistics
SQL Compilation
Optimizer
3. Feedback
Best Plan
Adjustments
2. Analyze
Plan Execution
Estimated Cardinalities
1. Monitor
Actual Cardinalities

Jó tanácsok – 1

- Statisztikák legyenek naprakészek
  - Elavult statisztika → rossz végrehajtási terv
  - (Automatikus, hacsak nem kapcsoljuk ki stb.)
- Lekérdezés struktúrája
  - SQL deklaratív környezet
    - Gondolkodjunk procedurálisan is!
  - Többféleképp is megfogalmazható ugyanaz
  - Törekedjünk az egyszerűségre
  - Kerüljük a select * -ot
  - Jó struktúrával sokat lehet nyerni
    - Csak ezután kísérletezzünk a hintek használatával

Jó tanácsok – 2

- Inkább join, mint
  - In / Not in
  - Exists / Not exists
- Exists helyett inkább in
- Nézetek
  - Ha lehet kerüljük
  - Főleg ne kapcsoljuk egymáshoz
- Kerüljük a vagy feltételeket → Union all
- Union helyett Union all (ha lehet)
  - Megtartja a duplikátumokat

Jó tanácsok – 3

```
select *
from Invoice i
where not exists
(
    select 1
    from InvoiceItem ii
    where i.Id=ii.InvoiceID
)
```

```
select i.*
from Invoice i
where i.id not in
(
            select InvoiceID
            from InvoiceItem
)
```

```
select i.*
from Invoice i left outer join InvoiceItem ii
on i.Id=ii.InvoiceID
where ii.id is null
```

Egyszerű esetekben ma már mindegy, de általában nem

Jó tanácsok – 4

- Indexek használata
  - Egy táblán egy lekérdezésben általában csak egyet tud használni → Join művelet el is használhatja
  - Összetett index
    - Hierarchia számít
  - Kulcs bármilyen kifejezésben szerepel akkor nem tudja használni az optimalizáló
    - Akár: kulcs+0 (← Ezt ma már észreveszik)

Jó tanácsok – 5

- Függvények használata
  - Select listán nyugodtan
    - Nem befolyásolja a végrehajtási tervet
  - Where feltételben lehetőleg ne használjuk
    - Minden rekordra le kell futtatni
    - Nehezen mozgatható a kifejezés fában
    - Kimenetére nem készül statisztika → nehéz optimalizálni

Olvasnivaló

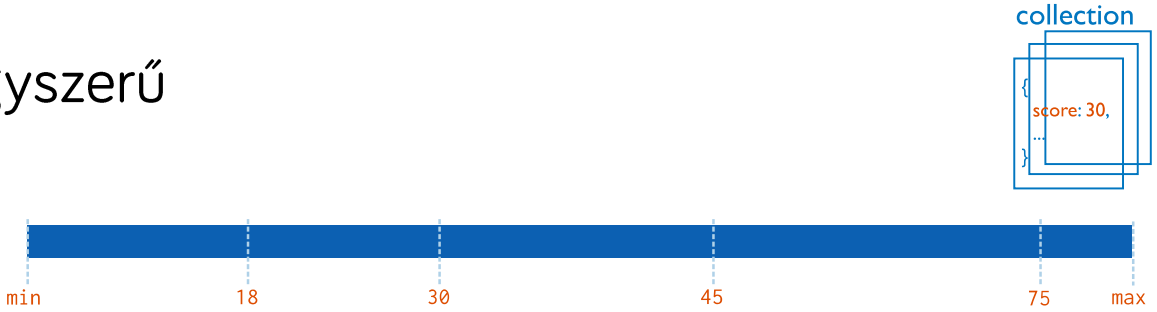
- Grant Fritchey: SQL Server Execution Plans, Simple Talk Publishing, 2012
  - pdf: http://www.red-gate.com/community/books/sql-server-execution-plans-ed-2

MongoDB indexek

- Index „csak” keresési célt szolgál
  - (Hiszen nincs join)
- Index típusok
  - Egyszerű & összetett
  - Unique index
    - primary key jellegű attribútumot így lehet garantálni
  - Tömbök tartalmát is indexeli
  - Beágyazott dokumentumokat is indexeli
  - TTL, Geospatial, full text
- Indexet létre kell hozni
  - Kivéve: _id-ra unique

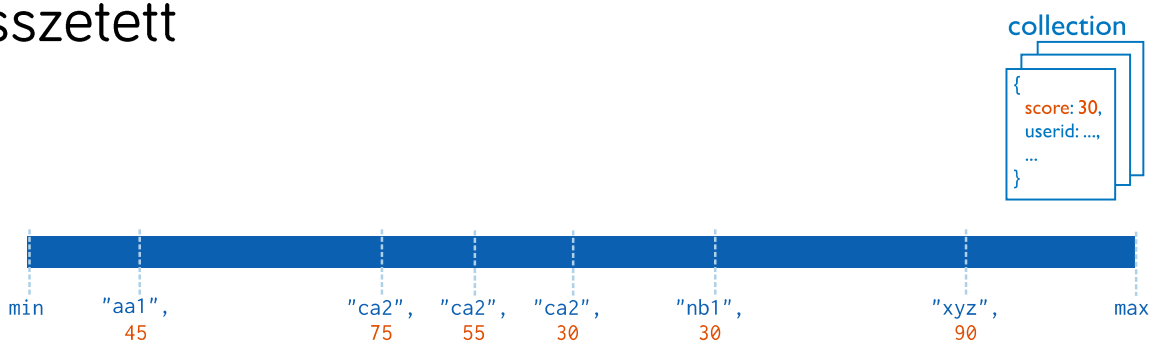
Index típusok

Egyszerű



`{ score: 1 }` Index

Összetett



`{ userid: 1, score: -1 }` Index

Képek forrása: https://docs.mongodb.com/manual/indexes/

Optimalizálási alapelvek

- **Nem** használ statisztikákat
- Több lehetséges terv közül választás
  - Mindegyiket elkezdi kiértékelni, amelyik „legolcsóbban” adja vissza az első 101 db eredményt, az a legjobb
- Miért lehet több terv?
  - Több index is lefedi a lekérdezést

Optimalizációs lépések

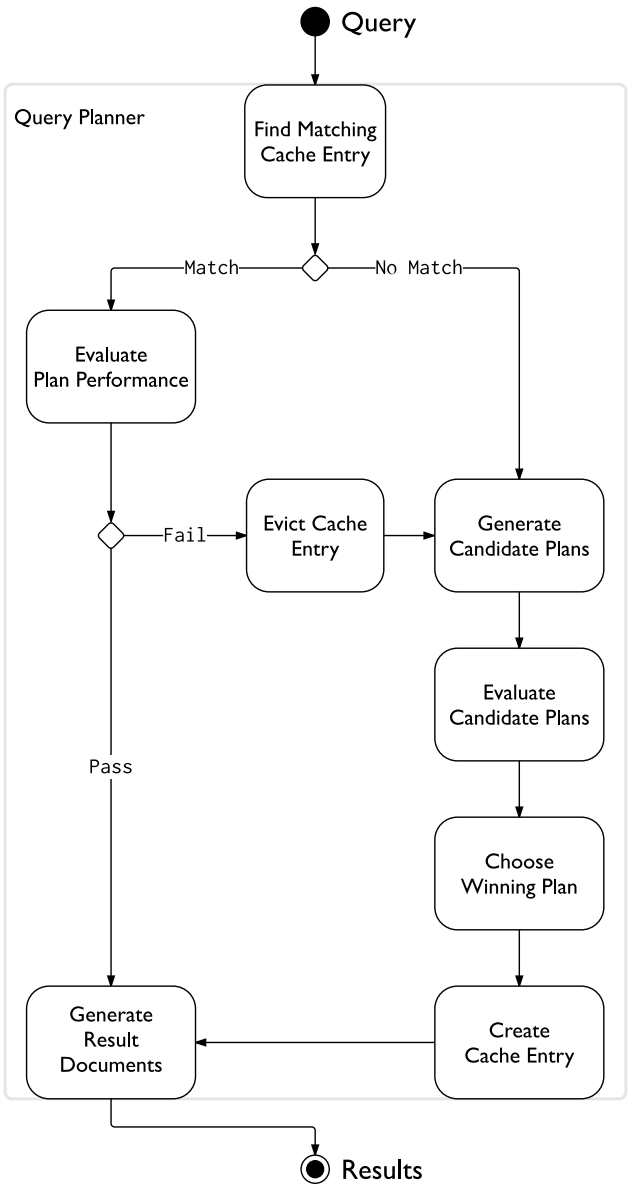
- Szűrések előre mozgatása
  - Projekciók elé, ha kell, felbontva a szűrést több darabra
  - Sorrendezés elé
- Skip és limit előre mozgatása
  - Projekció elé
- Összevonások
  - Limit + limit, skip + skip
- …

Match mozgatása

```
{ $addFields: {
    maxTime: { $max: "$times" },
    minTime: { $min: "$times" }
} },
{ $project: {
    _id: 1, name: 1, times: 1, maxTime: 1, minTime: 1,
    avgTime: { $avg: ["$maxTime", "$minTime"] }
} },
{ $match: {
    name: "Joe Schmoe",
    maxTime: { $lt: 20 },
    minTime: { $gt: 5 },
    avgTime: { $gt: 7 }
} }
```

```
{ $match: { name: "Joe Schmoe" } },
{ $addFields: {
    maxTime: { $max: "$times" },
    minTime: { $min: "$times" }
} },
{ $match: { maxTime: { $lt: 20 }, minTime: { $gt: 5 } } },
{ $project: {
    _id: 1, name: 1, times: 1, maxTime: 1, minTime: 1,
    avgTime: { $avg: ["$maxTime", "$minTime"] }
} },
{ $match: { avgTime: { $gt: 7 } } }
```

Terv cache



Kép forrása
https://docs.mongodb.com/manual/core/query-plans/

Terv cache

- Terv cache
  - Strukturájában hasonló tervek
  - Találat esetén pass/fail kiértékelés
- Terv „alakja” (*query shape*)
  - Használt szűrések, rendezések és projekciók
  - Értékek nincsenek benne
    - Pl. szűrésnél csak a mező(k) nevei szerepelnek, a szűrt érték nem

Explain

- query.explain()

```
"winningPlan" : {
   "stage" : <STAGE1>,
   ...
   "inputStage" : {
      "stage" : <STAGE2>,
      ...
      "inputStage" : {
         "stage" : <STAGE3>,
         ...
      }
   }
},
"rejectedPlans" : [
   <candidate plan 1>,
   ...
]
```

Stage-ek

- *COLLSCAN*
- *IXSCAN*
- *FETCH*
- *...*

Tervek vizuális nézete