Tietokantakyselyjen optimointi relaatiotietokannassa

Olli Rissanen

Kandidaatintutkielma

HELSINGIN YLIOPISTO

Tietojenkäsittelytieteen laitos

Helsinki, 29. maaliskuuta 2013

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta — Fakultet — Faculty	Laitos — Institution — Department
Matemaattis-luonnontieteellinen	Tietojenkäsittelytieteen laitos

Tekijä — Författare — Author
Olli Rissanen

Työn nimi — Arbetets titel — Title

Tietokantakyselyjen optimointi relaatiotietokannassa

Oppiaine — Läroämne — Subject
Tietojenkäsittelytiede

Työn laji — Arbetets art — Level	Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages
Kandidaatintutkielma	29. maaliskuuta 2013	13

Tiivistelmä — Referat — Abstract

Tutkielmassa tutustutaan tietokantakyselyjen optimointiin relaatiotietokantojen hallintajärjestelmien osalta sekä optimoinnin vaikutukseen kyselyjen suorituskyvyssä.

Avainsanat — Nyckelord — Keywords
Information systems Query optimization

Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited

Muita tietoja — Övriga uppgifter — Additional information

Sisältö

1 Johdanto

Modernit järjestelmät lisäävät jatkuvasti tietokantojen työtaakkaa tiedon määrän kasvaessa. Jotta tiedosta saadaan mahdollisimman paljon irti, tarvitaan tiedon hallitsemiseen yhä tehokkaampia työkaluja. Tietokannan suorituskyky on tärkeää koko järjestelmän suorituskyvyn osalta, sillä tiedon lukeminen massamuistista on hidasta verrattuna rekistereiden tai välimuistin käyttöön. Optimoimalla tietokantakyselyjen suoritusta voidaan vaikuttaa suoritettujen operaatioiden määrään sekä muistialueen kokoon ja siten vähentää tietokannan vasteaikaa sekä resurssien käyttöä. [MKR12]

Tietokantaa käytetään tietokannan hallintajärjestelmällä, joka on kokoelma ohjelmia tiedon tallentamiseen, muokkaamiseen, analysointiin ja keräämiseen tietokannasta. Hallintajärjestelmää käytetään kyselykielellä, joista esimerkiksi SQL [CAE+76] on suunniteltu relaatiotietokantojen hallintajärjestelmille. Hallintajärjestelmän vastuulla on kyselyn muuttaminen tietokannan ymmärtämään muotoon säilyttäen kyselyn alkuperäisen tarkoituksen. Kyselyn optimointi on toteutettu automaattisena toimenpiteenä tietokannan hallintojärjestelmän sisältämässä kyselyn optimoijassa, ja kaikista hallintajärjestelmän komponenteista optimoijalla on suurin merkitys tietokannan suorituskykyyn. [MKR12] Kyselyn optimoijan tavoitteena on minimoida itse optimointiin käytetty aika ja maksimoida optimoinnista saatu hyöty. [JK84]

Optimoija toimii etsien kyselyä vastaavat kyselysuunnitelmat ja valitsemalla niistä tehokkaimman. Kyselysuunnitelma sisältää sarjan algebrallisia operaatioita tietokannan relaatioille jotka tuottavat tulokseksi halutun vastauksen. Tietokantakyselyä vastaavia kyselysuunnitelmia voi olla useita, sillä kyselyjen algebralliset esitykset voidaan usein esittää monena loogisesti vastaavana esityksenä. [JK84] Algebrallista operaatiota kohden voi myös löytyä

useita toteutuksia, kuten join-operaatiota toteuttavat merge join ja hash join. Saman kyselyn tuottamat kyselysuunnitelmat voivat olla suorituskyvyltään jopa eri suuruusluokassa. [Ora13]

Optimointi on vaikea hakuongelma, jossa hakualue voi nousta erittäin suureksi. [Cha98] Haasteeksi nousee kyselysuunnitelmien luominen ja niiden suorituskyvyn ennustaminen. Kaikkien mahdollisten kyselysuunnitelmien luominen on usein liian hidasta, joten optimoijan tulee valita pienin mahdollinen hakualue joka pitää sisällään halvimmat suunnitelmat. Suorituskyvyn ennustamisen ja hakualueen rajauksen lisäksi optimoija tarvitsee tehokkaan algoritmin koko hakualueen läpikäymiseen. On epärealistista odottaa kyselyn optimoijan aina löytävän parhaan kyselysuunnitelman, ja onkin tärkeämpää välttää huonoimpia suunnitelmia ja löytää hyvä suunnitelma. [RG03]

Kappale 2 sisältää esitiedot kyselyn optimoijan toiminnalle, jonka lisäksi kappaleessa perehdytään optimoijan rakenteeseen hallintajärjestelmän sisällä. Kappale 3 käsittelee optimointiprosessin vaiheita yksityiskohtaisesti. Kappaleissa 4 ja 5 esitellään kyselyn optimoijan käyttöä MySQL-hallintajärjestelmällä.

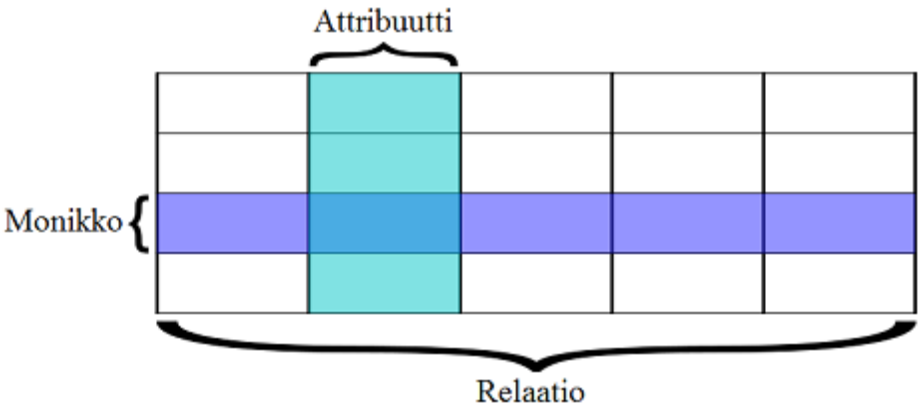
2 workname: Taustaluku

2.1 Relaatiomalli

Relaatiotietokanta on relaatiomalliin [Cod70] perustuva tietokanta. Relaatiomallin keskeinen piirre on kaiken datan esittäminen n-paikkaisen karteesisen tulon osajoukkona, ja se tarjoaa deklaratiivisen menetelmän datan ja kyselyjen määrittämiseen. Relaatiomalli koostuu attribuuteista, monikoista ja relaatioista. Matemaattisessa määritelmässä attribuutti on pari joka sisältää attribuutin nimen ja tyypin sekä jokaiseen attribuuttiin liittyy sen arvojoukko. Monikko on järjestetty joukko attribuuttien arvoja. Relaatio koostuu otsak-

keesta ja sisällöstä, jossa otsake on joukko attribuutteja ja keho on joukko monikkoja. Relaation otsake on myös jokaisen monikon otsake. Visuaalisessa esityksissä relaatio on taulukko ja monikko taulukon rivi.

Kuva 1: Relaatiomalliin perustuva tietokanta



2.2 Optimoijan tavoitteet

Tietokantakyselyjen optimoinnilla viitataan tietokantakyselyn suorittamiseen mahdollisimman tehokkaasti. Optimoinnin tavoitteena on joko maksimoida suorituskyky annetuilla resursseilla tai minimodia resurssien käyttö. Mitattavia resursseja ovat suorittimen ja muistin käyttö sekä kommunikointikustannukset. [JK84] Muistin käyttö jakautuu tallennuskustannukseen sekä ulkomuistiin pääsyn kustannukseen. Tallennuskustannuksella tarkoitetaan ulkomuistin sekä puskurimuistin käyttöä, ja se tulee aiheelliseksi kun muistin käyttö aiheutuu pullonkaulaksi. Kommunikointikustannukset käsittävät tiedon viennin tallennuspaikasta laskentapaikkaan ja edelleen tulosten esityspaikkaan. Ne jakautuvat kommunikaatioväylän käyttökustannukseen ja tiedonsiirrosta aiheutuvaan suorittamisen viiveeseen.

Resurssin merkitys riippuu tietokantatyypistä. Hajautetuissa tietokannoissa hitailla yhteysväylillä kommunikointikustannukset hallitsevat kustan-

nuksia. Paikallisesti hajautetuissa tietokannoissa kaikilla resursseilla on sama painoarvo. Keskitetyissä tietokannoissa ulkomuistiin pääsyn kustannus ja prosessorin käyttö ovat oleellisia. [JK84] Tässä tutkielmassa keskitymme erityisesti keskitettyjen tietokantojen optimointiin.

2.3 Optimoijan toiminta

Tietokannan hallintajärjestelmän suorittama SQL-kyselyn prosessointi sisältää useita vaiheita. Kuva 2 esittää kyselyn optimoijan rakenteen hallintajärjestelmän sisällä. Kyselyn prosessointi alkaa kyselyn jäsentäjän suorittamalla kyselyn syntaksin ja semantiikan oikeellisuuden validoinnilla. [Ora09] Syntaksin validoinnissa jäsentäjä tarkastaa kyselyn lauseopin oikeellisuuden. Semantiikan validoinnissa tarkastetaan objektien aitous, kyselyn yksiselitteisyys, oikeus haettavaan tietoon ja muuttujien tyypin sopivuus sarakkeiden tyyppeihin. Useat hallintajärjestelmät myös tallentavat kyselyt validoinnin jälkeen talteen, jotta samaa kyselyä ei tarvitse jäsentää ja optimoida uudelleen. Yksi esimerkki kyselyjä tallentavasta hallintajärjestelmästä on Oracle Database, jossa tallennuspaikkaa kutsutaan nimellä Shared Pool. [Ora05]

Seuraavaksi jäsentäjä jakaa kyselyn lohkoihin(block) siten, että yhdessä lohkossa on täsmälleen yksi SELECT-lause, yksi FROM-lause ja korkeintaan yksi WHERE-, GROUP BY- ja HAVING-lause. [RG03] Kyselyn mahdollisesti sisältämät alikyselyt muodostavat kukin oman lohkonsa. (Alikyselyistä enemmän kappaleessa n?)

Jokainen lohko jäsennetään puuksi, joka on kyselyn algebrallinen esitysmuoto. [MJ12] Puun solmu sisältää yhden operaation kyselyn suorittamiseksi, ja sillä on nolla tai useampi alisolmua joiden ulostuloa(output) käytetään sen syötteenä. Esimerkiksi join-operaatiossa solmulla on kaksi alisolmua, joille toteutetaan join-operaatio ja sort-operaatiolla on yksi alisolmu joka

järjestetään. Lehtisolmut ovat solmuja jotka suorittavat hakuja (scan) levyltä ja palauttavat saadut tulokset. Puu suoritetaan lehtisolmuista juureen.

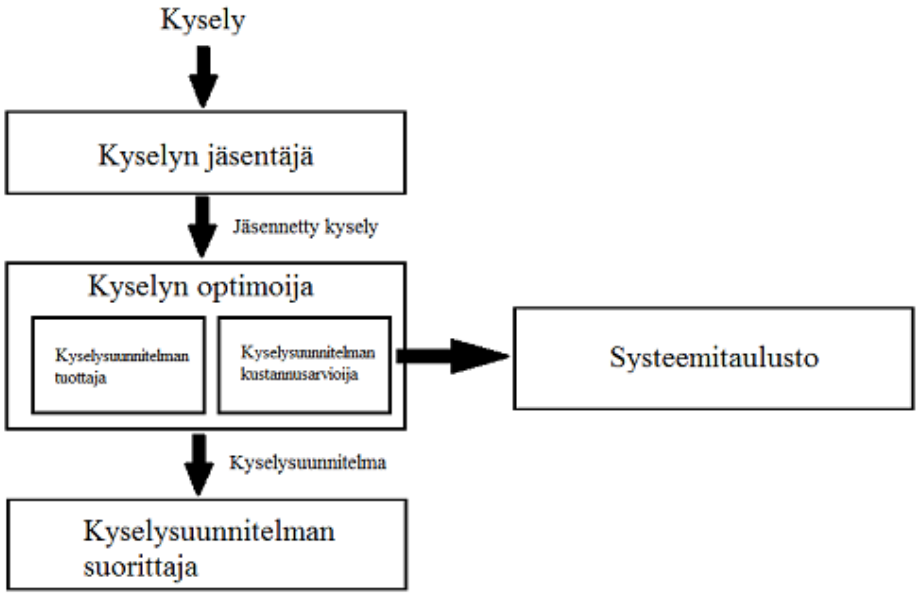
Tämän jälkeen kysely uudelleenkirjoitetaan (rewrite) valitsemalla hakumetodit (access method), liittämisjärjestyksen (join orders) ja liittämistavat (join methods) tietokannan käyttämien heuristiikkojen pohjalta. Monimutkaisille kyselyille sovelletaan myös muunnossääntöjä. [MJ12] Uudelleenkirjoituksen tarkoitus on helpottaa optimoijan työtä parhaan kyselysuunnitelman valinnassa.

Kun kysely on uudelleenkirjoitettu, lähetetään se kyselyn optimoijalle. Kyselyn optimoija hakee systeemitaulustosta tilastotietoa kyselyyn liittyvistä relaatioista ja relaatioita vastaavista kyselysuunnitelmista. Optimoija määrittää lohkojen suoritusjärjestyksen ja prosessoi jokaisen lohkon FROM-lauseeseen liittyvät relaatiot. Mikäli lohkossa on useampi relaatio, arvioi optimoija join-operandin permutaatioiden suorituskyvyt. Optimoija rakentaa lohkoja vastaavat kyselysuunnitelmat käyttäen systeemitauluston tilastotietoa ja valitsee niistä pienimmän kustannuksen sisältävän kyselysuunnitelman. Seuraavassa vaiheessa kysely suoritetaan käyttämällä optimoijan tuottamaa kyselysuunnitelmaa. Suorittamisessa kyselysuunnitelma muutetaan suoritettavaksi konekieleksi ja kyselyn lähteen mukaan joko suoritetaan tai tallennetaan muistiin myöhempää suorittamista varten. (Miten viitataan koko kappaleeseen?) ([SAC+79])

3 Kyselyn optimointi

Kyselyn optimoijan tulee arvioida kustannus jokaiselle kyselysuunnitelmalle. Kustannusarviointi koostuu kahdesta vaiheesta: ensiksi arvioidaan jäsennetyn puun jokaisen alkion operaation suorittamiseen kuluva aika. (pipelining, temppirelaatiot.) Tämän jälkeen arvioidaan jokaisen alkion tulosjoukon koko,

Kuva 2: Kyselyn jäsentäminen, optimointi ja suoritus



sekä lisäksi tarkastetaan onko tulosjoukko järjestetty. Solmun tulosjoukko on ylisolmun syöte, joten sen koko ja järjestys vaikuttavat suoraan ylisolmun arviointiin.

3.1 Kyselysuunnitelmien tuottaminen

Kyselysuunnitelma koostuu laajennetusta relaatioalgebrapuusta, jossa jokainen solmu kuvaa algebrallista operaatiota. Solmuun on liitetty tieto käytettävästä hakumetodista tiedon hakemiseen taulusta ja suoritusmetodista relaatio-operaation suoritukseen. Tutkitaan seuraavaa SQL-kyselyä:

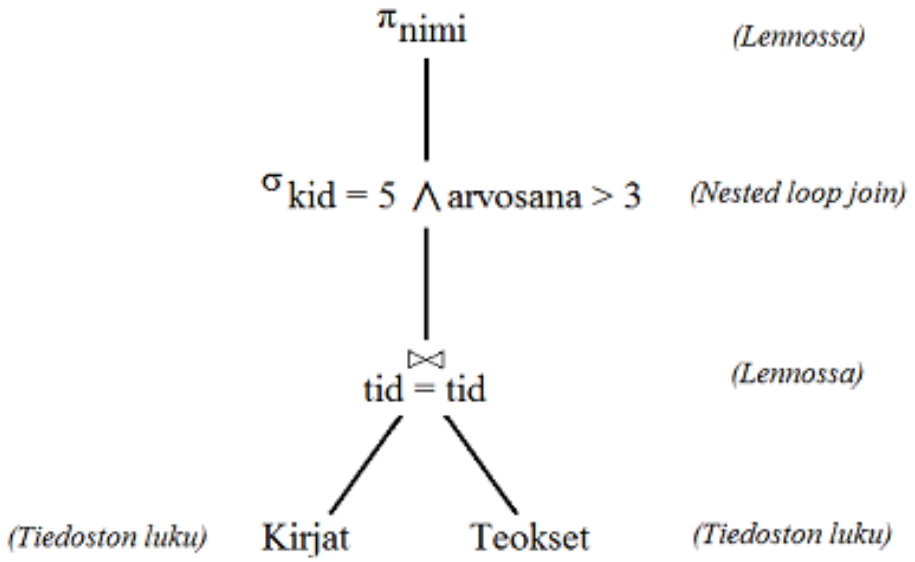
```
SELECT K.nimi
FROM Kirjat K, Teokset T
WHERE K.tid = T.tid AND K.kid = 5 AND T.arvosana > 3
```

Kysely voidaan tulkita relaatioalgebrassa seuraavasti:

$\pi_{nimi}(\sigma_{kid=5 \wedge arvosana>3}(Kirjat \bowtie_{tid=tid} \text{Teokset}))$

Kysely voidaan suorittaa esimerkiksi käyttäen join-operaatiossa nested loop join-algoritmia, jonka jälkeen jokaiselle riville suoritetaan valinta ja projektio. Kyselyä vastaava kyselysuunnitelma on siten seuraava:

Kuva 3: Kyselysuunnitelma erimerkkikyselylle



3.2 Kyselysuunnitelmien kustannusarviointi

3.3 Tulosjoukon koon arviointi

Operaation kustannus riippuu syötteen koosta. Tutkitaan seuraavaa tapausta:

SELECT attribuuttit

FROM relaatiot

WHERE ehto 1 ∧ ehto 2 ∧ ... ∧ ehto n

Kyselyn palauttamien monikkojen maksimimäärä on relaatioiden karteesinen tulo. Jokainen WHERE-ehto harventaa monikkojen määrää. WHERE-ehdon vaikutusta tulosjoukon kokoon voidaan mallintaa lisäämällä jokaiseen ehtoon vähennyskerroin, joka on oletettu suhde lähtöjoukosta tulosjoukkoon vain kyseisen ehdon osalta. Tulosjoukon koko voidaan siten arvioida kertomalla maksimijoukko vähennyskertoimien tulolla. [RG03]

WHERE-lauseen ehtojen kertoimia voidaan laskea hyödyntämällä systeemitaulustoon tallennettua tilastotietoa. Oletetaan seuraavat tiedot:

NKeys(I) = eri avainten lukumäärä indeksissä I
F = vähennyskerroin

$sarake = arvo$
tyyppiselle ehdolle vähennyskerroin voidaan arvioida kaavalla $F = \frac{1}{NKeys(I)}$, jos sarakkeessa on indeksi kyseiselle relaatiolle. [SAC+79] Ilman indeksiä kyselyn optimoija käyttää kiinteää arvoa vähennyskertoimen arvioimiseen, joka esimerkiksi System R-relaatiotietokantaohjelmassa on 1/10.

$sarake1 = sarake2$
tapauksessa voidaan vähennyskerroin arvoida kaavalla $F = \frac{1}{MAX(NKeys(I1),NKeys(I2))}$ jos kummassakin sarakkeessa on indeksi. Lisäksi oletetaan, että jokaisesta pienemmän indeksin arvoa vastaa arvo toisesta indeksistä. Mikäli vain toisessa sarakkeessa on indeksi, voidaan kustannus laskea aiemmalla kaavalla käyttäen indeksin omaavaa saraketta. Mikäli kummassakaan sarakkeessa ei ole indeksiä, arvioidaan arvoksi 1/10.

$sarake > arvo$

tapauksessa voidaan käyttää kaavaa $F = \frac{suurin\ avain\ -\ arvo}{suurin\ avain\ -\ pienin\ avain}$. Mikäli sarake ei ole aritmeettinen tai arvoa ei tiedetä käytetään vakiona arvoa 1/3.

sarake IN (lista arvoja)
$F = koko(lista) \times (sarake = arvo)$

3.4 Systeemitaulustoon tallennettu tilastotieto

Kustannusten arviointi vaatii tilastotietoa. [RG03]

todo: täsmennä ja siisti (sis. systeemitaulustoon tallennetun tilastotiedon käytön) Tilastotieto on.. Tilastotiedoilla lasketaan kyselysuunnitelmien kustannusarvio ja valitaan pienimmän kustannusarvion omaava suunnitelma. Tietoa ei tallenneta jatkuvasti, sillä se aiheuttaisi esimerkiksi rinnakkaisuusongelmia. Tietokannan valvoja triggeriöi päivityksen esim. komennolla optimize db. Tilastotiedon harvan päivityksen takia valituksi ei aina välttämättä tule tehokkain suunnitelma.

4 Optimoijan käyttäminen (hints)

5 Käyttöesimerkki, suorituskykyvertailu

6 yhteenveto

Lähteet

[CAE+76] Chamberlin, D.D., M.M. Astrahan, K.P. Eswaran, P. P. Griffiths, R.A. Lorie, J. W. Mehl, P. Reisner ja B.W. Wade: *SEQUEL 2: A Unified Approach to Data Definition, Manipulation, and Control.*

IBM Journal of Research and Development, 20(6):560–575, 1976, ISSN 0018-8646.

[Cha98] Chaudhuri, Surajit: *An overview of query optimization in relational systems.* Teoksessa *Proceedings of the seventeenth ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART symposium on Principles of database systems*, sivut 34–43. ACM, 1998.

[Cod70] Codd, Edgar F: *A relational model of data for large shared data banks.* Communications of the ACM, 13(6):377–387, 1970.

[JK84] Jarke, Matthias ja Jurgen Koch: *Query optimization in database systems.* ACM Computing surveys (CsUR), 16(2):111–152, 1984.

[MJ12] Mahajan, S.M. ja V.P. Jadhav: *An analysis of execution plans in query optimization.* Teoksessa *Communication, Information Computing Technology (ICCICT), 2012 International Conference on*, sivut 1–5, 2012.

[MKR12] Mor, Jyoti, Indu Kashyap ja RK Rathy: *Analysis of Query Optimization Techniques in Databases.* International Journal, 47, 2012.

[Ora05] Oracle: *Understanding Shared Pool Memory Structures*, syyskuu 2005. `http://www.oracle.com/technetwork/database/focus-areas/manageability/ps-s003-274003-106-1-fin-v2-128827.pdf`.

[Ora09] Oracle: *Oracle Database Online Documentation 11g Release 1*, 2009. `http://docs.oracle.com/cd/B28359_01/server.111/b28318/sqlplsql.htm`.

[Ora13] Oracle: *MySQL 5.0 Reference Manual*, 2013. http://docs.oracle.com/cd/E17952_01/refman-5.0-en/controlling-optimizer.html.

[RG03] Ramakrishnan, R. ja J. Gehrke: *Database Management Systems*. McGraw-Hill international editions: Computer science series. McGraw-Hill Education, 2003, ISBN 9780072465631. http://books.google.fi/books?id=JSVhe-WLGZ0C.

[SAC+79] Selinger, P Griffiths, Morton M Astrahan, Donald D Chamberlin, Raymond A Lorie ja Thomas G Price: *Access path selection in a relational database management system*. Teoksessa *Proceedings of the 1979 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, sivut 23–34. ACM, 1979.