Edistynyt PostgreSQL-ohjelmointi

2020-10-13
HELSINKI

HENRI SEIJO
MISTMAP

Päivän materiaali

https://github.com/mistmap/
postgresql-training-finnish-2020-10

(tai https://bit.ly/33jhhfm)

Mistmap

- yritys käynnistyi 2019
- devaus, arkkitehtuuri, ketteröittäminen, koulutus
- avoimet järjestelmät fokuksessa

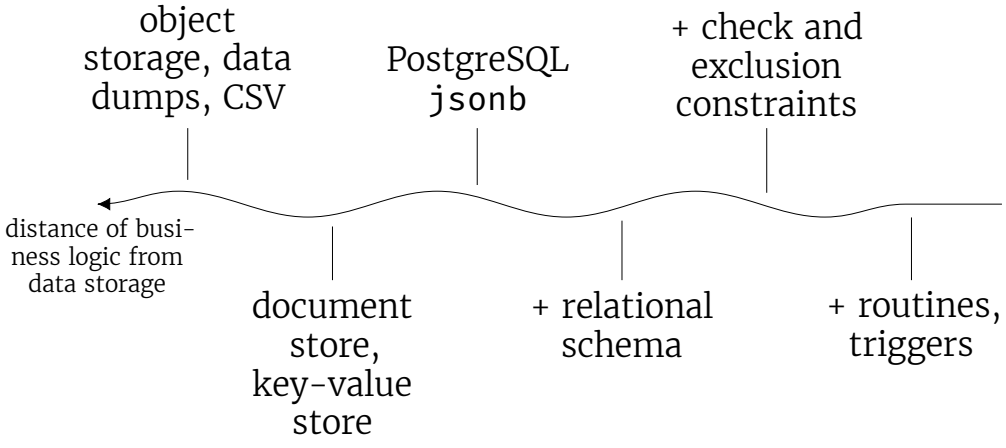
Päivän rakenne

09:00–09:15	Avaus
09:15–09:55	Ohjelmointitekniikoita
09:55–10:00	Tauko
10:00–10:40	Ohjelmointitekniikoita – harjoituksia
10:40–10:45	Tauko
10:45–11:30	Suorituskyvyn optimointi
11:30–12:30	Lounas
12:30–13:10	Suorituskyvyn optimointi – harjoituksia
13:10–13:15	Tauko
13:15–14:00	JSON
14:00–14:30	Kahvitauko
14:30–15:10	JSON – harjoituksia
15:10–15:15	Tauko
15:15–15:55	PostgreSQL:n kehitys ja Q&A
15:55–16:00	Lopetus

Ohjelmointitekniikoita

Miksi tämä aihe?

Liiketoimintalogiikan etäisyys datasta



Miksi ei kantaan?

- SQL/PSM epäergonominen ja jälkeenjäänyt
- pakettien ja riippuvuuksien hallinta
- testaus- ja debuggaustyökalut
- version- ja muutoksenhallinta: `CREATE` vs. `ALTER`, CI/CD, blue-green, rolling upgrade
- skaalautuvuus
- monitorointi ja metriikat
- verkkokutsut, integraatiot
- suorituskykybugit kannassa vaarallisia

Miksi kantaan?

– suorituskyky: verkkoviiveet, parsinta, plan caching, välitulosten serialisointi ja välitys

Ekosysteemi

Kolme osaamisaluetta

Miten?

Kielet

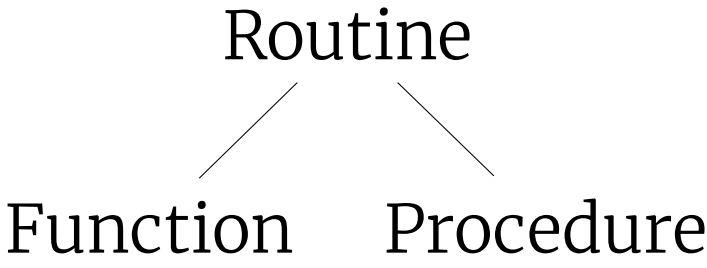
- SQL
- C
- Proseduraaliset kielet
  - PL/pgSQL
  - PL/Tcl, PL/Perl, PL/Python, PL/Java, PL/Lua, PL/R, PL/sh, PL/v8, ...

Suosi SQL:ää.

```
1  PREPARE get_top(integer) AS
2    SELECT *
3    FROM scoreboard
4    ORDER BY total_score DESC
5    LIMIT $1;
6
7  EXECUTE get_top(10);
```

Prepared statement

Epäoptimaalinen plan saattaa valikoitua generic planiksi.


Routine
Function
Procedure

```
CREATE FUNCTION calculate_circle_area(
  radius double precision
)
RETURNS double precision
LANGUAGE sql
AS $$
  SELECT pi() * radius ^ 2;
$$;

SELECT calculate_circle_area(5);
```

```sql
CREATE FUNCTION calculate_circle_area(
  IN radius double precision = 1.0
)
RETURNS double precision
LANGUAGE sql
IMMUTABLE
RETURNS NULL ON NULL INPUT
PARALLEL SAFE
AS $calculate_circle_area$
  SELECT pi() * radius ^ 2;
$calculate_circle_area$;

SELECT calculate_circle_area(5);
```

Argumentit

- `IN`: syöte (oletus)
- `OUT`: tulos
- `INOUT`: päivitettävä
- `VARIADIC`: mielivaltaisen pituinen array

Paluuarvot

- perustietotyyppi: esimerkiksi `integer`
- composite type: esimerkiksi `(integer, text)`
- `SETOF/TABLE`: joukko edellisiä
- `void`: ei mitään

SQL-funktio palauttaa viimeisen lauseen tuloksen.

Funktion volatiliteetti

- IMMUTABLE
  - aina sama tulos samalla syötteellä, esimerkiksi `lower()`
  - ei lue tai muokkaa kantaa tai konfiguraatiota
- STABLE
  - sama tulos samalla syötteellä ainakin saman table scanin aikana, esimerkiksi `transaction_timestamp()`
  - ei muokkaa kantaa
- VOLATILE
  - oletus
  - tulos voi vaihtua joka kutsukerralla, esimerkiksi `random()` tai `clock_timestamp()`
  - saa muokata kantaa
  - pakollinen, jos aiheuttaa sivuefektejä, esimerkiksi lähettää sähköpostia

```
1  CREATE PROCEDURE insert_data(
2    a integer, b integer)
3  LANGUAGE plpgsql AS $insert_data$
4  BEGIN
5    INSERT INTO my_table VALUES (a);
6    COMMIT;
7    INSERT INTO my_table VALUES (b);
8    ROLLBACK;
9  END; $insert_data$;
10
11 CALL insert_data(1, 2);
```

Function	Procedure
voi palauttaa arvon	ei palauta mitään (kuitenkin `INOUT` toimii)
ei hallitse transaktiota	`COMMIT` ja `ROLLBACK` käytettävissä
`SELECT func();`	`CALL sproc();`
voi kutsua muun SQL:n seassa	ei voi kutsua osana muuta lausetta
`IMMUTABLE` jne. auttavat optimoijaa	ei vastaavia mahdollisuuksia

PL/pgSQL

Karkeasti SQL ja

- muuttujat (`DECLARE`, `:=`)
- ehtolauseet (`IF … THEN … END IF`)
- silmukat (`FOR`, `WHILE`)
- dynaamiset kyselyt (`EXECUTE`)
- paluulauseet (`RETURN`)
- poikkeukset (`BEGIN … EXCEPTION … END`)
- virheviestit (`RAISE`)

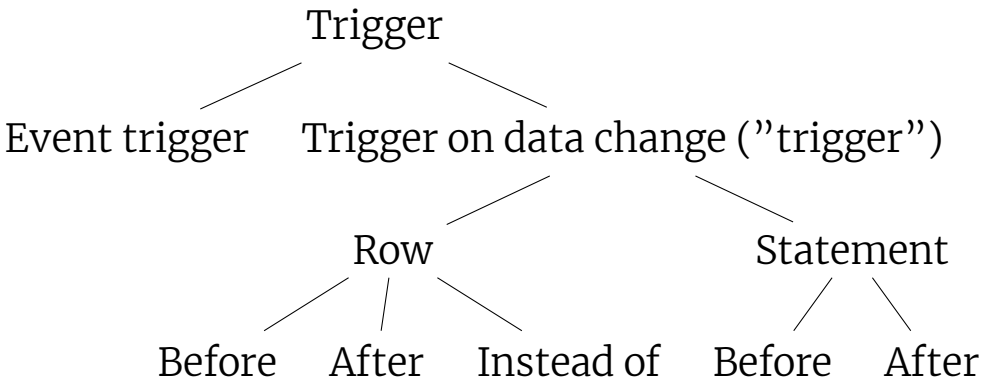
```
1  CREATE FUNCTION one_up(
2    IN x numeric, OUT y numeric)
3  RETURNS SETOF numeric LANGUAGE plpgsql
4  AS $one_up$
5  DECLARE z numeric := x + 1;
6  BEGIN
7    SELECT x INTO STRICT y;
8    RETURN NEXT;
9    SELECT z INTO STRICT y;
10   RETURN NEXT;
11   RETURN;
12 END; $one_up$;
13
14 SELECT one_up(5);
```

PL/pgSQL: cursor

In fact, in a 23-year career with PostgreSQL, I have only actually found a need to use cursors twice. And I regret one of those. (Kirk Roybal, 2ndQuadrant, 2020-08-18)

Recursive CTE

```
1 WITH RECURSIVE cte(col_name) AS (
2   SELECT 1
3   UNION ALL
4   SELECT col_name + 1 FROM cte WHERE col_name < 4
5 )
6 SELECT * FROM cte;
```


Trigger
Event trigger
Trigger on data change (”trigger”)
Row
Statement
Before
After
Instead of
Before
After

Rakenne

Trigger luodaan kahdessa osassa:

1. Luo funktio, joka palauttaa triggerin.
2. Luo trigger, joka kytkee taulun ja funktion toisiinsa.

Triggeriä ei voi kirjoittaa SQL:llä.

Sarakkeen täydennys 1

```
1  CREATE FUNCTION add_created_at() RETURNS trigger
2  LANGUAGE plpgsql AS $add_created_at$ BEGIN
3    NEW.created_at := transaction_timestamp();
4    RETURN NEW;
5  END; $add_created_at$;
6
7  CREATE TRIGGER add_created_at
8  BEFORE INSERT ON products
9  FOR EACH ROW EXECUTE FUNCTION add_created_at();
```

Sama selvemmin

```
1  CREATE TABLE products (
2    ...
3    created_at timestamptz
4      DEFAULT transaction_timestamp() NOT NULL,
5    ...
6  );
```

Käyttäjän on mahdollista korvata oletus, ellei `GRANT`illa ole evätty oikeutta sarakkeen muokkaukseen.

Sarakkeen täydennys 2

```
1  CREATE FUNCTION add_area() RETURNS trigger
2  LANGUAGE plpgsql AS $add_area$ BEGIN
3    NEW.area := pi() * NEW.radius ^ 2;
4    RETURN NEW;
5  END; $add_area$;
6
7  CREATE TRIGGER add_area
8  BEFORE INSERT OR UPDATE ON circles
9  FOR EACH ROW EXECUTE FUNCTION add_area();
```

Sama selvemmin

```
CREATE TABLE circles (
  ...
  area double precision
    GENERATED ALWAYS AS (pi() * radius ^ 2) STORED,
  ...
);
```

Arvon tarkistus

```
1  CREATE FUNCTION check_discount() RETURNS trigger
2  LANGUAGE plpgsql AS $check_discount$ BEGIN
3    IF NEW.discounted_price >= NEW.price THEN
4      RAISE EXCEPTION
5        '% must have discounted_price below price',
6        NEW.product_id;
7    END IF;
8    RETURN NEW;
9  END; $check_discount$;
10
11 CREATE TRIGGER check_discount
12 BEFORE INSERT OR UPDATE ON products
13 FOR EACH ROW EXECUTE FUNCTION check_discount();
```

Sama selvemmin

```
1  CREATE TABLE products (
2    ...
3    CONSTRAINT discounted_price_below_price
4      CHECK (discounted_price < price),
5    ...
6  );
```

Muokkausaikaleima

```
1  CREATE FUNCTION add_last_modified_at() RETURNS TRIGGER
2  LANGUAGE plpgsql AS $add_last_modified_at$ BEGIN
3    NEW.last_modified_at = transaction_timestamp();
4    RETURN NEW;
5  END; $add_last_modified_at$
6
7  CREATE TRIGGER add_last_modified_at
8  BEFORE UPDATE ON products
9  FOR EACH ROW EXECUTE FUNCTION add_last_modified_at();
```

Sama selvemmin

```
1  CREATE EXTENSION moddatetime;
2
3  CREATE TRIGGER add_last_modified_at
4  BEFORE UPDATE ON products
5  FOR EACH ROW EXECUTE FUNCTION
6    moddatetime(last_modified_at);
```

Harkitse triggerin käyttöä huolellisesti!

1. Luodut triggerit unohtuvat helposti.
2. Triggereillä on vaarallisen helppoa räplätä mitä vain mihin vain, käyttöoikeuksien puitteissa.

Rule system

- Query rewrite rule system
- Näkymien toteutus
- Epäintuitiivisia ja monimutkaisia vaikutuksia, piilossa
- Ei samanlainen työkalu kuin Oraclen

Älä käytä.

Kehitystyökaluja

pgFormatter yhtenäistää koodin ulkoasun, kuten rivinvaihdot.

plpgsql_check etsii *PL/pgSQL-koodista* karkeita virheitä ja tarkastaa laatua peukalosäännöillä.

schemalint etsii *skeemasta* karkeita virheitä ja tarkastaa laatua peukalosäännöillä.

Testaustyökaluja

pgTAP	mahdollistaa yksikkötestauksen: Miten pieni osa koodia, yksikkö, käyttäytyy yksittäisillä testitapauksilla?
RegreSQL	mahdollistaa regressiotestauksen: Tuottaako uusi koodi samat tulokset kuin vanha koodi?
IntegreSQL	nopeuttaa integraatiotestausta: Miten PostgreSQL toimii yhteen muiden palvelujen kanssa?
noisia	luo ongelmallista kuormaa testiympäristöön.

Suorituskyvyn optimointi

EXPLAIN

antaa suoritussuunnitelman.

```
                                                                QUERY PLAN
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
 Limit  (cost=13.12..13.15 rows=10 width=70) (actual time=0.194..0.203 rows=10 loops=1)
   Output: track_id, name, album_id, media_type_id, genre_id, composer, milliseconds, bytes, unit_price
   Buffers: shared hit=4
   ->  Sort  (cost=13.12..13.37 rows=98 width=70) (actual time=0.192..0.196 rows=10 loops=1)
         Output: track_id, name, album_id, media_type_id, genre_id, composer, milliseconds, bytes, unit_price
         Sort Key: track.composer
         Sort Method: top-N heapsort  Memory: 28kB
         Buffers: shared hit=4
         ->  Index Scan using pk_track on chinook.track  (cost=0.28..11.00 rows=98 width=70) (actual time=0.027..0.0
               Output: track_id, name, album_id, media_type_id, genre_id, composer, milliseconds, bytes, unit_price
               Index Cond: (track.track_id < 100)
               Buffers: shared hit=4
 Settings: search_path = 'chinook'
 Planning Time: 0.238 ms
 Execution Time: 0.255 ms
(15 rows)
```

EXPLAIN ANALYZE

- suorittaa lauseen
- kertoo toistojen määrän (`loops`)
- kertoo keskimääräisen rivimäärän (`rows`)

`BEGIN` ja `ROLLBACK` suojaavat vahingoilta.

EXPLAIN VERBOSE

näyttää tulossarakkeet.

EXPLAIN COSTS

- oletus
- abstrakti yksikkö
- arvioitu kustannus ensimmäiseen ja viimeiseen riviin
- arvioitu rivien lukumäärä
- arvioitu keskimääräinen rivin koko kilotavuina

EXPLAIN SETTINGS

näyttää konfiguraation.

EXPLAIN ANALYZE BUFFERS

näyttää IO:n ja välimuistin käytön.

EXPLAIN ANALYZE TIMING

- oletus, jos `ANALYZE`
- kertoo keskimääräiset millisekunnit ensimmäiseen ja viimeiseen riviin (`actual time`)

EXPLAIN SUMMARY

- oletus, jos `ANALYZE`
- kertoo ajankäytön yhteensä

EXPLAIN FORMAT

- `TEXT` (oletus)
- `XML`
- `JSON`
- `YAML`

EXPLAIN (ANALYZE, VERBOSE, COSTS, SETTINGS, BUFFERS, TIMING, SUMMARY)

Visualisointi

https://explain.depesz.com/

Taulujen lukeminen (scan)

Sequential scan

- lukee kaikki rivit ”alusta loppuun”
- aina käytettävissä
- kannattaa, jos taulu pieni
- kannattaa, jos palautetaan valtaosa riveistä

Index scan

- haetaan indeksistä page ja offset
- luetaan heapista vastaavat rivit
- satunnainen IO
- ORDER BY

Index-only scan

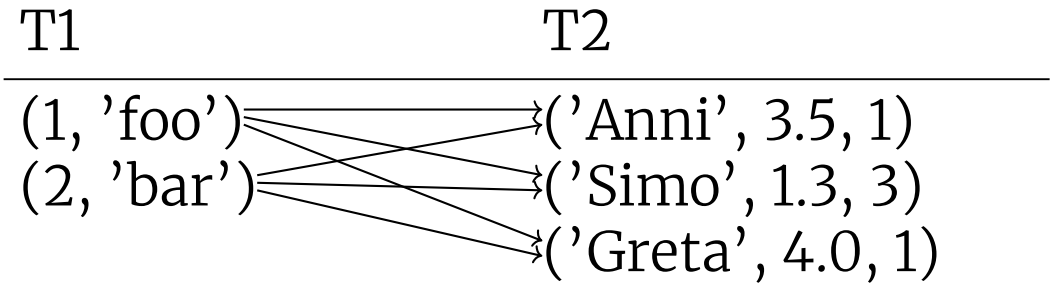
1. tarvitaan vain indeksistä löytyviä sarakkeita ja
2. page näkyy transaktiolle kokonaan

Bitmap scan

1. Bitmap Index Scan muodostaa bitmapin pageista ja offseteista.
2. Useamman indeksoidun sarakkeen yhteydessä tehdään bittioperaatio bitmapeille.
3. Bitmap Heap Scan lukee vain mielenkiintoiset paget, mutta järjestyksessä.

Taulujen liittäminen (join)

Nested loop join



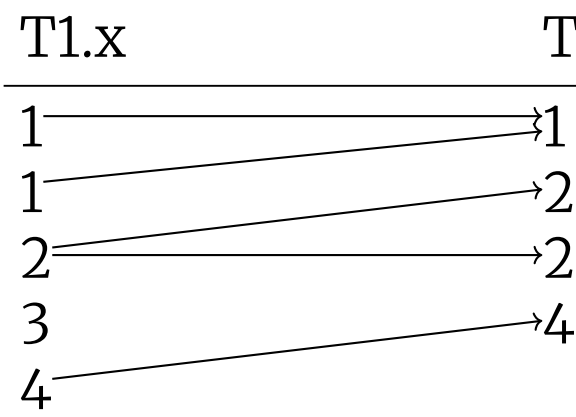
Hash join

1. Viedään T2 kokonaisuudessaan hajautustauluun:

$$\text{T2} \rightarrow \begin{cases} \text{x=}\mathbf{1} : (\text{'Anni'}, 3.5, \mathbf{1}), (\text{'Greta'}, 4.0, \mathbf{1}) \\ \text{x=}\mathbf{3} : (\text{'Simo'}, 1.3, \mathbf{3}) \\ \vdots \end{cases}$$

2. Rivi kerrallaan, etsitään hajautustaulusta taulun T1 sarakkeen x arvolla liitettäviä rivejä.

Merge join



Join-variantit

esimerkiksi Hash Left Join tai Merge Full Join

Taulujen lajittelu (sort)

Quicksort

tapahtuu muistissa.

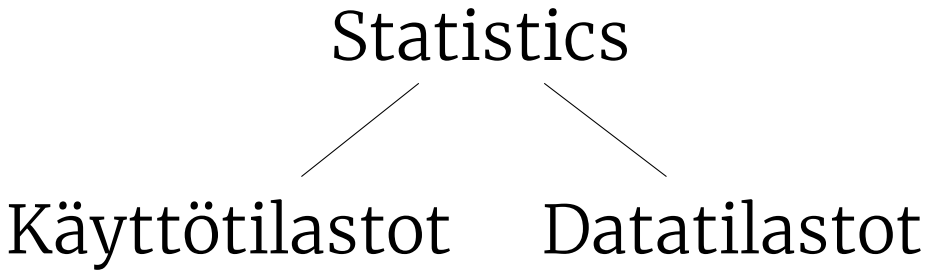
External merge

käyttää levyä.

Top-N heapsort

järjestää vain N suurinta tai pienintä arvoa (`ORDER BY … LIMIT`).

Statistics


Statistics
Käyttötilastot
Datatilastot

Datatilastot

ohjaavat plannerin suunnitelman valintaa.

ANALYZE

samplaa kunkin sarakkeen erikseen.

VACUUM

poistaa kuolleet rivit ja siistii indeksit.

autovacuum

ajaa molemmat toiminnallisuudet taustaprosessina säännöllisesti.

Älä kytke pois päältä.

Extended statistics

```
CREATE STATISTICS local_zipcodes (ndistinct)
ON city, state, zip FROM zipcodes;
```

- pakottaa analyysin keräämään tilastoja korrelaatioista sarakkeiden välillä
- planner voi hyödyntää optimoinnissa

Funktionaaliset riippuvuudet (`functional`)

- kerää tilastoja arvojen korrelaatioista sarakkeiden tarkkuudella
- `WHERE a = 1 AND b = 2` voidaan estimoida sarakkeiden keskimääräisen korrelaation perusteella

ndistinct

- kerää tilastoja arvojen lukumäärien korrelaatioista sarakkeiden tarkkuudella
- `GROUP BY a, b` voidaan estimoida sarakkeiden keskimääräisen korrelaation perusteella

Most-common values (`mcv`)

- kerää tilastoja arvojen korrelaatioista *rivien* tarkkuudella
- `WHERE a = 1 AND b = 2` voidaan estimoida arvojen `a = 1` ja `b = 2` tasolla, jos arvopari esiintyy usein
- auttaa myös, jos `WHERE a < 1 AND b >= 2`
- raskas

Käyttötilastot ja monitorointi

Wait events

- kyselyn eri tilojen instrumentointia
- jos ei lasketa ja jos ei idlata, silloin odotellaan

Explicit locking

- heavyweight lock, transactional lock, ”lock”, SQL lock, lukko...
- taulu- ja rivitasoisia
- tyypeistä riippuen lukot estävät toisten transaktioiden lukotusyritykset

JSON

```
2.718

"junttura"

{
  "name": "Перельман",
  "easy": [
    1,
    2
  ]
}

[1,null,false,"vipstaaki",{"foo":"bar"}]
```

Merkistö ja tulkinta

- UTF-8, mutta UTF-16 escaping
- number: kokonaisluvut *ja* liukuluvut
- ei määriteltyä lukujen tarkkuutta tai tulkintaa

Milloin JSONia kantaan?

Mahdollisesti, jos:

- projekti alkuvaiheessa
- muutoin paljon `NULL`-arvoja
- dynaamisia arvoja, kuten loppukäyttäjän luomia rakenteita

`json`-tietotyyppi

Älä käytä.

`jsonb`-tietotyyppi

”JSON, better”

jsonb-tyypit ja SQL-tyypit 1

```
1  CREATE TABLE t (j jsonb);
2  INSERT INTO t VALUES
3    ('1'),
4    ('"foo"'),
5    ('false'),
6    ('{"bar": 2}'),
7    ('[3, true]'),
8    ('null'),
9    (null);
10 \pset null (null)
11 SELECT j, jsonb_typeof(j), pg_typeof(j)
12 FROM t;
```

jsonb-tyypit ja SQL-tyypit 2

j	jsonb_typeof	pg_typeof
1	number	jsonb
”foo”	string	jsonb
false	boolean	jsonb
{”bar”: 2}	object	jsonb
[3, true]	array	jsonb
null	null	jsonb
(null)	(null)	jsonb

`jsonb`:n JSON-epäyhteensopivuudet

- null-tavu (`\0`) ei sallittu `jsonb`-syötteessä (ei tekemistä JSON-nullin tai SQL-nullin kanssa)
- `NaN` ja `Infinity` eivät sallittuja number-arvoja `jsonb`-syötteessä

jsonb-operaattoreita: -> ja ->>

Sukellus jsonb-arrayhin luvulla:

```
SELECT '[4,5,6]'::jsonb -> 1; -- => 5 of jsonb
```

Sukellus jsonb-objektiin nimellä:

```
SELECT '{"a":1,"b":2}'::jsonb -> 'b'; -- => 2 of jsonb
```

->> tekee saman, mutta palauttaa arvon tyyppiä text.

jsonb-operaattoreita: #> ja #>>

```
SELECT '{"a":[1,{"b":2}]}'::jsonb
  -> 'a' -> 1 -> 'b'; -- => 2 of jsonb
```

korvataan lyhyemmin

```
SELECT '{"a":[1,{"b":2}]}'::jsonb
  #> '{a,1,b}'; -- => 2 of jsonb
```

`#>>` tekee saman, mutta palauttaa arvon tyyppiä `text`.

jsonb-operaattoreita: @> ja ?

Sisältääkö ylimmällä tasolla?

```
SELECT '{"a":1,"b":2}'::jsonb
  @> '{"b":2}'::jsonb; -- => true of boolean


SELECT '{"a":1}'::jsonb ? 'a'; -- => true of boolean
SELECT   '["a"]'::jsonb ? 'a'; -- => true of boolean
SELECT     '"a"'::jsonb ? 'a'; -- => true of boolean
```

jsonb-funktiot

- rakentaminen
- paloittelu
- tyyppitarkastelu
- `jsonb`–SQL-muunnokset
- ...

SQL/JSON path eli `jsonpath`

```
SELECT jsonb_path_query_array(
  '{"a": {"b": [{"c": "Q"},
                {"d": "R", "f": "▧"},
                {"c": "S", "g": "☺"},
                {"c": "T", "h": "⌘"}]}}'::jsonb,
  '$.a.b[*].c ? (@ <> "S")'::jsonpath
); -- => ["Q", "T"] of jsonb
```

jsonb GIN-indeksit

`jsonb_ops` tukee useampaa operaattoria (oletus):

```
CREATE INDEX idx ON my_table
USING GIN (jsonb_column);
```

`jsonb_path_ops` toimii nopeammin:

```
CREATE INDEX idx ON my_table
USING GIN (jsonb_column jsonb_path_ops);
```

Expression indexing

```
CREATE INDEX expr_idx ON my_table
USING GIN ((jsonb_column -> 'often_needed_key'));
```

- hyödynnettävissä vain kyselyihin, jotka käyttävät samaa lauseketta
- poikkeuksellisesti aja `ANALYZE my_table` heti luomisen jälkeen

Partial index

```
1  CREATE INDEX partial_idx ON my_table
2  USING GIN (jsonb_column)
3  WHERE
4    other_column > 3
5    AND NOT (
6      jsonb_column ? 'too_common_to_index'
7      OR jsonb_column @> '{"not_interesting":1}'::jsonb
8    );
```

Usein planner ei osaa hyödyntää partial GIN `jsonb` -indeksejä.

Niksi: Generated columns

```
CREATE TABLE my_table (
  ...
  jsonb_column jsonb,
  top_favorite_may_be_null text GENERATED ALWAYS AS
    (jsonb_column #>> '{favorites,0}') STORED,
  name_must_exist text GENERATED ALWAYS AS
    (jsonb_column ->> 'name') STORED NOT NULL,
  ears_left integer GENERATED ALWAYS AS
    ((jsonb_column ->> 'ears_left')::integer) STORED,
  ...
);
```

Niksi: CHECK

```
1  CREATE TABLE my_table (
2    ...
3    jsonb_column jsonb DEFAULT {} NOT NULL,
4    CONSTRAINT jsonb_column_must_be_object
5      CHECK (jsonb_typeof(jsonb_column) = 'object'),
6    ...
7  );
```

PostgreSQL 13

B-tree-indeksoinnin tiivistäminen

pienentää indeksin kokoa ja nopeuttaa siksi kyselyjä.

Hash aggregation

osaa nyt hyödyntää levyä, jos muistinkäyttö kasvaisi liian isoksi.

Extended statistics

hyödynnetään useammin.

Rinnakkainen VACUUM B-tree-indekseille

nopeuttaa saman taulun indeksien puhdistusta.

Incremental sorting

- Jos käytetään `ORDER BY a, b, c`
- ja jos välitulos on jo järjestetty `a`:n ja `b`:n suhteen
- ja jos loput järjestämisestä voidaan tehdä erissä, joissa `a`:n ja `b`:n arvot pysyvät samoina,
- niin rivit voidaan järjestää loppuun huomioiden pelkästään `c`:n arvot.

ORDER BY … LIMIT … WITH TIES

antaa vähintään pyydetyn määrän ja lisäksi tasoihin päässeet rivit.

EXPLAIN ANALYZE WAL

paljastaa tutkitun lauseen Write-Ahead Log -aktiviteetin.

Natiivi UUIDv4-generointi

PostgreSQL:n jatkokehitys

Suurten yhteysmäärien käsittely

OUT-argumentit proseduureille

REINDEX partitioiduille tauluille

Lisää instrumentointia utility-käskyille

zheap

- ollut pitkään tekeillä
- suunniteltu `UPDATE`-orientoituneelle kuormalle
- ei tulevaisuudessa tarvitse autovacuumia
- käyttää undo logia

Kysymyksiä?

Palaute

Kiitos!

henri.seijo@mistmap.com