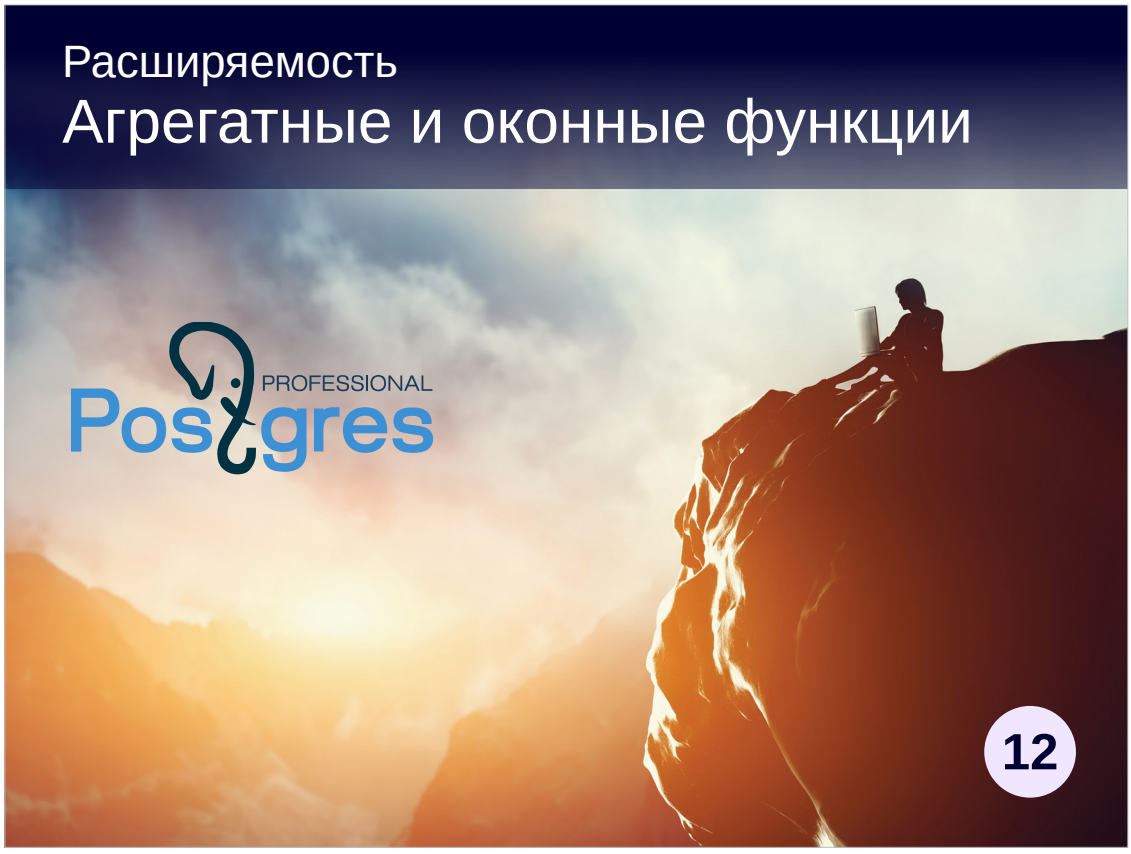


Авторы: Егор Рогов, Павел Лузанов

Обратная связь
Отзывы, замечания и предложения направляйте по адресу:
edu@postgrespro.ru

Темы

Создание пользовательских агрегатных функций

Механизм работы оконных функций и их создание

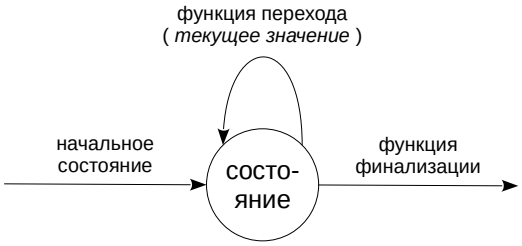
Параллельное выполнение агрегатных функций

Агрегатные функции

Построчная обработка агрегируемой выборки

состояние

функции перехода и финализации



В PostgreSQL имеется достаточно много встроенных агрегатных функций. Часть из них определена стандартом (такие, как min, max, sum, count и т. п.), часть является расширением стандарта.

https://postgrespro.ru/docs/postgresql/12/functions-aggregate

Но иногда может оказаться полезным создать собственную агрегатную функцию. Такая функция работает очень просто.

Имеется некоторое состояние, представленное значением какого-либо типа данных, которое инициализируется в начале определенным значением (например, тип numeric и начальное значение 0).

Для каждой строки агрегируемой выборки вызывается функция перехода, которой передается значение из текущей строки, и которая должна обновить состояние (например, функция сложения).

В конце вызывается функция финализации, которая преобразует полученное в результате работы состояние в результат (в нашем примере достаточно просто вернуть число — в итоге получается аналог функции sum).

https://postgrespro.ru/docs/postgresql/12/xaggr

Агрегатные функции

```
=> CREATE DATABASE ext_aggregates;
```

```
CREATE DATABASE
```

```
=> \c ext_aggregates
```

```
You are now connected to database "ext_aggregates" as user "student".
```

Мы будем писать функцию для получения среднего, аналог встроенной функции avg.

Начнем с того, что создадим таблицу:

```
=> CREATE TABLE test (
    n float,
    grp text
);
```

```
CREATE TABLE
```

```
=> INSERT INTO test(n,grp)
VALUES (1,'A'), (2,'A'), (3,'B'), (4,'B'), (5,'B');
```

```
INSERT 0 5
```

Состояние должно включать сумму значений и их количество. Поэтому создадим составной тип:

```
=> CREATE TYPE average_state AS (
    accum float,
    qty float
);
```

```
CREATE TYPE
```

Теперь определим функцию перехода. Она возвращает новое состояние на основе текущего, прибавляя текущее значение к сумме и единицу к количеству.

Мы также включим в функцию отладочный вывод, чтобы иметь возможность наблюдать за ее вызовом.

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION average_transition(
    state average_state,
    val float
)
RETURNS average_state AS $$
BEGIN
    RAISE NOTICE '%(%) + %', state.accum, state.qty, val;
    RETURN ROW(state.accum+val, state.qty+1)::average_state;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Функция финализации делит полученную сумму на количество, чтобы получить среднее:

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION average_final(
    state average_state
)
RETURNS float AS $$
BEGIN
    RAISE NOTICE '= %(%)', state.accum, state.qty;
    RETURN CASE
        WHEN state.qty > 0 THEN state.accum/state.qty
    END;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

И наконец нужно создать агрегат, указав тип состояния и его начальное значение, а также функции перехода и финализации:

```
=> CREATE AGGREGATE average(float) (
    stype     = average_state,
    initcond  = '(0,0)',
    sfunc     = average_transition,
    finalfunc = average_final
);
```

```
CREATE AGGREGATE
```

Можно пробовать нашу агрегатную функцию в работе:

```
=> SELECT average(n) FROM test;
```

```
NOTICE:  0(0) + 1
NOTICE:  1(1) + 2
NOTICE:  3(2) + 3
NOTICE:  6(3) + 4
NOTICE:  10(4) + 5
NOTICE:  = 15(5)
 average
---------
       3
(1 row)
```

Благодаря отладочному выводу хорошо видно, как изменяется начальное состояние (0,0).

Функция работает и при указании группировки GROUP BY:

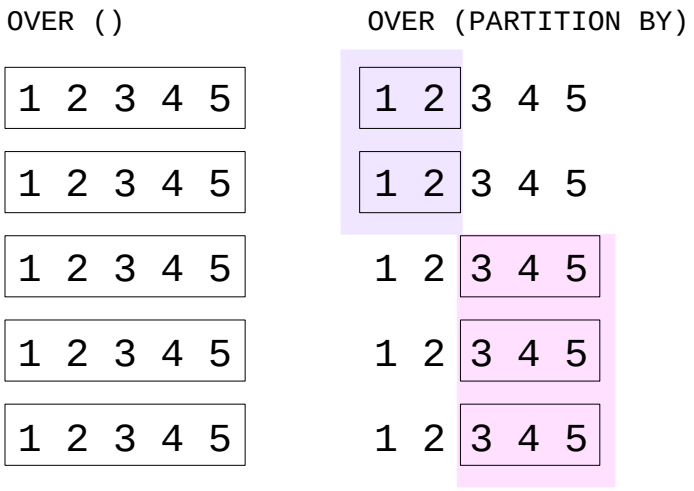
```
=> SELECT grp, average(n) FROM test GROUP BY grp;
```

```
NOTICE:  0(0) + 1
NOTICE:  1(1) + 2
NOTICE:  0(0) + 3
NOTICE:  3(1) + 4
NOTICE:  7(2) + 5
NOTICE:  = 12(3)
NOTICE:  = 3(2)
 grp | average
-----+---------
 B   |       4
 A   |     1.5
(2 rows)
```

Здесь видно, что используются два разных состояния — свое для каждой группы.

Оконные функции

Окно определяет агрегируемую выборку для каждой строки



Оконные функции работают подобно агрегатным, вычисляя значение на основе некоторой выборки. Эта выборка называется *рамкой*. Но, в отличие от агрегатных функций, строки не сворачиваются в одну общую, а вместо этого значение вычисляется для каждой строки выборки.

Окно задается в предложении OVER после имени функции.

Если окно указано как OVER(), то оконная функция вычисляется на основе всех строк — одинаково для каждой строки выборки.

Если определение окна включает фразу PARTITION BY, то оконная функция вычисляется на основе групп строк (аналогично группировке GROUP BY). В этом случае для всех строк одной группы будет получено одинаковое значение функции.

OVER()

Созданная нами агрегатная функция работает как оконная без всяких изменений:

```
=> SELECT n, average(n) OVER() FROM test;
```

```
NOTICE:  0(0) + 1
NOTICE:  1(1) + 2
NOTICE:  3(2) + 3
NOTICE:  6(3) + 4
NOTICE:  10(4) + 5
NOTICE:  = 15(5)
 n | average
---+---------
 1 |       3
 2 |       3
 3 |       3
 4 |       3
 5 |       3
(5 rows)
```

Обратите внимание, что, поскольку рамка для всех строк одинакова, значение вычисляется только один раз, а не для для каждой строки.

И для предложения PARTITION BY:

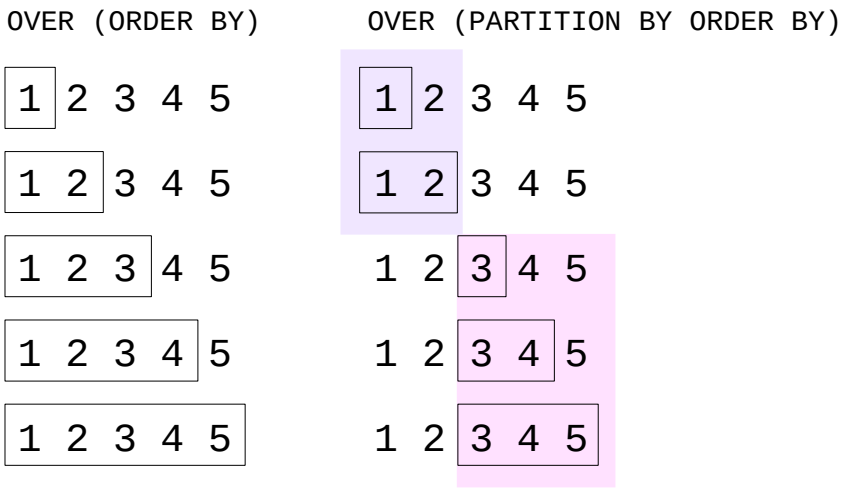
```
=> SELECT n, grp, average(n) OVER(PARTITION BY grp) FROM test;
```

```
NOTICE:  0(0) + 1
NOTICE:  1(1) + 2
NOTICE:  = 3(2)
NOTICE:  0(0) + 3
NOTICE:  3(1) + 4
NOTICE:  7(2) + 5
NOTICE:  = 12(3)
 n | grp | average
---+-----+---------
 1 | A   |     1.5
 2 | A   |     1.5
 3 | B   |       4
 4 | B   |       4
 5 | B   |       4
(5 rows)
```

Здесь все работает точно так же, как для обычной группировки GROUP BY.

Нарастающий итог

«Голова» рамки может двигаться



Как только в определении окна мы указываем предложение ORDER BY, упорядочивающее строки выборки, предполагается, что рамка окна охватывает строки от самой первой до текущей. Это можно записать и явным образом: ROWS BETWEEN UNBOUNDED PRECEDING AND CURRENT ROW.

Например, если в качестве оконной функции используется sum, мы получаем сумму «нарастающим итогом».

Конечно, для каждой группы строк, определяемых предложением PARTITION BY, окно будет свое.

OVER(ORDER BY)

Если добавить к определению рамки предложение ORDER BY, получим рамку, «хвост» которой стоит на месте, а голова движется вместе с текущей строкой:

```
=> SELECT n, average(n) OVER(ORDER BY n) FROM test;
```

```
NOTICE:  0(0) + 1
NOTICE:  = 1(1)
NOTICE:  1(1) + 2
NOTICE:  = 3(2)
NOTICE:  3(2) + 3
NOTICE:  = 6(3)
NOTICE:  6(3) + 4
NOTICE:  = 10(4)
NOTICE:  10(4) + 5
NOTICE:  = 15(5)
 n | average
---+---------
 1 |       1
 2 |     1.5
 3 |       2
 4 |     2.5
 5 |       3
(5 rows)
```

Снова не понадобилось никаких изменений — все работает. Здесь видно, как каждая следующая строка последовательно добавляется к состоянию, и вызывается функция финализации.

Полная форма того же запроса выглядит так:

```
SELECT n, average(n) OVER(
    ORDER BY n                        -- сортировка
    ROWS BETWEEN UNBOUNDED PRECEDING -- от самого начала
             AND CURRENT ROW          -- до текущей строки
)
FROM test;
```

То же самое работает и в сочетании с PARTITION BY:

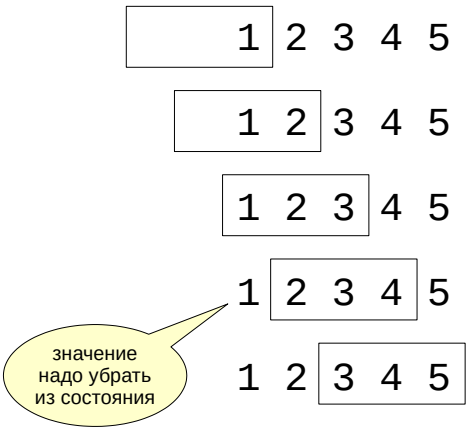
```
=> SELECT n, grp, average(n) OVER(PARTITION BY grp ORDER BY n)
FROM test;
```

```
NOTICE:  0(0) + 1
NOTICE:  = 1(1)
NOTICE:  1(1) + 2
NOTICE:  = 3(2)
NOTICE:  0(0) + 3
NOTICE:  = 3(1)
NOTICE:  3(1) + 4
NOTICE:  = 7(2)
NOTICE:  7(2) + 5
NOTICE:  = 12(3)
 n | grp | average
---+-----+---------
 1 | A   |       1
 2 | A   |     1.5
 3 | B   |       3
 4 | B   |     3.5
 5 | B   |       4
(5 rows)
```

Скользящая рамка

Могут двигаться «голова» и «хвост» рамки одновременно

```
OVER (ROWS BETWEEN 2 PRECEDING AND CURRENT ROW)
```



Рамку можно указать явно в предложении ROWS BETWEEN. В том числе двигаться может не только «голова» рамки, но и ее «хвост».

https://postgrespro.ru/docs/postgresql/12/sql-expressions#SYNTAX-WINDOW-FUNCTIONS

Если в предыдущих примерах рамка только расширялась (в нее добавлялись все новые значения), то теперь ранее добавленные значения значения могут «уходить» из рамки.

Чтобы пользовательская агрегатная функция работала эффективно в таком режиме, нужно реализовать функцию инверсии, которая устраняет значение из состояния.

OVER(ROWS BETWEEN)

С помощью фразы ROWS BETWEEN можно задать любую необходимую конфигурацию рамки, указывая (в частности):

- UNBOUNDED PRECEDING — с самого начала;
- n PRECEDING — n предыдущих;
- CURRENT ROW — текущая строка;
- n FOLLOWING — n следующих;
- UNBOUNDED FOLLOWING — до самого конца.

Рассмотрим вычисление «скользящего среднего» для трех значений. В отличие от предыдущих примеров из состояния должно «вычитаться» значение, уходящее из рамки, но у нас есть только функция «добавления». Единственный способ выполнить запрос — пересчитывать всю рамку заново:

```
=> SELECT n, average(n) OVER(ROWS BETWEEN 2 PRECEDING AND CURRENT ROW)
FROM test;
```

```
NOTICE:  0(0) + 1
NOTICE:  = 1(1)
NOTICE:  1(1) + 2
NOTICE:  = 3(2)
NOTICE:  3(2) + 3
NOTICE:  = 6(3)
NOTICE:  0(0) + 2
NOTICE:  2(1) + 3
NOTICE:  5(2) + 4
NOTICE:  = 9(3)
NOTICE:  0(0) + 3
NOTICE:  3(1) + 4
NOTICE:  7(2) + 5
NOTICE:  = 12(3)
 n | average
---+---------
 1 |       1
 2 |     1.5
 3 |       2
 4 |       3
 5 |       4
(5 rows)
```

Это, конечно, неэффективно, но мы можем написать недостающую функцию «инверсии»:

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION average_inverse(
    state average_state,
    val float
) RETURNS average_state AS $$
BEGIN
    RAISE NOTICE '%(%) - %', state.accum, state.qty, val;
    RETURN ROW(state.accum-val, state.qty-1)::average_state;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Нужно указать эту функцию в определении агрегата:

```
=> DROP AGGREGATE average(float);
```

```
DROP AGGREGATE
```

```
=> CREATE AGGREGATE average(float) (
    -- обычный агрегат
    stype      = average_state,
    initcond   = '(0,0)',
    sfunc      = average_transition,
    finalfunc  = average_final,
    -- вариант с обратной функцией
    mstype     = average_state,
    minitcond  = '(0,0)',
    msfunc     = average_transition,
    minvfunc   = average_inverse,
    mfinalfunc = average_final
);
```

```
CREATE AGGREGATE
```

Пробуем:

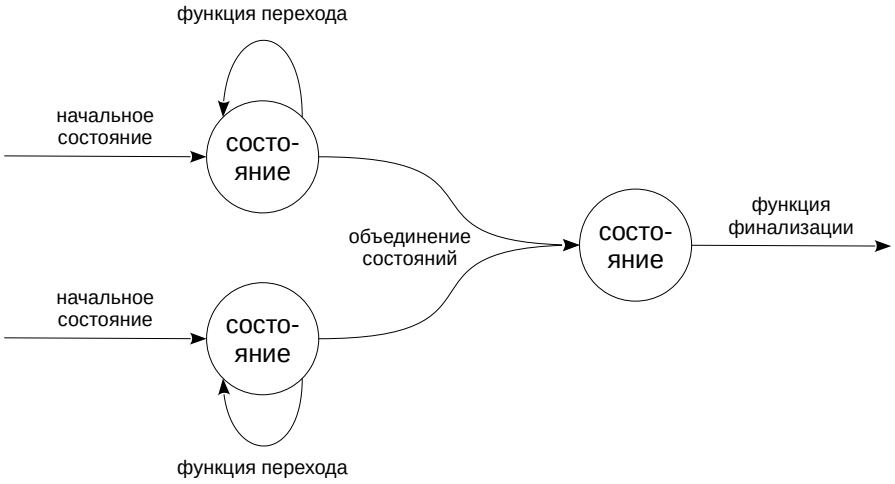
```
=> SELECT n, average(n) OVER(ROWS BETWEEN 2 PRECEDING AND CURRENT ROW)
FROM test;
```

```
NOTICE:  0(0) + 1
NOTICE:  = 1(1)
NOTICE:  1(1) + 2
NOTICE:  = 3(2)
NOTICE:  3(2) + 3
NOTICE:  = 6(3)
NOTICE:  6(3) - 1
NOTICE:  5(2) + 4
NOTICE:  = 9(3)
NOTICE:  9(3) - 2
NOTICE:  7(2) + 5
NOTICE:  = 12(3)
 n | average
---+---------
 1 |       1
 2 |     1.5
 3 |       2
 4 |       3
 5 |       4
(5 rows)
```

Теперь лишних операций не происходит.

Параллелизм

Объединение состояний параллельных процессов



Агрегатные функции могут выполняться в параллельном режиме. Основной процесс, выполняющий запрос, может создать несколько параллельных рабочих процессов, каждый из которых будет выполнять параллельную часть плана для части данных. Затем полученные результаты передаются в основной процесс, который собирает их и формирует общий результат.

Чтобы пользовательские агрегатные функции могли работать параллельно, нужно реализовать функцию объединения двух состояний в одно общее.

Параллелизм

Таблица с пятью строчками, конечно, слишком мала для параллельного выполнения. Возьмем больше данных:

```
=> CREATE TABLE big (
    n float
);
```

```
CREATE TABLE
```

```
=> INSERT INTO big
    SELECT random()*10::integer FROM generate_series(1,1000000);
```

```
INSERT 0 1000000
```

```
=> ANALYZE big;
```

```
ANALYZE
```

Встроенные агрегатные функции могут выполняться в параллельном режиме:

```
=> EXPLAIN SELECT sum(n) FROM big;
```

```
                                     QUERY PLAN
------------------------------------------------------------------------------------
 Finalize Aggregate  (cost=10633.55..10633.56 rows=1 width=8)
   ->  Gather  (cost=10633.33..10633.54 rows=2 width=8)
         Workers Planned: 2
         ->  Partial Aggregate  (cost=9633.33..9633.34 rows=1 width=8)
               ->  Parallel Seq Scan on big  (cost=0.00..8591.67 rows=416667 width=8)
(5 rows)
```

А наша функция — нет:

```
=> EXPLAIN SELECT average(n) FROM big;
```

```
                                  QUERY PLAN
-------------------------------------------------------------------------------
 Aggregate  (cost=264425.25..264425.26 rows=1 width=8)
   ->  Seq Scan on big  (cost=0.00..14425.00 rows=1000000 width=8)
 JIT:
   Functions: 3
   Options: Inlining false, Optimization false, Expressions true, Deforming true
(5 rows)
```

Чтобы поддержать параллельное выполнение, требуется еще одна функция для объединения двух состояний:

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION average_combine(
    state1 average_state,
    state2 average_state
) RETURNS average_state AS $$
BEGIN
    RAISE NOTICE '%(%) & %(%)',
        state1.accum, state1.qty, state2.accum, state2.qty;
    RETURN ROW(
        state1.accum+state2.accum,
        state1.qty+state2.qty
    )::average_state;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Кроме того, уберем отладочный вывод из функции перехода:

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION average_transition(
    state average_state,
    val float
)
RETURNS average_state AS $$
    SELECT ROW(state.accum+val, state.qty+1)::average_state;
$$ LANGUAGE sql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Пересоздадим агрегат, указав новую функцию и подтвердив безопасность параллельного выполнения:

```
=> DROP AGGREGATE average(float);

DROP AGGREGATE

=> CREATE AGGREGATE average(float) (
    -- обычный агрегат
    stype       = average_state,
    initcond    = '(0,0)',
    sfunc       = average_transition,
    finalfunc   = average_final,
    combinefunc = average_combine,
    parallel    = safe,
    -- вариант с обратной функцией
    mstype      = average_state,
    minitcond   = '(0,0)',
    msfunc      = average_transition,
    minvfunc    = average_inverse,
    mfinalfunc  = average_final
);

CREATE AGGREGATE
```

Теперь наша функция тоже работает параллельно:

```
=> EXPLAIN SELECT average(n) FROM big;

                                      QUERY PLAN
---------------------------------------------------------------------------------------
 Finalize Aggregate  (cost=113759.38..113759.39 rows=1 width=8)
   ->  Gather  (cost=113758.42..113758.63 rows=2 width=32)
         Workers Planned: 2
         ->  Partial Aggregate  (cost=112758.42..112758.43 rows=1 width=32)
               ->  Parallel Seq Scan on big  (cost=0.00..8591.67 rows=416667 width=8)
 JIT:
   Functions: 5
   Options: Inlining false, Optimization false, Expressions true, Deforming true
(8 rows)


=> SELECT average(n) FROM big;

NOTICE:  0(0) & 1661399.8801416736(332220)
NOTICE:  1661399.8801416736(332220) & 1652604.6120231883(331040)
NOTICE:  3314004.492164862(663260) & 1683878.4475513375(336740)
NOTICE:  = 4997882.939716199(1000000)
     average
-----------------
 4.9978829397162
(1 row)
```

Здесь видно, что три процесса поделили работу примерно поровну, и затем три состояния были попарно объединены.

В оконном режиме параллельное выполнение не поддерживается, в том числе и для встроенных функций.

Итоги

PostgreSQL позволяет создавать агрегатные и оконные функции

Агрегатные и оконные функции дают возможность использовать процедурную обработку в стиле SQL

Практика

1. Напишите отчет, выводящий складские остатки по каждой книге в денежном выражении (используя закупочную, а не розничную цену). Оформите отчет как фоновое задание. Учтите, что поступления происходят разными партиями по разной цене, а продажи никак не привязаны к партиям. Поэтому считайте, что в первую очередь продаются книги из более старых партий.
2. Дополните расширение bookfmt функциями min и max для формата издания. Обновите версию расширения и убедитесь, что функции появились в базе данных.

1. Начните с запроса к таблице operations, выводящего только поступления книг, но добавьте столбец, показывающий общее количество проданных книг данного поступления.

В качестве примера книги, для которой на складе остались экземпляры из нескольких партий, можно взять книгу с book_id = 15.

Напишите оконную функцию, вычисляющую при использовании в режиме «нарастающего итога» остаток книг данного поступления на складе (или решите задачу, используя имеющиеся оконные функции).

2. Расширение bookfmt было написано в практике к теме «Создание расширений».

```
student$ psql bookstore2
```

1. Отчет по складским остаткам

Начнем с простого запроса, который выводит поступления книг и добавляет к каждой строке количество проданных экземпляров данной книги:

```
=> WITH sold(book_id, qty) AS (
    -- продажи книг
    SELECT book_id,
           -sum(qty)
    FROM   operations
    WHERE  qty < 0
    GROUP BY book_id
)
SELECT o.book_id,
       o.qty,
       s.qty as sold_qty,
       o.price
FROM   operations o
     LEFT JOIN sold s ON s.book_id = o.book_id
WHERE  o.qty > 0
AND    o.book_id = 15 -- для примера
ORDER BY o.book_id, o.at;
```

```
 book_id | qty | sold_qty | price
---------+-----+----------+-------
      15 |  18 |      235 |  1362
      15 |  22 |      235 |  1280
      15 |  16 |      235 |  1647
      15 |  22 |      235 |  1617
      15 |  17 |      235 |  1482
      15 |  24 |      235 |  1224
      15 |  15 |      235 |  1406
      15 |  14 |      235 |  1492
      15 |  20 |      235 |  1287
      15 |  16 |      235 |  1329
      15 |  18 |      235 |  1393
      15 |  22 |      235 |  1636
      15 |  25 |      235 |  1334
(13 rows)
```

Нам хотелось бы иметь функцию, которая на основании столбцов qty и sold_qty вычислит остаток книг от каждого поступления.

Состояние такой агрегатной функции, которую мы будем использовать в режиме «нарастающего итога», включает два целых числа:

- количество книг, уже распределенных между поступлениями;
- количество нераспроданных книг в текущем поступлении.

```
=> CREATE TYPE distribute_state AS (
    distributed integer,
    qty integer
);
```

```
CREATE TYPE
```

Функция перехода увеличивает количество распределенных книг на число книг в поступлении, но только до тех пор, пока оно не превышает общего числа проданных книг:

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION distribute_transition(
    state distribute_state,
    qty integer,
    sold_qty integer
)
RETURNS distribute_state AS $$
DECLARE
    new_distributed integer;
BEGIN
    new_distributed := least(state.distributed + qty, sold_qty);
    RETURN ROW(
        new_distributed,
        qty - (new_distributed - state.distributed)
    )::distribute_state;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Функция финализации просто возвращает количество нераспроданных книг текущего поступления:

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION distribute_final(
    state distribute_state
)
RETURNS integer AS $$
BEGIN
    RETURN state.qty;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Создаем агрегат, указав тип состояния и его начальное значение, а также функции перехода и финализации:

```
=> CREATE AGGREGATE distribute(qty integer, sold_qty integer) (
    stype     = distribute_state,
    initcond  = '(0,0)',
    sfunc     = distribute_transition,
    finalfunc = distribute_final
);
```

```
CREATE AGGREGATE
```

Добавим новую агрегатную функцию к запросу, указав группировку по книгам (book_id) и сортировку в порядке времени совершения операций:

```
=> WITH sold(book_id, qty) AS (
    -- продажи книг
    SELECT book_id,
           -sum(qty)::integer
    FROM   operations
    WHERE  qty < 0
    GROUP BY book_id
)
SELECT o.book_id,
       o.qty,
       s.qty as sold_qty,
       distribute(o.qty, s.qty) OVER (
           PARTITION BY o.book_id ORDER BY o.at
       ) left_in_stock,
       o.price
FROM   operations o
     LEFT JOIN sold s ON s.book_id = o.book_id
WHERE  o.qty > 0
AND    o.book_id = 15 -- для примера
ORDER BY o.book_id, o.at;
```

```
 book_id | qty | sold_qty | left_in_stock | price
---------+-----+----------+---------------+-------
      15 |  18 |      235 |             0 |  1362
      15 |  22 |      235 |             0 |  1280
      15 |  16 |      235 |             0 |  1647
      15 |  22 |      235 |             0 |  1617
      15 |  17 |      235 |             0 |  1482
      15 |  24 |      235 |             0 |  1224
      15 |  15 |      235 |             0 |  1406
      15 |  14 |      235 |             0 |  1492
      15 |  20 |      235 |             0 |  1287
      15 |  16 |      235 |             0 |  1329
      15 |  18 |      235 |             0 |  1393
      15 |  22 |      235 |             0 |  1636
      15 |  25 |      235 |            14 |  1334
(13 rows)
```

Осталось убрать условие для конкретной книги, умножить остаток на цену, сгруппировать результат по книгам и оформить запрос в виде функции, чтобы зарегистрировать ее как фоновое задание:

```
=> CREATE FUNCTION stock_task(params jsonb DEFAULT NULL)
RETURNS TABLE(book_id bigint, cost numeric)
AS $$
WITH sold(book_id, qty) AS (
    -- продажи книг
    SELECT book_id,
           -sum(qty)::integer
    FROM   operations
    WHERE  qty < 0
    GROUP BY book_id
), left_in_stock(book_id, cost) AS (
    SELECT o.book_id,
           distribute(o.qty, s.qty) OVER (
               PARTITION BY o.book_id ORDER BY o.at
           ) * price
    FROM   operations o
        LEFT JOIN sold s ON s.book_id = o.book_id
    WHERE  o.qty > 0
)
SELECT book_id,
       sum(cost)
FROM   left_in_stock
GROUP BY book_id
ORDER BY book_id;
$$ LANGUAGE sql STABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

```
=> SELECT register_program('Отчет по складским остаткам', 'stock_task');
```

```
 register_program
------------------
                3
(1 row)
```

```
=> SELECT * FROM stock_task() LIMIT 10;
```

```
 book_id | cost
---------+-------
       1 |  7958
       2 |  3786
       3 |  8778
       4 | 15264
       5 | 19251
       6 | 17070
       7 |  8088
       8 | 44474
       9 | 40178
      10 | 50669
(10 rows)
```

Заметим, что задачу можно решить и с помощью стандартных оконных функций:

```
=> WITH sold(book_id, qty) AS (
    -- продажи книг
    SELECT book_id,
           -sum(qty)
    FROM   operations
    WHERE  qty < 0
    GROUP BY book_id
), received(book_id, qty, cum_qty, price) AS (
    -- поступления книг
    SELECT book_id,
           qty,
           sum(qty) OVER (PARTITION BY book_id ORDER BY at),
           price
    FROM   operations
    WHERE  qty > 0
), left_in_stock(book_id, qty, price) AS (
    -- оставшиеся на складе книги
    SELECT r.book_id,
           CASE
               WHEN r.cum_qty - s.qty < 0 THEN 0
               WHEN r.cum_qty - s.qty < r.qty THEN r.cum_qty - s.qty
               ELSE r.qty
           END,
           r.price
    FROM   received r
        LEFT JOIN sold s ON s.book_id = r.book_id
)
SELECT book_id,
       sum(qty*price)
FROM   left_in_stock
GROUP BY book_id
ORDER BY book_id
LIMIT 10; -- ограничим вывод
```

```
 book_id |  sum
---------+-------
       1 |  7958
       2 |  3786
       3 |  8778
       4 | 15264
       5 | 19251
       6 | 17070
       7 |  8088
       8 | 44474
       9 | 40178
      10 | 50669
(10 rows)
```

Разумеется, отчет нетрудно сделать более наглядным, выводя название книги вместо идентификатора.

2. Min и max для типа book_format

Сейчас функции min и max работают не в соответствии с определенным ранее классом операторов:

```
=> SELECT min(format), max(format) FROM books;
```

```
    min    |    max
-----------+-----------
 60x100/16 | 84x108/32
(1 row)
```

А вот правильный порядок:

```
=> SELECT format FROM books GROUP BY format ORDER BY format;
```

```
   format
-------------
 (76,100,32)
 (84,108,32)
 (60,84,16)
 (60,88,16)
 (60,90,16)
 (66,90,16)
 (60,100,16)
 (70,90,16)
 (70,100,16)
 (76,100,16)
 (84,108,16)
 (60,90,8)
(12 rows)
```

Создадим версию 1.1 расширения с учетом следующего:

- Состоянием для агрегатной функции является текущее минимальное (максимальное) значение.
- Функция перехода записывает в состояние минимальное (максимальное) из двух значений — запомненного в состоянии и текущего.
- Функция финализации не нужна — возвращается просто текущее состояние.

```
student$ cat >bookfmt/bookfmt.control <<EOF
default_version = '1.1'
relocatable = true
encoding = UTF8
comment = 'Формат издания'
EOF

student$ cat >bookfmt/bookfmt--1.0--1.1.sql <<'EOF'
\echo Use "CREATE EXTENSION bookfmt" to load this file. \quit

CREATE OR REPLACE FUNCTION format_min_transition(
    min_so_far book_format,
    val book_format
)
RETURNS book_format AS $$
SELECT least(min_so_far, val);
$$ LANGUAGE sql IMMUTABLE;

CREATE AGGREGATE min(book_format) (
    stype     = book_format,
    sfunc     = format_min_transition,
    sortop    = <
);

CREATE OR REPLACE FUNCTION format_max_transition(
    max_so_far book_format,
    val book_format
)
RETURNS book_format AS $$
SELECT greatest(max_so_far, val);
$$ LANGUAGE sql IMMUTABLE;

CREATE AGGREGATE max(book_format) (
    stype     = book_format,
    sfunc     = format_max_transition,
    sortop    = >
);
EOF
```

При создании агрегата мы дополнительно указали оператор сортировки, реализующий стратегию «меньше» («больше») класса операторов, чтобы планировщик мог оптимизировать вызов наших агрегатных функций, просто получая первое значение из индекса.

```
student$ cat >bookfmt/Makefile <<'EOF'
EXTENSION = bookfmt
DATA = bookfmt--0.sql bookfmt--0--1.0.sql bookfmt--1.0--1.1.sql

PG_CONFIG = pg_config
PGXS := $(shell $(PG_CONFIG) --pgxs)
include $(PGXS)
EOF

student$ sudo make install -C bookfmt

make: Entering directory '/home/student/bookfmt'
/bin/mkdir -p '/usr/share/postgresql/12/extension'
/bin/mkdir -p '/usr/share/postgresql/12/extension'
/usr/bin/install -c -m 644 .//bookfmt.control '/usr/share/postgresql/12/extension/'
/usr/bin/install -c -m 644 .//bookfmt--0.sql .//bookfmt--0--1.0.sql .//bookfmt--1.0--1.1.sql  '/usr/share/postgresql/12/extension/'
make: Leaving directory '/home/student/bookfmt'
```

Выполним обновление:

```
=> ALTER EXTENSION bookfmt UPDATE;

ALTER EXTENSION
```

Проверим:

```
=> SELECT min(format)::text, max(format)::text FROM books;
```

```
    min    |   max
-----------+---------
 76x100/32 | 60x90/8
(1 row)
```

```
=> SELECT min(format)::text, max(format)::text FROM books WHERE false;
```

```
 min | max
-----+-----
     |
(1 row)
```

Практика

1. В банкомат загружено некоторое количество купюр определенных достоинств.
   Напишите функцию, возвращающую минимальный набор купюр, которыми банкомат может выдать указанную сумму.
2. Бизнес-центр сдает офисы компаниям. В конце месяца администрации БЦ приходит общий счет за электроэнергию, который надо распределить между арендаторами пропорционально площади занимаемых помещений. Выставляемые арендаторам счета необходимо округлить до копеек, но так, чтобы их сумма совпала со значением, указанным в общем счете.

1. Состояние банкомата можно представить таблицей:

```
banknotes (
    value numeric, -- достоинство
    qty integer    -- наличное количество
);
```

Напишите агрегатную функцию, рассчитанную на вызов в режиме «нарастающего итога» по убыванию достоинства купюр. Для каждой строки таблицы она должна возвращать количество купюр данного достоинства, которое надо выдать.

2. Помещения бизнес-центра можно представить таблицей:

```
rent (
    renter text PRIMARY KEY, -- арендатор
    area integer             -- площадь, м^2
);
```

Пример, показывающий проблему с обычным округлением:

```
INSERT INTO rent VALUES ('A',100), ('B',100), ('C',100);

SELECT round(1000.00 * area / sum(area) OVER ()), 2)
FROM rent;
```

1. Банкомат

```
=> CREATE DATABASE ext_aggregates;
```

```
CREATE DATABASE
```

```
=> \c ext_aggregates
```

```
You are now connected to database "ext_aggregates" as user "student".
```

Состояние банкомата описывается набором купюр:

```
=> CREATE TABLE banknotes (
    value numeric,
    qty integer
);
```

```
CREATE TABLE
```

```
=> INSERT INTO banknotes VALUES
    (100, 7), (200, 4), (500, 2), (1000, 8), (2000, 1), (5000, 3);
```

```
INSERT 0 6
```

Напишем агрегатную функцию для работы в режиме «нарастающего итога». Для каждой строки таблицы она будет возвращать количество купюр данного достоинства, которое необходимо выдать.

Состояние будет включать выданную к данному моменту сумму и количество выданных купюр текущего достоинства.

```
=> CREATE TYPE draw_state AS (
    drawn numeric,
    qty integer
);
```

```
CREATE TYPE
```

Функция перехода получает (кроме состояния) три параметра: достоинство купюр, их количество и требуемую сумму.

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION draw_transition(
    state draw_state,
    value numeric,
    qty integer,
    amount numeric
)
RETURNS draw_state AS $$
DECLARE
    amount_left numeric;
    qty_to_draw integer;
BEGIN
    amount_left := amount - state.drawn;
    qty_to_draw := least( trunc(amount_left/value), qty );
    RETURN ROW(
        state.drawn + qty_to_draw*value,
        qty_to_draw
    )::draw_state;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Функция финализации просто возвращает последнее количество купюр:

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION draw_final(
    state draw_state
)
RETURNS integer AS $$
SELECT state.qty;
$$ LANGUAGE sql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Объявляем агрегат:

```
=> CREATE AGGREGATE draw(value numeric, qty integer, amount numeric) (
    stype     = draw_state,
    initcond  = '(0,0)',
    sfunc     = draw_transition,
    finalfunc = draw_final
);
```

```
CREATE AGGREGATE
```

Вот как можно воспользоваться такой функцией:

```
=> SELECT value,
       qty,
       draw(value, qty, 4400) OVER (ORDER BY value DESC)
FROM banknotes
ORDER BY value DESC;
```

```
 value | qty | draw
-------+-----+------
  5000 |   3 |    0
  2000 |   1 |    1
  1000 |   8 |    2
   500 |   2 |    0
   200 |   4 |    2
   100 |   7 |    0
(6 rows)
```

Конечно, сортировку всегда необходимо указывать в порядке убывания достоинства купюр.

К сожалению, нет возможности в самой агрегатной функции проверить, что при последнем вызове вся сумма оказалась выданной:

```
=> WITH t(value, qty, draw) AS (
    SELECT value,
           qty,
           draw(value, qty, 30000) OVER (ORDER BY value DESC)
    FROM banknotes
)
SELECT *, sum(draw*value) OVER () total
FROM t
ORDER BY value DESC;
```

```
 value | qty | draw | total
-------+-----+------+-------
  5000 |   3 |    3 | 27500
  2000 |   1 |    1 | 27500
  1000 |   8 |    8 | 27500
   500 |   2 |    2 | 27500
   200 |   4 |    4 | 27500
   100 |   7 |    7 | 27500
(6 rows)
```

Это можно решить следующим образом. Добавим в таблицу «сторожевую» строку:

```
=> INSERT INTO banknotes VALUES (NULL, NULL);
```

```
INSERT 0 1
```

А к функции перехода добавим проверку:

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION draw_transition(
    state draw_state,
    value numeric,
    qty integer,
    amount numeric
)
RETURNS draw_state AS $$
DECLARE
    amount_left numeric := amount - state.drawn;
    qty_to_draw integer := least( trunc(amount_left/value), qty );
BEGIN
    IF value IS NULL AND amount_left != 0 THEN
        RAISE EXCEPTION 'Not enough banknotes';
    END IF;
    RETURN ROW(
        state.drawn + qty_to_draw*value,
        qty_to_draw
    )::draw_state;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Чтобы воспользоваться новой функцией, надо, чтобы значения NULL были в конце:

```
=> SELECT value,
       qty,
       draw(value, qty, 4400) OVER (ORDER BY value DESC NULLS LAST)
FROM banknotes
ORDER BY value DESC NULLS LAST;
```

```
 value | qty | draw
-------+-----+------
  5000 |   3 |    0
  2000 |   1 |    1
  1000 |   8 |    2
   500 |   2 |    0
   200 |   4 |    2
   100 |   7 |    0
       |     |
(7 rows)
```

```
=> SELECT value,
       qty,
       draw(value, qty, 30000) OVER (ORDER BY value DESC NULLS LAST)
FROM banknotes
ORDER BY value DESC NULLS LAST;
```

```
ERROR:  Not enough banknotes
CONTEXT:  PL/pgSQL function draw_transition(draw_state,numeric,integer,numeric) line 7 at RAISE
```

2. Округление копеек

```
=> CREATE TABLE rent (
    renter text PRIMARY KEY,
    area integer
);
```

```
CREATE TABLE
```

```
=> INSERT INTO rent VALUES ('A',100), ('B',100), ('C',100);
```

```
INSERT 0 3
```

Состояние агрегатной функции будет включать округленную сумму и ошибку округления:

```
=> CREATE TYPE round2_state AS (
    rounded_amount numeric,
    rounding_error numeric
);
```

```
CREATE TYPE
```

Функция перехода добавляет к состоянию округленную сумму и ошибку округления. А если ошибка округления переваливает за полкопейки, то добавляет копейку к сумме.

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION round2_transition(
    state round2_state,
    val numeric
)
RETURNS round2_state AS $$
BEGIN
    state.rounding_error :=
        state.rounding_error + val - round(val,2);
    state.rounded_amount :=
        round(val,2) + round(state.rounding_error, 2);
    state.rounding_error :=
        state.rounding_error - round(state.rounding_error, 2);
    RETURN state;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Функция финализации возвращает округленную сумму:

```
=> CREATE OR REPLACE FUNCTION round2_final(
    state round2_state
)
RETURNS numeric AS $$
SELECT state.rounded_amount;
$$ LANGUAGE sql IMMUTABLE;
```

```
CREATE FUNCTION
```

Объявляем агрегат:

```
=> CREATE AGGREGATE round2(numeric) (
    stype     = round2_state,
    initcond  = '(0,0)',
    sfunc     = round2_transition,
    finalfunc = round2_final
);
```

```
CREATE AGGREGATE
```

Пробуем. Нам нужен какой-то определенный, но не важно какой именно, порядок просмотра строк. В данном случае подходит арендатор, поскольку он уникален.

```
=> WITH t AS (
    SELECT *, sum(area) OVER () total_area
    FROM rent
)
SELECT *, round2( 1000.00 * area / total_area ) OVER (ORDER BY renter)
FROM t;
```

```
 renter | area | total_area | round2
--------+------+------------+--------
 A      |  100 |        300 | 333.33
 B      |  100 |        300 | 333.34
 C      |  100 |        300 | 333.33
(3 rows)
```