

Способы соединения

Соединение хешированием



Авторские права

© Postgres Professional, 2019–2024

Авторы: Егор Рогов, Павел Лузанов, Павел Толмачев, Илья Баштанов

Фото: Олег Бартунов (монастырь Пху и пик Бхрикути, Непал)

Использование материалов курса

Некоммерческое использование материалов курса (презентации, демонстрации) разрешается без ограничений. Коммерческое использование возможно только с письменного разрешения компании Postgres Professional. Запрещается внесение изменений в материалы курса.

Обратная связь

Отзывы, замечания и предложения направляйте по адресу:

edu@postgrespro.ru

Отказ от ответственности

Компания Postgres Professional не несет никакой ответственности за любые повреждения и убытки, включая потерю дохода, нанесенные прямым или косвенным, специальным или случайным использованием материалов курса. Компания Postgres Professional не предоставляет каких-либо гарантий на материалы курса. Материалы курса предоставляются на основе принципа «как есть» и компания Postgres Professional не обязана предоставлять сопровождение, поддержку, обновления, расширения и изменения.

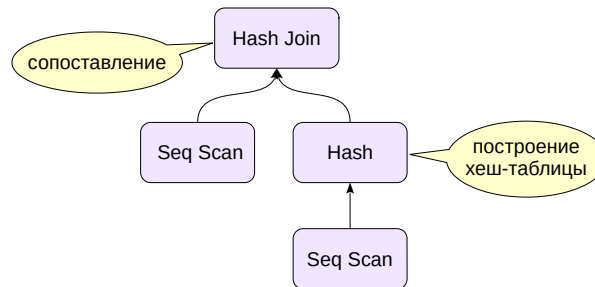
Последовательное соединение хешированием:
одно- и двухпроходное

Вычислительная сложность

Параллельное соединение хешированием:
одно- и двухпроходное

По строкам одного набора строится хеш-таблица,
строки другого набора сопоставляются с ней

Только эквисоединения



Основную идею хеширования мы рассмотрели в темах «Типы индексов» и «Группировка».

Для соединения хеширование применяется следующим образом. Сначала по одному из наборов в узле Hash строится хеш-таблица. Затем в узле Hash Join строки другого набора сопоставляются с построенной таблицей.

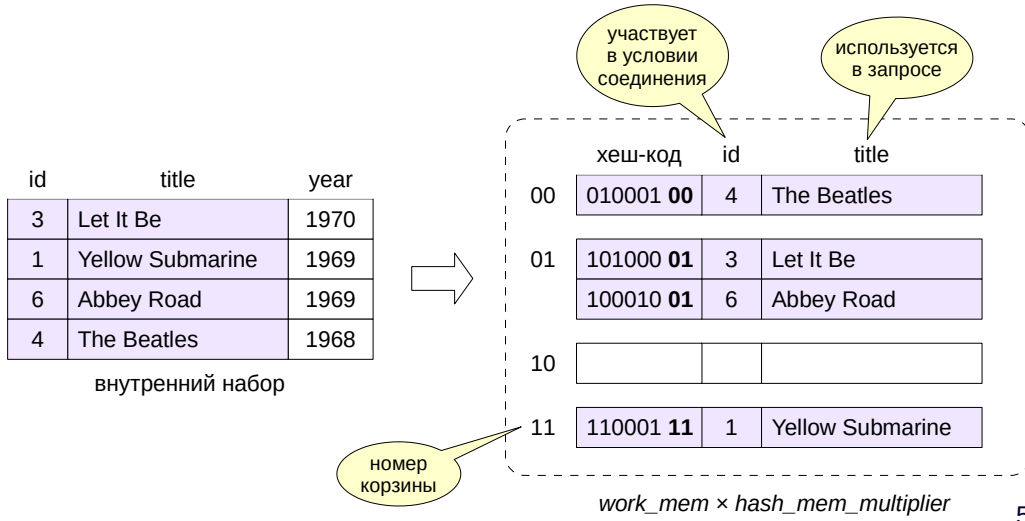
Как и хеш-индекс, хеш-соединение может работать только с условием равенства: хеш-функция не сохраняет порядок значений.

Рассмотрим на примере, как происходит соединение.

Применяется, когда для хеш-таблицы достаточно оперативной памяти

Построение хеш-таблицы

```
SELECT a.title, s.name  
FROM albums a JOIN songs s ON a.id = s.album_id;
```



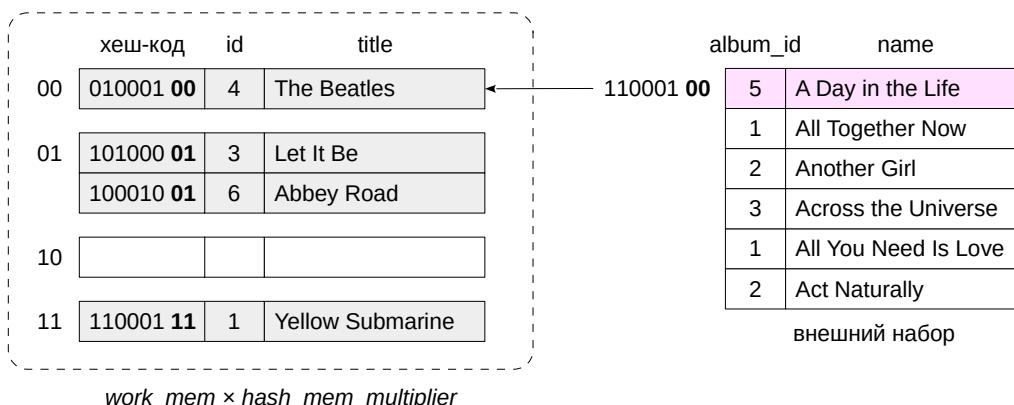
Первым этапом в памяти строится хеш-таблица.

Строки первого (внутреннего) набора читаются последовательно, и для каждой из них вычисляется хеш-функция от значений полей, входящих в условие соединения (в нашем примере это числовые идентификаторы id).

В корзину хеш-таблицы помещаются вычисленный хеш-код и все поля, которые входят в условие соединения или используются в запросе.

Размер хеш-таблицы в памяти ограничен значением $work_mem \times hash_mem_multiplier$. Наилучшая эффективность достигается, если вся хеш-таблица помещается в этот объем памяти целиком. Поэтому планировщик обычно выбирает в качестве внутреннего меньший из двух наборов строк. Также стоит не использовать в запросе лишние поля, в том числе «звездочку», чтобы не перегружать хеш-таблицу ненужной информацией.

```
SELECT a.title, s.name
FROM albums a JOIN songs s ON a.id = s.album_id;
```



На втором этапе мы последовательно читаем второй набор строк. По мере чтения мы вычисляем хеш-функцию от значений полей, участвующих в условии соединения. Если в соответствующей корзине хеш-таблицы обнаруживается строка

- 1) с таким же хеш-кодом,
 - 2) и со значениями полей, подходящими под условие соединения,
- то мы нашли пару.

Проверки одного только хеш-кода недостаточно. Во-первых, не все условия соединения, перечисленные в запросе, могут быть учтены при выполнении соединения хешированием (поддерживаются только эквисоединения). Во-вторых, возможны коллизии, при которых разные значения получают одинаковые хеш-коды (вероятность этого мала, но тем не менее она есть).

В нашем примере для первой строки соответствия нет.

```
SELECT a.title, s.name  
FROM albums a JOIN songs s ON a.id = s.album_id;
```

	хеш-код	id	title
00	010001 00	4	The Beatles
01	101000 01	3	Let It Be
	100010 01	6	Abbey Road
10			
11	110001 11	1	Yellow Submarine

album_id	name
5	A Day in the Life
1	All Together Now
2	Another Girl
3	Across the Universe
1	All You Need Is Love
2	Act Naturally

110001 11

Вторая строка второго набора дает соответствие, которое уже можно вернуть вышестоящему узлу плана: («Yellow Submarine», «All Together Now»).

```
SELECT a.title, s.name  
FROM albums a JOIN songs s ON a.id = s.album_id;
```

	хеш-код	id	title
00	010001 00	4	The Beatles
01	101000 01	3	Let It Be
	100010 01	6	Abbey Road
10			
11	110001 11	1	Yellow Submarine

111101 **10**

album_id	name
5	A Day in the Life
1	All Together Now
2	Another Girl
3	Across the Universe
1	All You Need Is Love
2	Act Naturally

Для третьей строки соответствия нет (соответствующая корзина хеш-таблицы пуста).


```
SELECT a.title, s.name
FROM albums a JOIN songs s ON a.id = s.album_id;
```

	хеш-код	id	title
00	010001 00	4	The Beatles
01	101000 01	3	Let It Be
	100010 01	6	Abbey Road
10			
11	110001 11	1	Yellow Submarine

album_id	name
5	A Day in the Life
1	All Together Now
2	Another Girl
3	Across the Universe
1	All You Need Is Love
2	Act Naturally

101000 01

Для четвертой получаем соответствие («Let It Be», «Across the Universe»).

Заметим, что в корзине хеш-таблицы оказалось две строки первого набора, и их придется просмотреть обе.

```
SELECT a.title, s.name  
FROM albums a JOIN songs s ON a.id = s.album_id;
```

	хеш-код	id	title
00	010001 00	4	The Beatles
01	101000 01	3	Let It Be
	100010 01	6	Abbey Road
10			
11	110001 11	1	Yellow Submarine

album_id	name
5	A Day in the Life
1	All Together Now
2	Another Girl
3	Across the Universe
1	All You Need Is Love
2	Act Naturally

110001 11

Для пятой строки получаем соответствие («Yellow Submarine», «All You Need Is Love»).

```
SELECT a.title, s.name
FROM albums a JOIN songs s ON a.id = s.album_id;
```

	хеш-код	id	title
00	010001 00	4	The Beatles
01	101000 01	3	Let It Be
	100010 01	6	Abbey Road
10			
11	110001 11	1	Yellow Submarine

album_id	name
5	A Day in the Life
1	All Together Now
2	Another Girl
3	Across the Universe
1	All You Need Is Love
2	Act Naturally

111101 **10**

Для шестой строки соответствия нет. На этом работа соединения завершена.

Исходный код алгоритма можно найти в файле <src/backend/executor/nodeHashjoin.c>

Однопроходное соединение хешированием

При низкой селективности оптимизатор предпочитает соединение хешированием:

```
=> EXPLAIN (costs off)
SELECT *
FROM aircrafts a
JOIN seats s ON a.aircraft_code = s.aircraft_code;
```

QUERY PLAN

```
-----
Hash Join
  Hash Cond: (s.aircraft_code = ml.aircraft_code)
    -> Seq Scan on seats s
    -> Hash
        -> Seq Scan on aircrafts_data ml
(5 rows)
```

Узел Hash Join начинает работу с того, что обращается к дочернему узлу Hash. Тот получает от своего дочернего узла (здесь — Seq Scan) весь набор строк и строит хеш-таблицу.

Затем Hash Join обращается ко второму дочернему узлу и соединяет строки, постепенно возвращая полученные результаты.

Проверим, как выполняется этот запрос:

```
=> EXPLAIN (analyze, costs off, timing off, summary off)
SELECT *
FROM aircrafts a
JOIN seats s ON a.aircraft_code = s.aircraft_code;
```

QUERY PLAN

```
-----
Hash Join (actual rows=1339 loops=1)
  Hash Cond: (s.aircraft_code = ml.aircraft_code)
    -> Seq Scan on seats s (actual rows=1339 loops=1)
    -> Hash (actual rows=9 loops=1)
        Buckets: 1024 Batches: 1 Memory Usage: 9kB
        -> Seq Scan on aircrafts_data ml (actual rows=9 loops=1)
(6 rows)
```

Хеш-таблица поместилась в память (Batches: 1). Параметр Buckets показывает число корзин в хеш-таблице, а Memory Usage — объем использованной оперативной памяти.

Обратите внимание, что хеш-таблица строилась по меньшему набору строк.

Модификации Hash Join включают уже рассмотренные ранее Left, Semi и Anti, а также Right для правого и Full для полного соединений:

```
=> EXPLAIN (costs off)
SELECT *
FROM aircrafts a
FULL JOIN seats s ON a.aircraft_code = s.aircraft_code;
```

QUERY PLAN

```
-----
Hash Full Join
  Hash Cond: (s.aircraft_code = ml.aircraft_code)
    -> Seq Scan on seats s
    -> Hash
        -> Seq Scan on aircrafts_data ml
(5 rows)
```

```
=> EXPLAIN (costs off)
SELECT *
FROM seats s
RIGHT JOIN aircrafts a ON a.aircraft_code = s.aircraft_code;
```

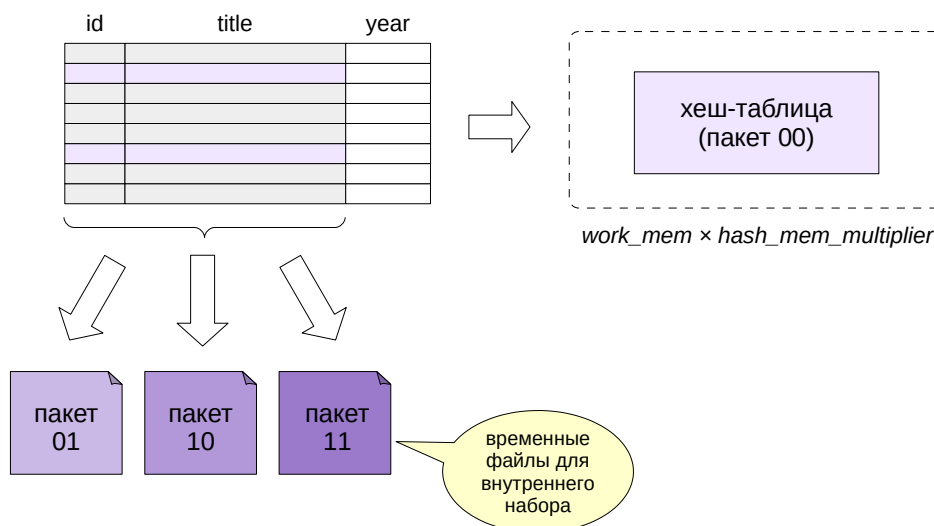
QUERY PLAN

```
-----  
Hash Right Join  
  Hash Cond: (s.aircraft_code = ml.aircraft_code)  
    -> Seq Scan on seats s  
    -> Hash  
        -> Seq Scan on aircrafts_data ml  
(5 rows)
```

Обратите внимание, что независимо от того, в каком порядке перечислены таблицы в соединении, хеш-таблица строится по меньшему набору.

Применяется, когда хеш-таблица не помещается в оперативную память: наборы данных разбиваются на пакеты и последовательно соединяются

Построение хеш-таблицы



14

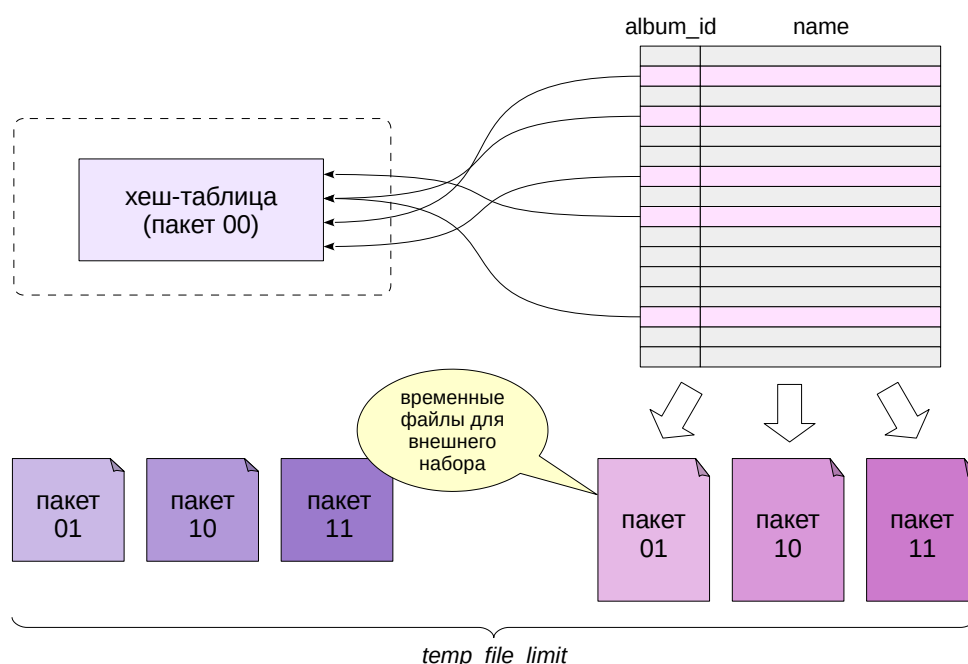
Если хеш-таблица не помещается в объем памяти, ограниченный $work_mem \times hash_mem_multiplier$, первый (внутренний) набор строк разбивается на отдельные пакеты. Для распределения по пакетам используется некоторое количество битов хеш-кода, поэтому число пакетов всегда является степенью числа 2. В идеале в каждый пакет попадает примерно одинаковое количество строк, но, если значения в строках повторяются, возможен перекос.

При планировании запроса заранее вычисляется минимально необходимое число пакетов так, чтобы хеш-таблица для каждого пакета помещалась в памяти. Это число не уменьшается, даже если оптимизатор ошибся с оценками, но при необходимости может динамически увеличиваться.

Хеш-таблица для первого пакета остается в памяти, а строки, принадлежащие другим пакетам, сбрасываются на диск во временные файлы — каждый пакет в свой файл.

На рисунке показано четыре пакета.

Сопоставление – пакет 1



15

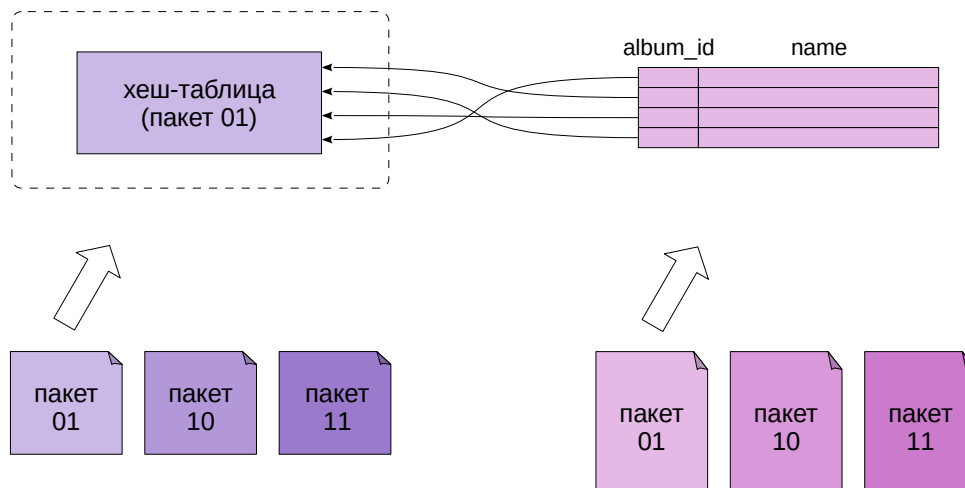
Далее читается второй (внешний) набор строк. Если строка принадлежит первому пакету, она сопоставляется с хеш-таблицей, которая как раз содержит первый пакет. С другими пакетами строку сопоставлять не надо — в них не может найтись соответствие, поскольку хеш-коды заведомо будут отличаться.

Если строка принадлежит другому пакету, она сбрасывается на диск — опять же, каждый пакет в свой временный файл.

Таким образом, при N пакетах используются $2(N-1)$ файлов.

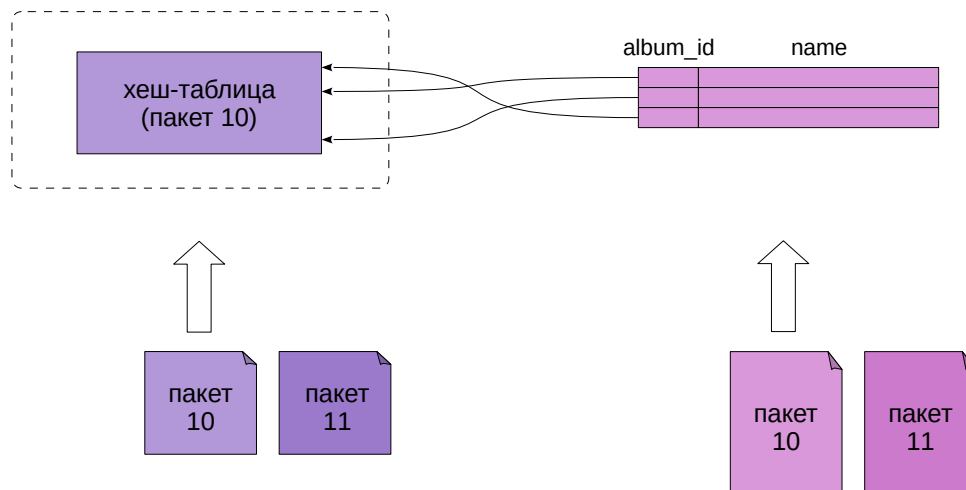
Следует учитывать, что использование временных файлов на диске ограничивается параметром *temp_file_limit*, который определяет общий предел дисковой памяти для сеанса. (Буферы временных таблиц в это ограничение не входят.)

Сопоставление – пакет 2

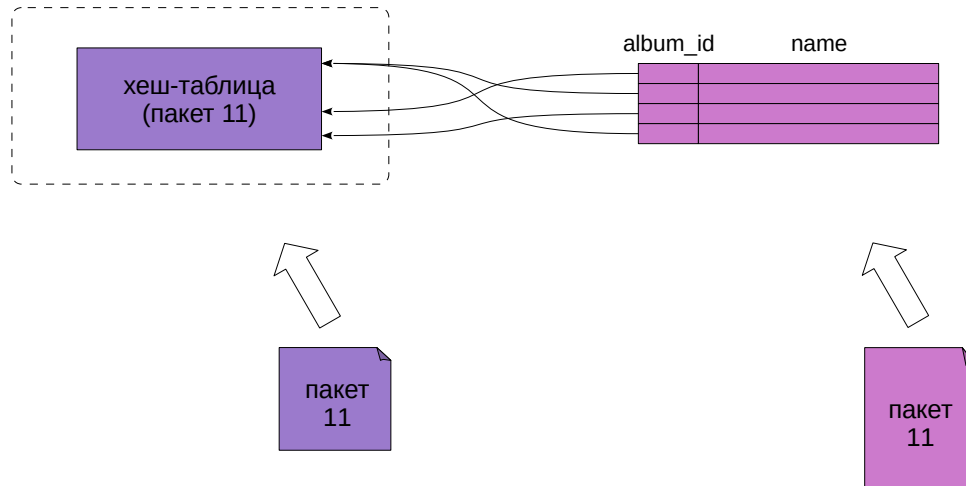


Далее по очереди обрабатываются все пакеты, начиная со второго. Из временного файла в хеш-таблицу считываются строки внутреннего набора, затем из другого временного файла считываются строки внешнего набора и сопоставляются с хеш-таблицей.

Процедура повторяется для всех оставшихся $N-1$ пакетов. На рисунке показано соединение для второго пакета (01).



На рисунке показано соединение для третьего пакета (10).



После обработки последнего пакета соединение завершено и временные файлы освобождены.

Таким образом, при нехватке оперативной памяти алгоритм соединения становится двухпроходным: каждый пакет (кроме первого) требуется записать на диск и затем прочитать повторно. Разумеется, это сказывается на эффективности соединения. Поэтому важно, чтобы:

- в хеш-таблицу попадали только действительно нужные поля (обязанность автора запроса),
- хеш-таблица строилась по меньшему набору строк (обязанность планировщика).

Двухпроходное соединение хешированием

Возьмем теперь большие таблицы и выведем статистику использования буферного кеша:

```
=> EXPLAIN (analyze, buffers, costs off, timing off, summary off)
SELECT *
FROM bookings b
JOIN tickets t ON b.book_ref = t.book_ref;
```

QUERY PLAN

```
-----
Hash Join (actual rows=2949857 loops=1)
  Hash Cond: (t.book_ref = b.book_ref)
  Buffers: shared read=62862, temp read=54218 written=54218
  -> Seq Scan on tickets t (actual rows=2949857 loops=1)
      Buffers: shared read=49415
  -> Hash (actual rows=2111110 loops=1)
      Buckets: 131072 Batches: 32 Memory Usage: 4551kB
      Buffers: shared read=13447, temp written=10701
      -> Seq Scan on bookings b (actual rows=2111110 loops=1)
          Buffers: shared read=13447
Planning:
  Buffers: shared hit=83 read=14 dirtied=5
(12 rows)
```

Теперь хеш-таблица не поместилась в память и используется двухпроходное соединение. Потребовалось 32 пакета (Batches).

Видно, что узел Hash записывает пакеты во временные файлы (temp written), а узел Hash Join и записывает, и читает (temp read и written).

Сравним с таким же запросом, который выводит только одно поле:

```
=> EXPLAIN (analyze, costs off, timing off, summary off)
SELECT b.book_ref
FROM bookings b
JOIN tickets t ON b.book_ref = t.book_ref;
```

QUERY PLAN

```
-----
Hash Join (actual rows=2949857 loops=1)
  Hash Cond: (t.book_ref = b.book_ref)
  -> Seq Scan on tickets t (actual rows=2949857 loops=1)
  -> Hash (actual rows=2111110 loops=1)
      Buckets: 262144 Batches: 16 Memory Usage: 7057kB
      -> Seq Scan on bookings b (actual rows=2111110 loops=1)
(6 rows)
```

Расход памяти уменьшился, так как в хеш-таблице теперь только одно поле (вместо трех), и количество пакетов уменьшилось вдвое.

$\sim N + M$, где

N и M — число строк в первом и втором наборах данных

Начальные затраты на построение хеш-таблицы

Эффективно для большого числа строк

Общая сложность соединения хешированием пропорциональна сумме числа строк в одном и другом наборах данных. Поэтому метод соединения хешированием гораздо эффективнее вложенного цикла при большом числе строк.

Однако, чтобы начать соединение, требуется построить хеш-таблицу: из-за этого при небольшом числе строк вложенный цикл более эффективен.

Соединение хешированием (в сочетании с полным сканированием таблиц) характерно для OLAP-запросов, в которых надо обработать большое число строк, причем общая пропускная способность важнее времени отклика.

Стоимость хеш-соединения

```
=> EXPLAIN SELECT *
FROM tickets t
JOIN ticket_flights tf ON tf.ticket_no = t.ticket_no;
```

QUERY PLAN

```
-----
Hash Join  (cost=161888.41..498646.04 rows=8392681 width=136)
  Hash Cond: (tf.ticket_no = t.ticket_no)
    -> Seq Scan on ticket_flights tf  (cost=0.00..153886.81 rows=8392681 width=32)
    -> Hash  (cost=78916.07..78916.07 rows=2950107 width=104)
        -> Seq Scan on tickets t  (cost=0.00..78916.07 rows=2950107 width=104)
(5 rows)
```

Начальная стоимость узла Hash Join складывается из стоимостей:

- получения всего первого набора данных (здесь — билеты);
- построения хеш-таблицы — пока таблица не готова, соединение не может начаться.

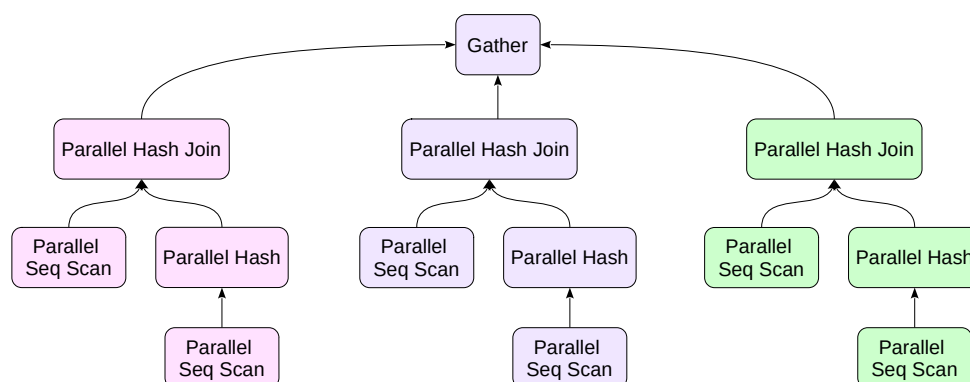
Можно обратить внимание на то, что в узле Hash стоимость построения хеш-таблицы не отражена.

Полная стоимость добавляет к начальной следующие стоимости:

- получения всего второго набора данных (здесь — перелеты);
- проверки по хеш-таблице;
- обращения к диску в случае, когда предполагается использование более одного пакета.

Главный вывод: стоимость хеш-соединения пропорциональна $N + M$, где N и M — число строк в соединяемых наборах данных. При больших N и M это значительно выгоднее, чем произведение в случае соединения вложенным циклом.

Эффективный алгоритм: параллельное построение хеш-таблицы и параллельное сопоставление



22

В отличие от других способов соединения, хеш-соединение не только может участвовать в параллельных планах, но и имеет отдельный эффективный алгоритм работы. Этот алгоритм позволяет параллельно выполнять оба этапа соединения: и построение хеш-таблицы по первому (внутреннему) набору строк, и сопоставление с ней строк второго (внешнего) набора.

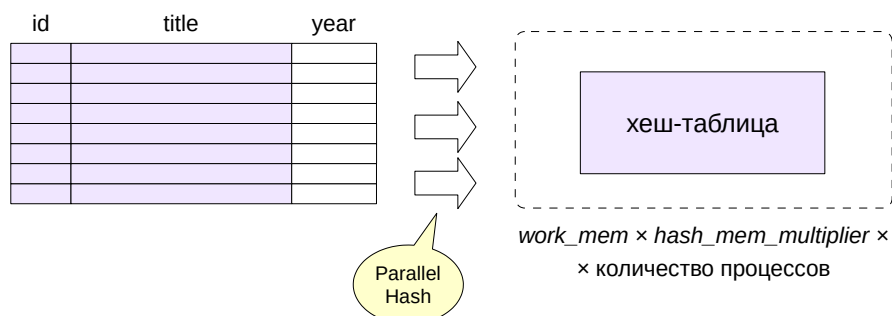
Возможность параллельного хеш-соединения управляется параметром *enable_parallel_hash*; по умолчанию параметр включен.

Как и у последовательного алгоритма, у параллельного есть два варианта: однопроходный при достаточном количестве оперативной памяти и двухпроходный.

Начнем с однопроходного варианта.

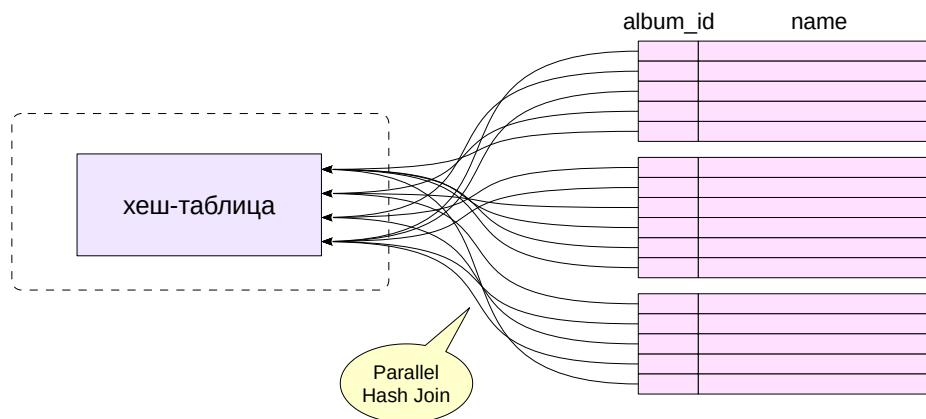
Процессы используют общую хеш-таблицу

Построение хеш-таблицы



Однопроходный алгоритм используется, если хеш-таблица помещается в *суммарный* объем памяти, выделенный всем участвующим в соединении процессам, то есть размер хеш-таблицы ограничен значением $work_mem \times hash_mem_multiplier \times \text{количество процессов}$.

Процессы параллельно читают первый набор строк (например, используя узел `Parallel Seq Scan`) и строят общую хеш-таблицу в разделяемой памяти, где каждый из них имеет к ней доступ.



После того, как хеш-таблица полностью построена, рабочие процессы приступают к параллельному чтению второго набора и сопоставляют прочитанные ими строки с общей-хеш-таблицей. Таким образом, каждый из процессов проверяет по хеш-таблице только часть данных.

Однопроходное параллельное хеш-соединение

Увеличим объем памяти, выделяемый процессу для построения хеш-таблицы:

```
=> SET work_mem = '32MB';
```

SET

Выполним запрос с агрегацией:

```
=> EXPLAIN (analyze, costs off, timing off, summary off)
SELECT count(*)
FROM bookings b
JOIN tickets t ON b.book_ref = t.book_ref;
```

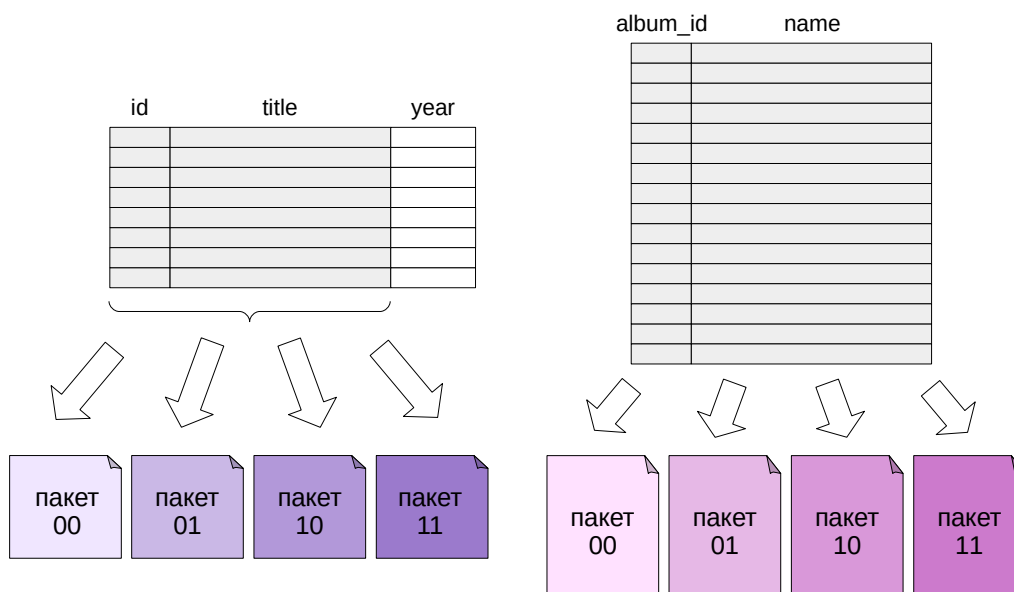
QUERY PLAN

```
-----
--
Finalize Aggregate (actual rows=1 loops=1)
  -> Gather (actual rows=3 loops=1)
        Workers Planned: 2
        Workers Launched: 2
        -> Partial Aggregate (actual rows=1 loops=3)
              -> Parallel Hash Join (actual rows=983286 loops=3)
                    Hash Cond: (t.book_ref = b.book_ref)
                    -> Parallel Seq Scan on tickets t (actual rows=983286 loops=3)
                    -> Parallel Hash (actual rows=703703 loops=3)
                          Buckets: 4194304 Batches: 1 Memory Usage: 115392kB
                          -> Parallel Seq Scan on bookings b (actual rows=703703
loops=3)
(11 rows)
```

Обратите внимание на использование памяти (Memory Usage): объем превышает ограничение, установленное для одного рабочего процесса (64MB = work_mem × hash_mem_multiplier), но в общую память трех процессов хеш-таблица помещается. Поэтому выполняется однопроходное соединение (Batches: 1).

Наборы строк разбиваются на пакеты, которые затем параллельно обрабатываются рабочими процессами

Разбиение на пакеты



28

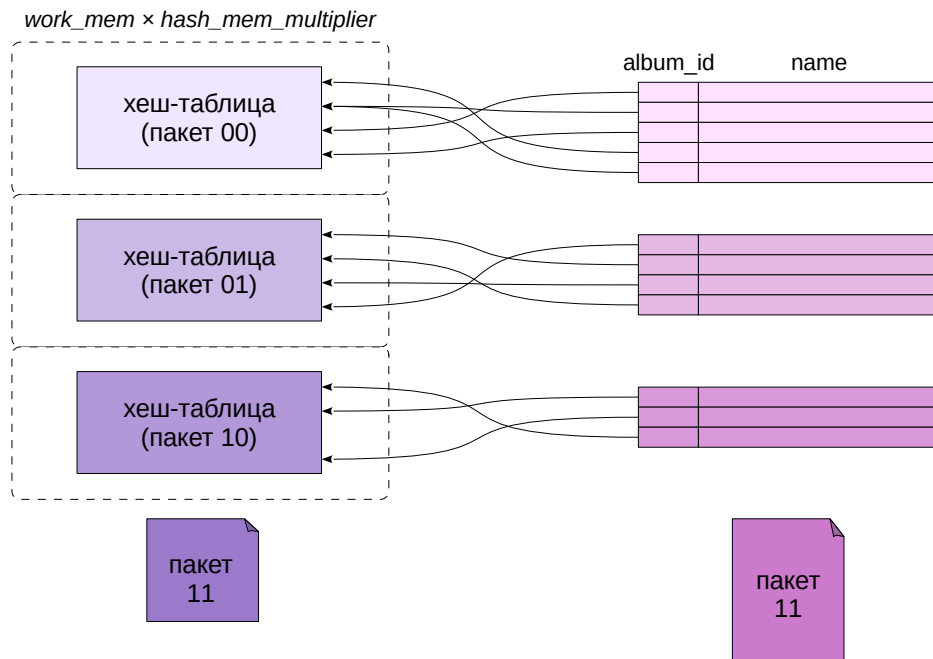
Хеш-таблица может не поместиться в объем памяти, ограниченный $work_mem \times hash_mem_multiplier \times$ количество процессов, причем это может выясниться и на этапе выполнения соединения. В этом случае используется двухпроходный алгоритм, который существенно отличается и от двухпроходного последовательного, и от однопроходного параллельного.

Сначала рабочие процессы параллельно читают первый набор данных, разбивают его на пакеты и записывают пакеты во временные файлы. Первый пакет тоже попадает в файл; хеш-таблица в памяти не строится.

Обратите внимание, что каждый процесс записывает строки во все временные файлы; запись синхронизируется.

Затем рабочие процессы параллельно читают второй набор данных и также разбивают его на пакеты и записывают во временные файлы.

Таким образом, при N пакетах на диск записываются $2N$ файлов.

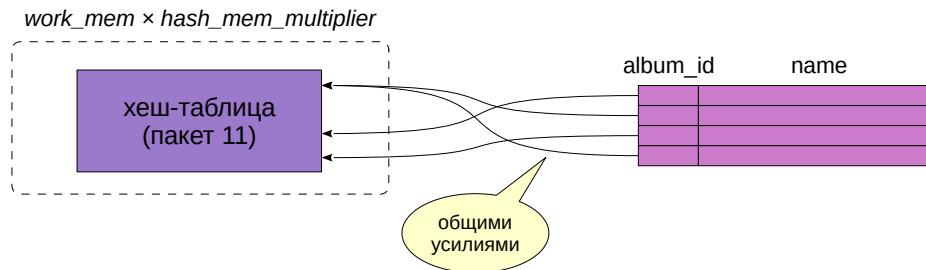


Затем каждый рабочий процесс выбирает себе по одному пакету.

Процесс загружает первый набор выбранного пакета в хеш-таблицу в памяти. В этом алгоритме у каждого процесса своя хеш-таблица размером $work_mem \times hash_mem_multiplier$, но располагаются они в общей памяти, то есть доступ к каждой таблице есть у всех рабочих процессов.

После заполнения хеш-таблицы процесс читает второй набор выбранного пакета и сопоставляет строки.

Когда процесс завершает обработку одного пакета, он выбирает следующий, еще не обработанный.



Когда необработанные пакеты заканчиваются, освободившийся процесс подключается к обработке одного из еще не завершенных пакетов, пользуясь тем, что все хеш-таблицы находятся в разделяемой памяти.

Несколько хеш-таблиц работают лучше, чем одна большая: в этом случае проще организовать совместную работу и меньше ресурсов тратится на синхронизацию.

Двухпроходное параллельное хеш-соединение

Теперь уменьшим объем памяти:

```
=> SET work_mem = '16MB';
```

SET

Выполним тот же запрос с агрегацией:

```
=> EXPLAIN (analyze, costs off, timing off, summary off)
SELECT count(*)
FROM bookings b
JOIN tickets t ON b.book_ref = t.book_ref;
```

QUERY PLAN

```
-----
--
Finalize Aggregate (actual rows=1 loops=1)
  -> Gather (actual rows=3 loops=1)
        Workers Planned: 2
        Workers Launched: 2
        -> Partial Aggregate (actual rows=1 loops=3)
              -> Parallel Hash Join (actual rows=983286 loops=3)
                    Hash Cond: (t.book_ref = b.book_ref)
                    -> Parallel Seq Scan on tickets t (actual rows=983286 loops=3)
                    -> Parallel Hash (actual rows=703703 loops=3)
                          Buckets: 1048576 Batches: 4 Memory Usage: 28864kB
                          -> Parallel Seq Scan on bookings b (actual rows=703703
loops=3)
(11 rows)
```

Соединение стало двухпроходным с четырьмя пакетами.

Соединение хешированием требует подготовки

надо построить хеш-таблицу

Эффективно для больших выборок

в том числе есть возможность параллельного соединения

Зависит от порядка соединения

внутренний набор должен быть меньше внешнего,
чтобы минимизировать хеш-таблицу

Поддерживает только эквисоединения

для хеш-кодов операторы «больше» и «меньше» не имеют смысла

В отличие от соединения вложенным циклом, хеш-соединение требует подготовки: построения хеш-таблицы. Пока таблица не построена, ни одна результирующая строка не может быть получена.

Зато соединение хешированием эффективно работает на больших объемах данных. Оба набора строк читаются последовательно и только один раз (два раза в случае нехватки оперативной памяти).

Ограничением соединения хеширования является поддержка только эквисоединений. Дело в том, что хеш-значения можно сравнивать только на равенство, операции «больше» и «меньше» просто не имеют смысла.

1. Напишите запрос, показывающий занятые места в салоне для всех рейсов.
Какой способ соединения выбрал планировщик? Проверьте, хватило ли оперативной памяти для размещения хеш-таблиц.
2. Измените запрос, чтобы он выводил только общее количество занятых мест.
Как изменился план запроса? Почему планировщик не использовал аналогичный план для предыдущего запроса?
3. Напишите запрос, показывающий имена пассажиров и номера рейсов, которыми они следуют.
Разберитесь по плану запроса, в какой последовательности выполняются операции.

1. Для этого достаточно соединить рейсы (flights) с посадочными талонами (boarding_passes).

3. Такой запрос должен соединять три таблицы: билеты (tickets), перелеты (ticket_flights) и рейсы (flights).

1. Список занятых мест

```
=> EXPLAIN SELECT f.flight_no, bp.seat_no
FROM flights f
JOIN boarding_passes bp ON bp.flight_id = f.flight_id;
```

QUERY PLAN

```
-----
Hash Join (cost=8508.51..229824.96 rows=7925944 width=10)
  Hash Cond: (bp.flight_id = f.flight_id)
    -> Seq Scan on boarding_passes bp (cost=0.00..137538.44 rows=7925944 width=7)
    -> Hash (cost=4772.67..4772.67 rows=214867 width=11)
        -> Seq Scan on flights f (cost=0.00..4772.67 rows=214867 width=11)
(5 rows)
```

Использовано соединение хешированием.

```
=> EXPLAIN (analyze, costs off, timing off, summary off)
SELECT f.flight_no, bp.seat_no
FROM flights f
JOIN boarding_passes bp ON bp.flight_id = f.flight_id;
```

QUERY PLAN

```
-----
Hash Join (actual rows=7925812 loops=1)
  Hash Cond: (bp.flight_id = f.flight_id)
    -> Seq Scan on boarding_passes bp (actual rows=7925812 loops=1)
    -> Hash (actual rows=214867 loops=1)
        Buckets: 262144 Batches: 2 Memory Usage: 6676kB
        -> Seq Scan on flights f (actual rows=214867 loops=1)
(6 rows)
```

Хеш-таблица не поместилась целиком в память, потребовалось два пакета.

2. Количество занятых мест

```
=> EXPLAIN SELECT count(*)
FROM flights f
JOIN boarding_passes bp ON bp.flight_id = f.flight_id;
```

QUERY PLAN

```
-----
Finalize Aggregate (cost=114697.17..114697.18 rows=1 width=8)
  -> Gather (cost=114696.95..114697.16 rows=2 width=8)
      Workers Planned: 2
      -> Partial Aggregate (cost=113696.95..113696.96 rows=1 width=8)
          -> Parallel Hash Join (cost=5467.82..105440.76 rows=3302477 width=0)
              Hash Cond: (bp.flight_id = f.flight_id)
              -> Parallel Seq Scan on boarding_passes bp (cost=0.00..91303.77
rows=3302477 width=4)
              -> Parallel Hash (cost=3887.92..3887.92 rows=126392 width=4)
                  -> Parallel Seq Scan on flights f (cost=0.00..3887.92
rows=126392 width=4)
(9 rows)
```

Здесь планировщик использовал параллельный план. В предыдущем запросе это не было оправдано из-за высокой стоимости пересылки данных между процессами, а в данном случае передается только одно число.

```
=> EXPLAIN (analyze, costs off, timing off, summary off)
SELECT count(*)
FROM flights f
JOIN boarding_passes bp ON bp.flight_id = f.flight_id;
```

QUERY PLAN

```
-----
Finalize Aggregate (actual rows=1 loops=1)
  -> Gather (actual rows=3 loops=1)
        Workers Planned: 2
        Workers Launched: 2
        -> Partial Aggregate (actual rows=1 loops=3)
              -> Parallel Hash Join (actual rows=2641937 loops=3)
                    Hash Cond: (bp.flight_id = f.flight_id)
                    -> Parallel Seq Scan on boarding_passes bp (actual rows=2641937
loops=3)
              -> Parallel Hash (actual rows=71622 loops=3)
                    Buckets: 262144 Batches: 1 Memory Usage: 10464kB
                    -> Parallel Seq Scan on flights f (actual rows=214867 loops=1)
(11 rows)
```

Обратите внимание на поле loops в узлах выше и ниже Gather — оно соответствует реальному числу процессов, работавших над запросом.

3. Пассажиры и номера рейсов

```
=> EXPLAIN (costs off)
SELECT t.passenger_name, f.flight_no
FROM tickets t
      JOIN ticket_flights tf ON tf.ticket_no = t.ticket_no
      JOIN flights f ON f.flight_id = tf.flight_id;
```

QUERY PLAN

```
-----
Hash Join
  Hash Cond: (tf.flight_id = f.flight_id)
  -> Hash Join
        Hash Cond: (tf.ticket_no = t.ticket_no)
        -> Seq Scan on ticket_flights tf
        -> Hash
              -> Seq Scan on tickets t
  -> Hash
        -> Seq Scan on flights f
(9 rows)
```

Сначала выполняется соединение билетов (tickets) с перелетами (ticket_flights), причем хеш-таблица строится по таблице билетов.

Затем рейсы (flights) соединяются с результатом первого соединения; хеш-таблица строится по таблице рейсов.