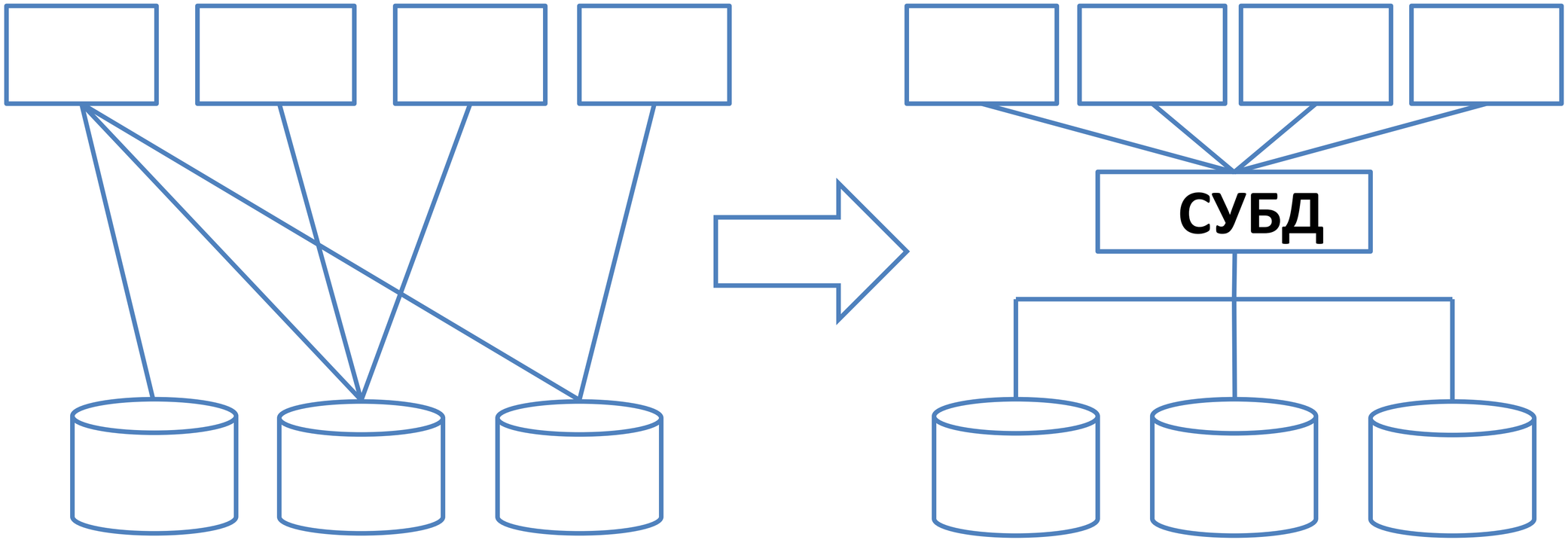
Основы технологий баз данных

Б. А. Новиков
Санкт-Петербургский университет,

Предыдущие серии

краткое содержание

Централизация управления общими данными нескольких приложений



Демонстрационная база данных PostgreSQL

// . /

Ключевые свойства моделей данных

- Методы идентификации объектов внутри и вне модели
- Поиск и связывание объектов
- Массовая или штучная обработка объектов данных

Теоретическая реляционная модель данных

- Домены, отношения, операции
- Функциональные зависимости и ключи
- Естественная идентификация по значениям атрибутов
- Идентификация определяется функциональными зависимостями
- Связи вычисляются динамически при выполнении операций соединения
- Ассоциативный доступ к данным по значениям (операция селекции)

Другие модели данных

- Сущность-связь
- Объектно-ориентированные БД
- Объектно-реляционные
- Сетевая и иерархическая
- Слабоструктурированные
- Тернарная
- Бинарная

Язык запросов SQL

- Декларативный язык
- Структуры данных и операторы описания данных , ,
- Ограничения целостности , , , ,
- Операторы , , ,
- Реализация операций реляционной алгебры в и другие возможности

Внешние ключи

- ограничение целостности
- Никак не влияет на семантику запросов на чтение данных
- Соединение ( ) никак не связано с понятием внешнего ключа, хотя часто ключом соединения является внешний ключ
- Ограничения целостности никак не влияет на эффективность операции соединения
- Миф о влиянии возник потому, что для внешних ключей часто создаются индексы

Дубликаты

Дискуссия о дубликатах в CACM

SELECT ALL или SELECT DISTINCT?

+	−
Дубликаты могут быть необходимы для правильного моделирования реальности	Реляционная модель работает с множествами и не допускает дубликатов
Устранение дубликатов может приводить к снижению эффективности выполнения запросов	Введение дубликатов не дает новой информации
Отношения с дубликатами можно описать в теории мультимножеств	Введение дубликатов делает некорректными соотношения между операциями реляционной алгебры

Неэквивалентные запросы

```
CREATE TABLE p(
  pn varchar(10),
  pname varchar(10)
);
CREATE TABLE sp(
  sn varchar(10),
  pn varchar(10)
);
INSERT INTO p VALUES('p1','screw');
INSERT INTO p VALUES('p1','screw');
INSERT INTO p VALUES('p1','screw');
INSERT INTO p VALUES('p2','screw');
INSERT INTO sp VALUES('s1','p1');
INSERT INTO sp VALUES('s1','p1');
INSERT INTO sp VALUES('s1','p2');
COMMIT;
```

```
SELECT pn FROM p WHERE pname = 'screw’
  OR pn IN (SELECT pn FROM sp WHERE sn='s1');

SELECT pn FROM sp
WHERE sn='s1' OR pn IN (
  SELECT pn FROM p WHERE pname='screw');

SELECT p.pn FROM p, sp
WHERE (sp.sn='s1' AND sp.pn = p.pn) OR p.pname='screw';

SELECT pn FROM p WHERE pname='screw’
UNION ALL SELECT pn FROM sp WHERE sn='s1';

SELECT DISTINCT pn FROM p WHERE pname='screw’
UNION ALL SELECT pn FROM sp WHERE sn='s1’;
```

Безопасные запросы в SQL

- Все хранимые таблицы должны иметь первичные ключи
- Использование гарантирует уникальность выбранных строк
- Включение в список выбираемых значений уникального атрибута каждой из соединяемых таблиц
- При соединении по внешнему ключу включение уникального атрибута таблицы, содержащей внешний ключ, гарантирует уникальность строк результата
- Наличие в запросе гарантирует уникальность строк результата

Postgres PROFESSIONAL

Программирование запросов: Thinking Sets

- Определить (содержательно), какие элементы составляют множество строк результата
- Построить предложения M и, возможно, (получить ключ результата)
- Предложение (выбрать нужные строки)
- Выражения, определяющие колонки результата
- Возможно, применять эти шаги рекурсивно для построения подзапросов

Языки запросов: итоги

- Декларативные языки позволяют компактно записывать требования к результатам и допускают высокоэффективное выполнение запросов
- Языки запросов теоретической реляционной модели можно выразить конструкциями языка
- Семантика отличается от реляционной из-за неопределенных значений и разрешения дубликатов
- Многообразие средств делает этот язык удобным для самых разнообразных классов приложений

Структуры хранения и выполнение запросов

Схема хранения включает

- Табличные пространства
- Таблицы
- Индексы
- Дополнительные структуры
- Кластеры
- Материализованные представления

Табличные пространства

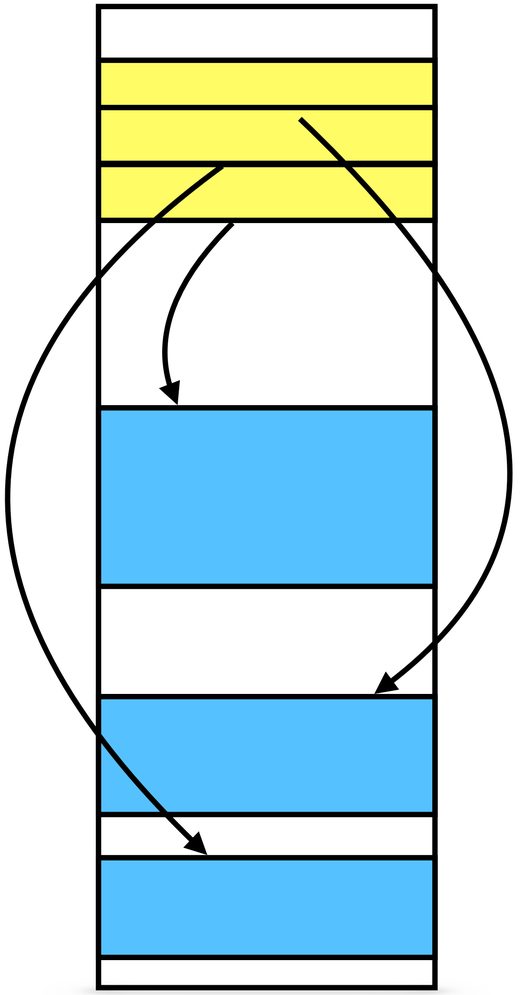
- Определяют абстракцию диска для СУБД
- Могут состоять из нескольких файлов ОС и занимать несколько дисковых устройств
- Экстенты для хранения таблиц и других хранимых объектов выделяются внутри табличных пространств
- Динамическое изменение размеров таблиц
- Распределение внешней памяти может использовать файловую систему
- Соотношение табличных пространств и схем

Адреса и ссылки

- Абсолютный адрес на диске в настоящее время в СУБД не используется
  - Эффективный доступ, очень сложное внесение изменений
- Относительная адресация — файла, номер блока, смещение в блоке
  - Используется в большинстве СУБД
- Адресация по уникальным ключам
  - Максимальная гибкость, необходимы дополнительные структуры данных

Размещение логических записей

- Логические записи — это строки таблиц, экземпляры объектов, записи в индексах и др.
- Обычно несколько логических записей размещается в одном блоке
- Неизменяемые идентификаторы логических записей
- Изменение размеров записей
- Значения большого размера хранятся иначе



Избыточные структуры хранения

- **Индексы**
  - Избыточная структура
  - Предназначены для ускорения поиска
  - Прозрачны для приложения
- **Материализованные представления**
  - Избыточная структура
  - Предназначена для ускорения поиска
  - Видна приложению как таблица

Представления (Views)

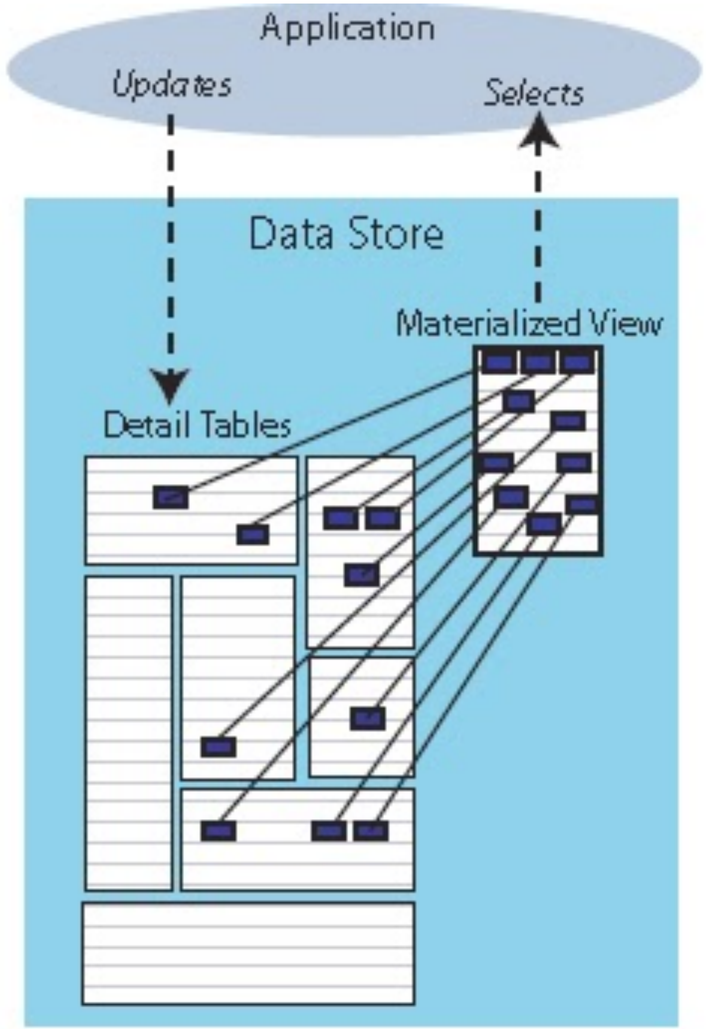
```
CREATE VIEW airports
AS
SELECT ml.airport_code,
    ml.airport_name ->> lang()
          AS airport_name,
    ml.city ->> lang() AS city,
    ml.coordinates,
    ml.timezone
FROM airports_data ml;
```

- Логические объекты схемы базы данных
- Могут использоваться в запросах как таблицы
- Определение вычисляемых объектов
- Выделение часто встречающихся подзапросов
- Не вычисляются до выполнения запроса

Postgres PROFESSIONAL

Материализованные представления

- Описываются запросом ( ) и хранятся как обычные таблицы
- Обновление немедленное или по расписанию
- Не каждое материализованное представление можно обновить немедленно
- Дополняющие ( ) обновления или полная замена хранимых данных



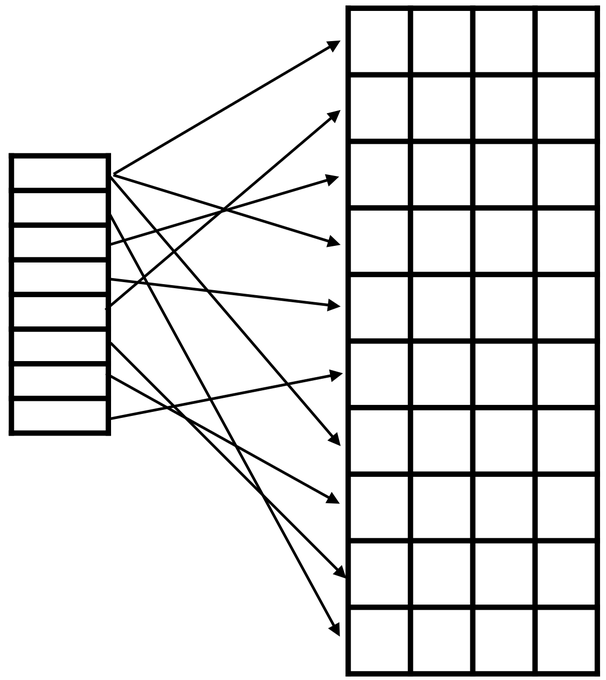
Так называемая денормализация

- На жаргоне денормализацией называют отказ от нормализации с целью ускорения работы системы
- Нормализация понятие логического уровня, а скорость работы зависит от уровня хранения
- Следует использовать материализованные представления в качестве денормализованных таблиц

Индексы

Структура индекса

- Логическая запись индекса состоит из
  - значения атрибута (индексного ключа)
  - списка ссылок на логические записи, содержащие это значение
- Индексы по первичным ключам и уникальные индексы содержат только одну ссылку в каждой индексной записи



B-деревья

- Динамическая структура
  не деградирует при модификациях,
  не требует реорганизации

- Поиск по диапазону значений ключа

- Особенно эффективны при
  небольшой доле выбираемых строк

Просмотр таблиц или поиск по индексам?

- Без индексов
  - пропорционально числу строк в таблице
- Поиск по индексу
  - пропорционально +
  - количество прочитанных строк

N	$\log_2 N$	уровней в индексе
10	4	2
1000	10	2
1000000	20	4
1000000000	30	6

Что происходит с запросами

- Синтаксический анализ преобразование в алгебраическое выражение
- Переписывание приведение к регулярной структуре
- Оптимизация
  - Логическая оптимизация
  - Выбор алгоритмов и оптимизация по стоимости
- Интерпретация полученного плана выполнения запроса
- Возврат результатов в приложение-клиент

Оптимизация в школьной арифметике

- $ab + ac = a(b + c)$
- Стоимость $2m + a > m + a$
- Вычисление многочленов по схеме Горнера

$$a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \ldots =$$
$$= a_0 + x(a_1 + x(a_2 + x(a_3 + \ldots)))$$

- При условии, что стоимость умножения и сложения не зависит от значений
- Это не всегда верно $99a = 100a + a$

Алгоритмы выполнения алгебраических операций

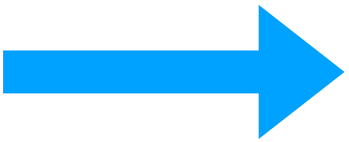
- Чтение хранимых данных
  - Полный последовательный просмотр
  - Поиск в индексе с просмотром таблицы
  - Чтение только индекса
- Операции соединения, агрегирования, устранения дубликатов
  - Вложенные циклы ( )
  - Сортировка-слияние ( )
  - Хеширование ( )

Пример запроса

```
SELECT f.flight_no,
       f.scheduled_departure,
       count(tf.ticket_no) passengers
  FROM flights f
       JOIN ticket_flights tf ON tf.flight_id = f.flight_id
 WHERE f.departure_airport = 'SVO'
   AND f.arrival_airport = 'LED'
   AND f.scheduled_departure BETWEEN
         bookings.now() - INTERVAL '1 day’ AND bookings.now()
GROUP BY f.flight_no, f.scheduled_departure;
```

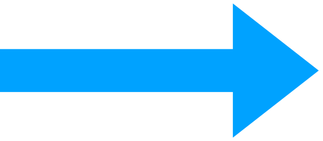
План выполнения с полным просмотром

```
GroupAggregate  (cost=183360.24..183360.64 rows=1 width=23)
  Group Key: f.flight_no, f.scheduled_departure
  ->  Sort  (cost=183360.24..183360.33 rows=39 width=29)
        Sort Key: f.flight_no, f.scheduled_departure
        ->  Hash Join  (cost=7458.52..183359.21 rows=39 width=29)
              Hash Cond: (tf.flight_id = f.flight_id)
              ->  Seq Scan on ticket_flights tf  (cost=0.00..153869.12 rows=8392812 width=18)
              ->  Hash  (cost=7458.51..7458.51 rows=1 width=19)
                    ->  Seq Scan on flights f  (cost=0.00..7458.51 rows=1 width=19)
                          Filter: ((scheduled_departure <= '2017-08-15 18:00:00+03'::timestamp with
```



План с поиском по индексу

```
GroupAggregate  (cost=179337.03..179337.43 rows=1 width=23)
  Group Key: f.flight_no, f.scheduled_departure
  ->  Sort  (cost=179337.03..179337.13 rows=39 width=29)
        Sort Key: f.flight_no, f.scheduled_departure
        ->  Hash Join  (cost=3435.31..179336.00 rows=39 width=29)
              Hash Cond: (tf.flight_id = f.flight_id)
              ->  Seq Scan on ticket_flights tf  (cost=0.00..153869.12 rows=8392812 width=18)
              ->  Hash  (cost=3435.30..3435.30 rows=1 width=19)
                    ->  Bitmap Heap Scan on flights f  (cost=368.14..3435.30 rows=1 width=19)
                          Recheck Cond: (departure_airport = 'SVO'::bpchar)
                          Filter: ((scheduled_departure <= '2017-08-15 18:00:00+03'::timestamp with time zone) AND
                          ->  Bitmap Index Scan on flights_departure_airport_idx  (cost=0.00..368.14 rows=19696
                                Index Cond: (departure_airport = 'SVO'::bpchar)
```



Критерии оптимальности

- Внешние
  - Пропускная способность ( )
  - Время отклика
    - Среднее или максимальное
    - Полный результат или первая строка
- Технические
  - Количество обращений к дискам
  - Суммарное процессоров время
  - Общее время выполнения

Как узнать стоимость выполнения операции?

- Выполнение дает точные результаты
- Оценки на основе статистических характеристик данных
  - Размер занятой памяти (количество блоков)
  - Количество строк
  - Количество разных значений атрибута

SPJ-запросы

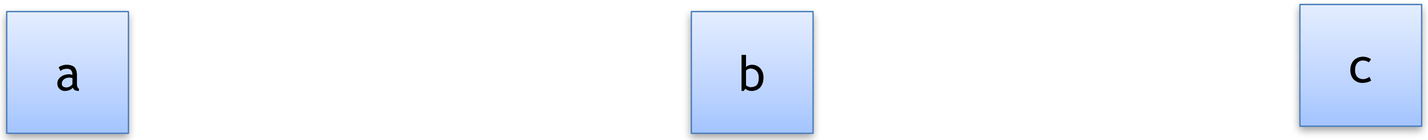
-

- Операции и сокращают объем данных, их следует выполнять как можно раньше

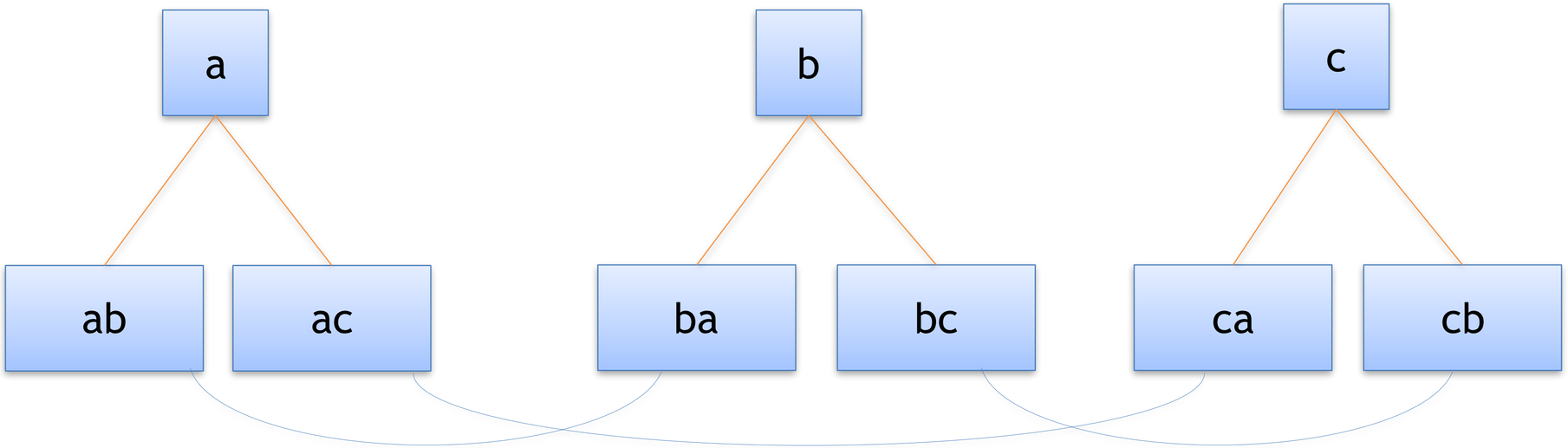
- Если эти операции применяются к промежуточным результатам, их можно выполнить на лету при передаче между операциями

- Сложная часть оптимизации — в каком порядке выполнять операции соединения

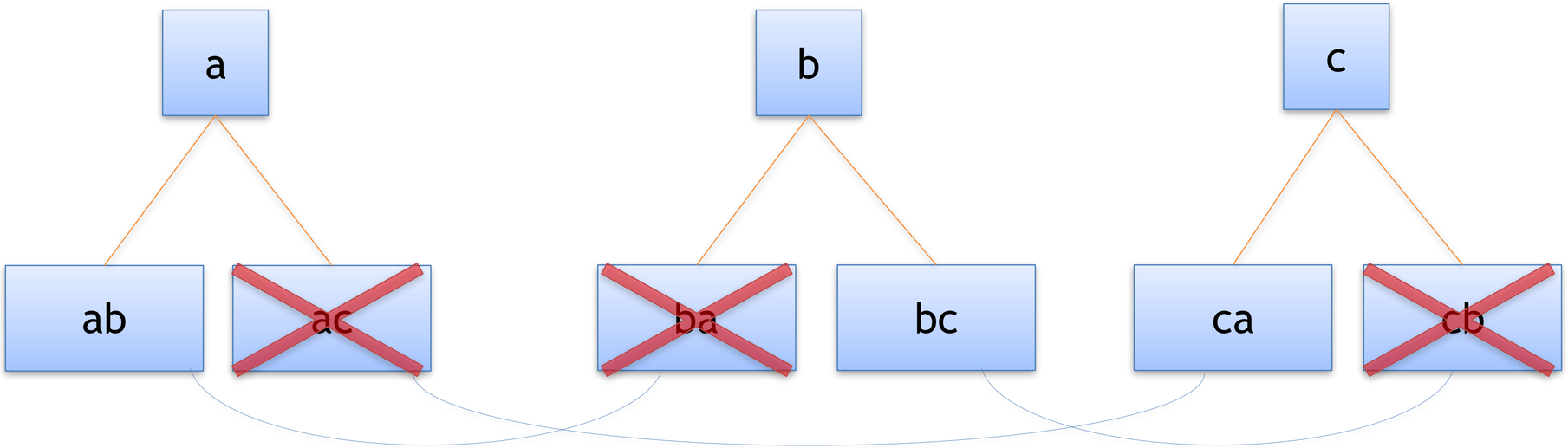
Алгоритм динамического программирования



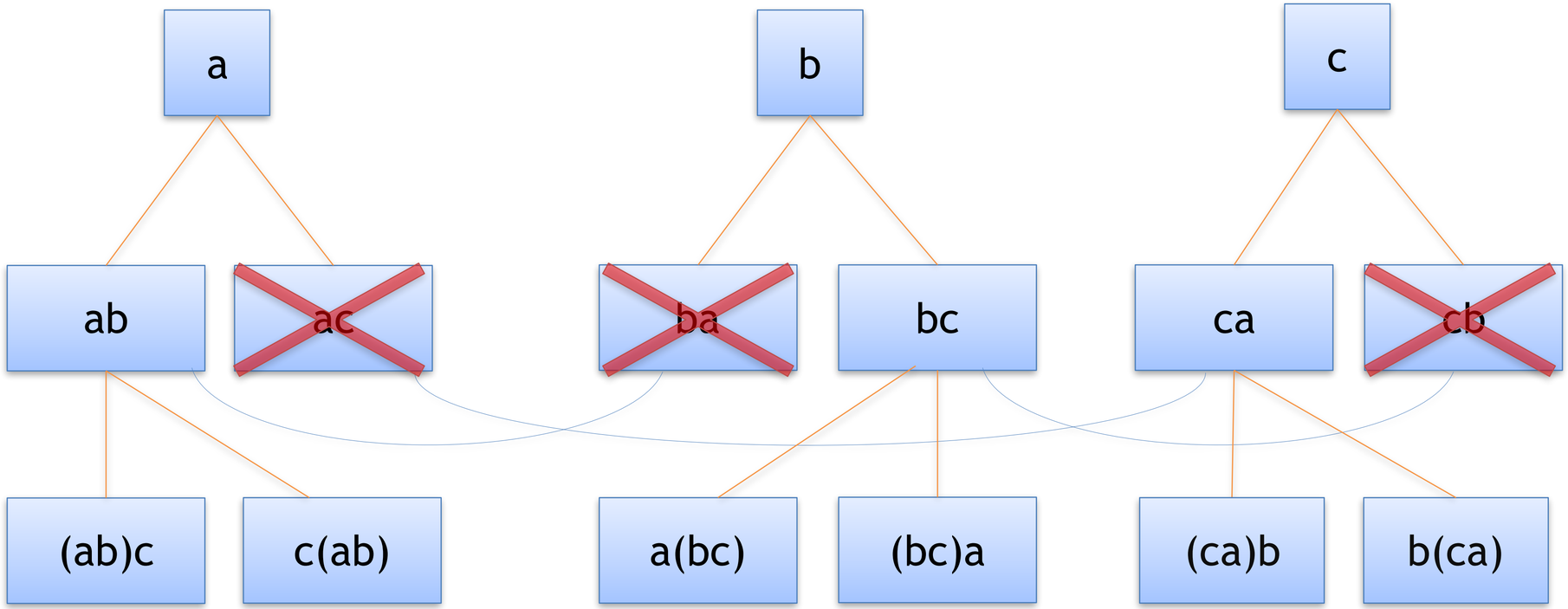
Алгоритм динамического программирования



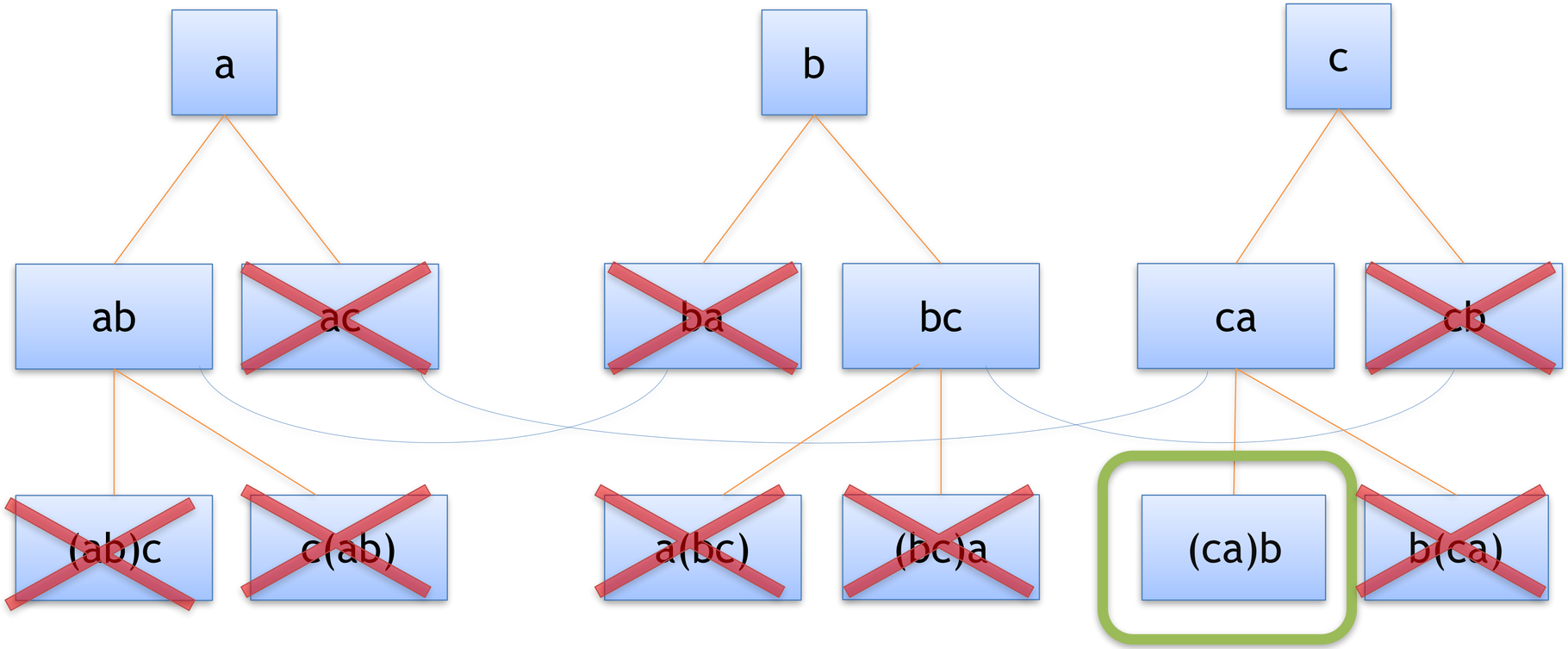
Алгоритм динамического программирования



Алгоритм динамического программирования



Алгоритм динамического программирования



Планы не всегда оптимальны

- Минимизируется оценка стоимости, но не фактическая стоимость
- Высокая сложность делает невозможной точную оптимизацию
- Модели стоимости не могут быть точными
- Оценки статистических характеристик (размеров) промежуточных результатов неточны

Языки запросов: итоги

- Декларативные языки обладают высокой выразительностью
- Запросы описывают, что нужно, но не способ получения
- Оптимизатор выбирает наиболее эффективный способ выполнения запроса с учетом характеристик данных