

Содержание

1	Лекция 1. Введение в реляционные базы данных	4
1.1	Понятие базы данных и СУБД	4
1.2	Базы данных и СУБД	7
1.3	Принципы организации базы данных	11
1.4	Реляционная модель данных	11
1.5	Структурный аспект реляционной модели	13
1.6	Аспект целостности реляционной модели	15
1.7	Знакомство с PostgreSQL (реклама)	18
1.8	SQL и NoSQL	21
1.9	Классификация баз данных	24
1.10	Классификация СУБД	27
1.11	Аспект обработки реляционной модели	29
1.12	Типы данных	33
2	Лекция 2. Введение в язык	37
2.1	Язык SQL	37
2.2	Написание простых запросов	40
2.3	Сортировка данных	44
2.4	Фильтрация записей	46
2.5	Массивы	51
2.6	Типы JSON	53
2.7	Встроенные функции	57
2.8	Физическое хранение БД. Низкий уровень	63
2.9	Хранение больших данных	66
2.10	Планировщик запросов	68
2.11	Методы доступа к данным	70
2.12	Способы соединения	75
3	Лекция 3. Запросы к нескольким таблицам	79
3.1	Запросы к нескольким таблицам	79
3.2	Использование операторов наборов записей	81
4	Лекция 4.	82
4.1	Запросы с группировкой	82
4.2	Использование оконных функций	85
4.3	Оконные функции	88

4.4	Использование подзапросов	90
4.5	Использование табличных выражений	92
5	Лекция 5. Проектирование	93
5.1	Основные подходы к проектированию ИС	93
5.2	Основные этапы проектирования баз данных	95
5.3	Анализ предметной области	96
5.4	Концептуальное (инфологическое) проектирование	98
5.5	Формирование даталогической модели базы данных	99
5.6	Нормализация	100
5.7	Физическое проектирование	101
5.8	Автоматизация проектирования баз данных	103
5.9	Диаграммы сущность-связь	105
5.10	Сущность	106
5.11	Атрибуты	107
5.12	Ключи	109
5.13	Связь	110
5.14	Обеспечение корректности и целостности данных	113
5.15	Нормализация реляционной базы данных	114
5.16	Первая, вторая и третья нормальные формы (1НФ, 2НФ и 3НФ)	116
6	Лекция 6. Создание БД и таблиц	117
6.1	Создание базы данных	117
6.2	Схемы	121
6.3	Таблицы	122
6.4	Определение столбцов	125
6.5	Изменение и удаление таблиц	127
6.6	Хранение данных большого объема	128
6.7	Создание представлений VIEWS	130
7	Лекция 7. Создание ограничений	134
7.1	Внедрение ограничений целостности данных	134
7.2	Гранулярность проверки ограничений	138
7.3	Дополнительные возможности	140
8	Лекция 8. Дополнительные возможности	142
8.1	Дополнительные возможности создания таблиц	142
8.2	Наследование таблиц	143
8.3	Секционирование (партиционирование) таблиц	147
8.4	Внешние таблицы	153
9	Лекция 9. Модификация данных	158

9.1	Модификация данных	158
9.2	Транзакции	163
9.3	Режимы транзакций	164
9.4	Проблемы конкурентного доступа к данным	165
9.5	Изоляция транзакций	166
9.6	Управление уровнем изоляции транзакций	167
9.7	Очистка	168

1 Лекция 1. Введение в реляционные базы данных

1.1 Понятие базы данных и СУБД

Definition 1.1. Данные

Данные – факты, текст, графики, картинки, звуки, аналоговые или цифровые видеосегменты, представленные в форме, пригодной для хранения, передачи и обработки

Notation 1.1. Задачи технологий работы с данными

- Загрузить
 - Получить
 - Передать между системами
 - Собрать в одном месте
- Сохранить
 - Обеспечить эффективное безопасное хранение
 - Предоставить доступ
 - Обеспечить быстрый поиск
- Обработать
 - Объединить в одной структуре
 - Рассчитать показатели
 - Обработать модель
- Принять решение
 - Отчеты
 - Дашборды
 - Визуализация
 - Предписание в операционном процессе

Notation 1.2. Что должны обеспечивать системы обработки данных?

- Поддержку необходимых требований к данным
 - Сохранность и достоверность данных в соответствии со спецификой предметной области
 - Защиту от искажения, уничтожения данных и несанкционированного доступа
 - Простоту и легкость использования данных
 - Требуемую скорость доступа к данным
- Независимость прикладных программ от данных
 - Возможность использования одних и тех же данных различными приложениями
 - Изменение логического представления данных (добавление/удаление новых элементов данных) не должно приводить к изменению прикладных программ обработки
 - Изменение параметров физической организации данных (характеристик носителя, длины блока, и др.) или методов доступа к ним не должны приводить к изменению прикладных программ

Definition 1.2. Независимость (от) данных

- **Логическая**

Изменение логического представления данных (добавление/удаление новых элементов данных, разделение на несколько логических сегментов, изменение порядка хранения) не должно приводить к изменению прикладных программ обработки

- **Физическая**

Изменение параметров физической организации данных (характеристик носителя, длины блока, и др.) или методов доступа к ним не должны приводить к изменению логической структуры данных или прикладных программ их обработки

Notation 1.3. Концепции обработки данных

- **Файловая обработка данных**

До середины 60-х годов прошлого века – основная концепция построения программного обеспечения обработки данных

- **Базы данных**

Независимость прикладных программ от данных

- **Объектно-ориентированные базы данных**

Независимость прикладных программ от данных вместе с процедурами их обработки (объектно-ориентированный подход в программировании)

Remark 1.1. Файловая обработка данных

- Совмещение логического и физического представления данных
 - Физически данные ИС размещаются в файлах операционной системы
 - Прикладные программы работают напрямую с файлами
 - Структура файла зависит от требований конкретной прикладной программы, с ним работающей, и определяется разработчиком приложения
- Зависимость программ обработки от организации данных
 - Возможная избыточность и противоречивость данных
 - Для каждой задачи – свой алгоритм получения данных
- Разграничение доступа и защита данных – на уровне средств ОС

Она не обеспечивает:

- Поддержание логически согласованного набора файлов
- Единого языка манипулирования данными
- Восстановление информации после разного рода сбоев
- Реально параллельной работы нескольких пользователей

Remark 1.2. Базы данных

- Разделение логического и физического представления данных
 - Физически данные как правило размещаются в файлах операционной системы
 - Разрабатывается определённая логическая структура данных, с которой «общаются» прикладные программы
 - Логическая структура данных основана на физической, но не меняется при изменении последней
- Независимость программ обработки от организации данных
 - Сокращение избыточности и противоречивости данных
 - Единые языки для получения и изменения данных
 - Дополнительные средства разграничения доступа и защиты данных, учитывающие их логическую структуру

Remark 1.3. Объектно-ориентированные БД

- Разделение логического и физического представления данных
 - Физические данные как правило размещаются в файлах операционной системы
 - На логическом уровне данные представляют собой объекты
 - * Данные → свойства объекта (статическая часть)
 - * Обработка данных → методы объекта (динамическая часть)
- Независимость прикладных программ от объектов
- Концепция повторного использования программного кода
 - Разные прикладные программы используют унифицированные методы обработки одних и тех же данных

1.2 Базы данных и СУБД

Definition 1.3. База данных

База данных – логически структурированная совокупность постоянно хранимых в памяти компьютера данных, характеризующих актуальное состояние некоторой предметной области и используемых прикладными программными системами какого-либо предприятия

База данных (БД) – совокупность данных, хранимых в соответствии со схемой данных, манипулирование которыми выполняют в соответствии с правилами средств моделирования данных (ГОСТ)

Notation 1.4. Основные характеристики БД

- Компьютерная система – БД хранится и обрабатывается в вычислительной системе
- Содержит структурированную информацию – данные в БД логически структурированы (систематизированы) с целью обеспечения возможности их эффективного поиска и обработки в вычислительной системе
 - Структурированность БД оценивается не на уровне физического хранения, а на уровне некоторой логической модели данных
- Поддерживает определенный набор операций над данными
 - Структурированность определяет семантику и допустимые операции

Definition 1.4. Система баз данных (банк данных)

База данных является составной частью системы баз данных

Система базы данных – компьютеризированная система обработки данных, хранящихся в БД

Основные функции системы баз данных:

- Добавление новых структур данных (таблиц) в базу данных
- Изменение существующих структур данных (таблиц)
- Добавление новых элементов данных (записей в таблицы)
- Выборка необходимых элементов данных (записей из таблиц)
- Обновление элементов данных (записей в таблицах)
- Удаление элементов данных (записей из таблиц)
- Удаление структур данных (таблиц) из базы данных

Definition 1.5. Системы управления базами данных

СУБД – совокупность программных средств, предназначенная для модификации и извлечения из БД необходимых пользователю (прикладной программе) данных, а также для создания БД, поддержания их в работоспособном состоянии, обеспечения безопасности БД и решения других задач администрирования

Цель: Обеспечивать совместное безопасное использование данных различными приложениями и пользователями

Основные функции СУБД:

- Обеспечение физической и логической независимости данных
- Поддержка связи между логической и физической организацией данных
- Предоставление интерфейса доступа к данным пользователям и прикладным программам
- Обеспечение целостности и непротиворечивости данных при совместной работе нескольких пользователей
- Предоставление механизмов защиты данных
- Предоставление механизмов восстановления данных

Notation 1.5. Обеспечение логической и физической независимости данных

СУБД обеспечивает необходимые структуры внешней памяти как для хранения пользовательских данных БД, так и для служебных целей

СУБД скрывает от пользователей как используется файловая система и как организованы файлы

Для связи логической и физической структур данных СУБД использует служебную (мета) информация, хранящуюся в словаре данных

Notation 1.6. Управление буферами оперативной памяти

Для увеличения скорости обработки данных используется буферизация данных в оперативной памяти

СУБД поддерживает собственный набор буферов оперативной памяти с собственным алгоритмом замены буферов

Notation 1.7. Предоставление интерфейса доступа к данным

Для работы с базами данных СУБД предоставляет поддержку специальных языков, называемых языками баз данных

- Язык описания данных (DDL) – позволяет создавать и изменять структуру объектов базы данных
- Язык манипулирования данными (DML) – позволяет заносить данные в БД, удалять, модифицировать или выбирать существующие данные

Использование данных языков позволяет пользователям сохранять, извлекать и обновлять данные в БД без необходимости понимания физической реализации системы

Notation 1.8. Обеспечение целостности

Целостность БД – свойство БД, означающее, что в ней содержится полная, непротиворечивая и адекватно отражающая предметную область информация

Целостность данных предполагает:

- Отсутствие неточно введенных данных или двух одинаковых записей об одном и том же факте
- Защиту от ошибок при обновлении данных в БД
- Невозможность удаления (или каскадное удаление) записей, которые связаны с другими записями
- Неискажение данных при работе в многопользовательском режиме
- Сохранность данных при сбоях техники (восстановление данных)

СУБД должна обладать инструментами контроля за тем, чтобы данные и их изменения соответствовали заданным правилам

Notation 1.9. Управление параллельной работой пользователей

Для управления параллельной работой пользователей и поддержки целостности данных в СУБД реализован механизм изоляции транзакций

Definition 1.6. Транзакция

Транзакция – некоторая неделимая последовательность операций над данными БД, которая отслеживается СУБД от начала и до завершения

Если по каким-либо причинам (сбои и отказы оборудования, ошибки в программном обеспечении) транзакция остается незавершенной или при выполнении транзакции нарушается целостность данных, то она отменяется

Definition 1.7. Журнализация

СУБД должна иметь возможность восстановить последнее согласованное состояние БД после любого аппаратного или программного сбоя

Для восстановления БД нужно располагать некоторой дополнительной информацией, которая должна храниться особо надежно

Наиболее распространенным методом поддержания такой избыточной информации является ведение журнала изменений БД – журнала транзакций

Notation 1.10. Обеспечение безопасности БД

СУБД должна иметь механизм, гарантирующий возможность доступа к базе данных только санкционированных пользователей

Термин безопасность относится к защите БД от преднамеренного или случайного несанкционированного доступа

Защита данных от несанкционированного доступа может достигаться:

- Созданием ролей и введением системы паролей
- Настройкой разрешений на доступ к данным и выполнение операций с данными
- Шифрованием соединения с прикладными программами
- Шифрованием данных

Notation 1.11. Выбор СУБД

Выбор СУБД – важный шаг при создании ИС, влияющий на эффективность, как проектирования, так и функционирования системы

Учитывая тенденции развития ИС, СУБД должна отвечать следующим требованиям:

- Обеспечивать работу в гетерогенной сетевой среде, включая возможность эффективной работы в Интернете
- Легко переноситься с платформы на платформу
- Обеспечивать работу с большими объемами разнотипных данных
- Быть надежной и эффективной

1.3 Принципы организации базы данных

Notation 1.12. Требования к БД и СУБД

- Высокое быстродействие (малое время отклика на запрос)
- Простота обновления данных
- Защита данных от преднамеренного или непреднамеренного нарушения секретности, искажения или разрушения
- Поддержка целостности данных
- Независимость данных – возможность изменения логической и физической структуры БД без изменения представлений пользователей
- Совместное использование данных многими пользователями
- Стандартизация построения и эксплуатации БД
- Адекватность отображения данных соответствующей предметной области

Notation 1.13. Принципы организации БД

- Разделение различных видов данных
 - Данные пользовательские (приложений)
 - Вспомогательные данные (индексы)
 - Метаданные (словарь данных БД)
 - Служебная информация
- Позволяет повысить безопасность данных и быстродействие работы с ними
- Проектирование логической структуры данных
Выбор модели данных (в зависимости от требований доступа к данным)
- Позволяет обеспечить:
 - Логическую и физическую независимость данных
 - Адекватность отображения данных соответствующей предметной области
 - Удобство работы и гибкость
- Определение ограничений данных
 - Уменьшение ошибок ввода/изменения данных
 - Зависимость от семантики данных
- Позволяет поддержать целостность данных

1.4 Реляционная модель данных

Definition 1.8. Модель данных

Модель данных – формальное описание представления и обработки данных в системе управления базами данных

Notation 1.14. Компоненты реляционной модели данных

- Структурный аспект
 - Какие структуры данных рассматриваются реляционной моделью
 - Постулируется, что единственной структурой данных, используемой в реляционной модели, являются нормализованные n -арные отношения
- Аспект целостности
 - Ограничения специального вида, которые должны выполняться для любых отношений в любых реляционных базах данных
 - Целостность сущностей реального мира
 - Ссылочная целостность
- Аспект обработки
 - Способы манипулирования реляционными данными
 - Реляционная алгебра – базируется на теории множеств
 - Реляционное исчисление – базируется на логическом аппарате исчисления предикатов первого порядка

1.5 Структурный аспект реляционной модели

Definition 1.9. Отношение

Отношение (relation) – класс объектов реального мира, каждый из которых должен быть уникально идентифицирован

- Подмножество R декартового произведения множеств элементов доменов: (не обязательно различных)
- Или множество кортежей, соответствующих одной схеме отношения
- Мощность отношения – количество кортежей в отношении
- На бытовом уровне – тело таблицы

Definition 1.10. Схема отношения

- Именованное конечное множество пар вида {Имя_атрибута: Имя_домена}
- Степень или -арность (схемы) отношения – количество атрибутов
- На бытовом уровне – заголовок таблицы

Definition 1.11. Атрибут

Атрибут (поле, столбец) – характеристика объекта, принимающая значения определенного типа данных

- Подмножество домена (атрибут A_n определен на домене D_n , который содержит множество возможных значений атрибута)
 $A_1(D_1), A_2(D_2), \dots, A_n(D_n)$
- На бытовом уровне – столбец таблицы
- Имена атрибутов должны быть уникальны в пределах отношения

Definition 1.12. Тип данных

Тип данных – реляционная модель данных допускает использование только простых типов

- Соответствует понятию типа данных в языках программирования
- Реляционная модель данных допускает использование только простых типов (логические, символьные, числовые ...), т.к. в реляционных операциях не должна учитываться внутренняя структура данных

Definition 1.13. Домен

Домен – произвольное логическое выражение (опционально), определяющее набор допустимых значений атрибута

- Базовый тип данных + произвольное логическое выражение (опционально)
- Если вычисление заданного логического выражения для элемента данных заданного типа дает результат "истина", то он является элементом домена
- Домены ограничивают сравнения: некорректно, с логической точки зрения, сравнивать значения из различных доменов, даже если они имеют одинаковый тип данных (например, возраст сотрудника и количество его детей)

Definition 1.14. Кортеж

Кортеж (запись, строка) – набор связанных значений атрибутов, относящихся к одному объекту (сущности)

- Множества пар вида { Имя_атрибута: Значение_атрибута }
- На бытовом уровне – строка таблицы
- Значение атрибута должно быть в пределах заданного домена
- Каждый кортеж отношения должен быть уникально идентифицирован

Definition 1.15. Схема БД

Схема БД (в структурном смысле) – набор именованных схем отношений

Definition 1.16. Реляционная база данных

Реляционная база данных – набор отношений, имена которых совпадают с именами схем отношений в схеме БД

Notation 1.15. Свойства отношений

- В отношении нет кортежей-дубликатов
Т.к. отношение – это множество кортежей, а каждое множество (в классической теории множеств) состоит из различных элементов
Во многих РСУБД может нарушаться для отношений, являющихся результатами запросов
- Кортежи не упорядочены
Множество не упорядочено
- Атрибуты не упорядочены
Каждый атрибут имеет уникальное имя в пределах отношения, поэтому порядок атрибутов не имеет значения
- Значение атрибута должно быть атомарным (неразделяемым на несколько значений)
В современных РСУБД в ячейки таблиц можно поместить что угодно – массивы, структуры и даже другие таблицы
- Домены ограничивают сравнения
Некорректно, с логической точки зрения, сравнивать значения из различных доменов, даже если они имеют одинаковый тип данных

1.6 Аспект целостности реляционной модели

Definition 1.17. Целостность базы данных

Целостность базы данных (database integrity) – соответствие имеющейся в базе данных информации ее внутренней логике, структуре и всем явно заданным правилам

Каждое такое правило, налагающее ограничение на возможное состояние базы данных, называется ограничением целостности (integrity constraint)

Задача аналитика и проектировщика БД – возможно более полно выявить все имеющиеся ограничения целостности и задать их в базе данных

СУБД может (и должна) контролировать целостность БД

Notation 1.16. Сущностная целостность

Каждый кортеж отношения должен быть уникально идентифицирован по значениям его атрибутов

Потенциальный ключ обладает следующими свойствами:

- Свойством уникальности – в отношении не может быть двух различных кортежей с одинаковым значением потенциального ключа
- Свойством неизбыточности – никакое подмножество в потенциальном ключе не обладает свойством уникальности, т.к. если из потенциального ключа убрать любой атрибут, он утратит свойство уникальности

Отношение может иметь несколько потенциальных ключей:

- Один из потенциальных ключей объявляется первичным – Primary Key, а остальные – альтернативными – Alternate Key
- С точки зрения реляционной модели данных, нет оснований выделять таким образом один из потенциальных ключей

Notation 1.17. Правила для поддержки сущностной целостности

Потенциальный ключ может быть:

- Простым – состоит из одного атрибута
- Составным – состоит из нескольких атрибутов

Потенциальные ключи фактически являются идентификаторами. Если бы идентификаторы могли содержать NULL значения, невозможно было бы дать ответ "да" или "нет" на вопрос, совпадают ли два идентификатора

Это определяет следующее правило: значения атрибутов, входящих в состав некоторого потенциального ключа не могут быть NULL (во многих СУБД выполняется только для первичного ключа)

Definition 1.18. NULL

Для того чтобы обойти проблему неполных или неизвестных данных, каждый тип данных в БД может быть дополнен NULL

NULL – это не значение, а некий маркер, показывающий, что значение неизвестно

В ситуации, когда возможно появление неизвестных или неполных данных, разработчик имеет на выбор два варианта:

- Ограничиться использованием обычных типов данных и не использовать NULL, а вместо неизвестных данных вводить либо нулевые значения, либо значения специального вида
- Использовать NULL вместо неизвестных данных

Наличие NULL приводит к использованию трехзначной логики:

- Три возможных значений выражений: TRUE (T), FALSE (F), UNKNOWN (U)
- $NULL = NULL \rightarrow U$ ($NOT\ NULL = NULL \rightarrow U$)
- $NULL \neq NULL \rightarrow U$ ($NOT\ NULL \neq NULL \rightarrow U$)
- $F\ OR\ NULL \rightarrow U$ ($T\ OR\ NULL \rightarrow T$)
- $T\ AND\ NULL \rightarrow U$ ($F\ AND\ NULL \rightarrow F$)

Definition 1.19. Внешние ключи

Различные объекты предметной области, информация о которых хранится в базе данных, взаимосвязаны друг с другом

Для реализации взаимосвязи между родительским и дочерним отношениями в реляционных БД используются внешние ключи – foreign key (FK)

Notation 1.18. Требования к FK

Подмножество атрибутов FK отношения R будем называть внешним ключом, если

- Существует отношения S (R и S не обязательно различны) с потенциальным ключом K
- Каждое значение FK в отношении R всегда совпадает со значением K для некоторого кортежа из S, либо является NULL

Remark 1.4. Замечания относительно FK

- Отношение S называется родительским отношением, отношение R называется дочерним отношением
- FK, также как и потенциальный, может быть простым и Составным
- FK должен быть определен на тех же доменах, что и соответствующих потенциальный ключ родительского отношения
- FK, как правило, не обладает свойством уникальности (тип связи – один ко многим)
- Для FK не требуется, чтобы он был компонентом некоторого потенциального ключа
- NULL для значений атрибутов FK допустимы только в том случае, когда атрибуты FK не входят в состав никакого потенциального ключа

Definition 1.20. Связь

Связь – ассоциирование двух или более сущностей (или копий одной и той же сущности). Одно из основных требований к организации БД – это обеспечение возможности поиска одних сущностей по значениям других, для чего необходимо установить между ними определенные связи.

Типы связей:

- Связь 1:1. Один экземпляр сущности одного класса связан с одним экземпляром сущности другого класса.
- Связь 1:M. Один экземпляр сущности одного класса связан со многими экземплярами сущности другого класса.
- Связь M:N. Несколько экземпляров сущности одного класса связаны с несколькими экземплярами сущности другого класса.

Notation 1.19. Допустимая кратность связей

В реляционных БД допустимыми являются связи типа 1:M и 1:1 (значения внешнего ключа – уникальны).

Механизм реализации допустимых взаимосвязей состоит в том, что на дочернее отношение добавляются атрибуты, являющиеся ссылками на ключевые атрибуты родительского отношения.

Невозможно ссылаться на несуществующие объекты → значения атрибута внешнего ключа дочернего отношения должны иметь соответствие среди значений атрибутов отношения потенциального ключа родительского.

Взаимосвязи типа M:N реализуются использованием нескольких взаимосвязей типа 1:M.

1.7 Знакомство с PostgreSQL (реклама)

Definition 1.21. PostgreSQL

PostgreSQL – это открытая, BSD-лицензированная система управления объектно-ориентированными реляционными базами данных

Notation 1.20. История PostgreSQL

- 1986 – старт проекта PostgreSQL на факультете компьютерных наук Калифорнийского университета в Беркли
Первоначальное название проекта – POSTGRES (развитие старой БД Ingres)
- 1996 – проект POSTGRES переименован в PostgreSQL, для отражения поддержки SQL
Global Development Group PostgreSQL, специализированное сообщество участников, продолжает выпускать релизы проекта с открытым исходным кодом
- Первоначально PostgreSQL был разработан для работы на UNIX-подобных платформах
Сейчас PostgreSQL поддерживает различные платформы, такие как Windows, macOS и Solaris

Notation 1.21. Преимущества и особенности СУБД PostgreSQL

- Надежность
- Производительность
- Расширяемость
- Поддержка SQL
- Поддержка многочисленных типов данных

Notation 1.22. Расширяемость

PostgreSQL спроектирован с расчетом на расширяемость

Прикладные программисты могут:

- Создавать собственные типы данных на основе уже имеющихся (составные типы, диапазоны, массивы, перечисления)
- Писать хранимые процедуры и функции для обработки данных в БД (в том числе триггеры)
- Писать расширения (языке программирования Си), которые добавляют необходимый функционал и, обычно, могут подключаться даже к работающему серверу

Если вам не нравится какая-либо часть системы, вы всегда можете разработать собственный плагин

Remark 1.5. Важный факт

Подавляющее большинство СУБД:

- Представляет собой сервис (демон в *nix-системах), который взаимодействует с внешним миром по специальным протоколам (чаще всего, построенным поверх TCP/IP)
- Не имеет никакого человеческого интерфейса
- Общение осуществляется на специализированном языке через специальные библиотеки

MySQL Workbench, Microsoft SQL Server Management Studio, Oracle SQL Developer и им подобные – это не СУБД, это лишь клиентское программное обеспечение, позволяющее нам взаимодействовать с СУБД

Notation 1.23. Упрощенная архитектура PostgreSQL

PostgreSQL – это СУБД клиент-серверного типа с многопроцессной архитектурой, работающая на одном хосте

Сбой в одном из процессов не повлияет на остальные и система продолжит функционировать

Набор нескольких процессов, совместно управляющих одним кластером БД, называется "сервером PostgreSQL"

Один сервер PostgreSQL может управлять несколькими конкурентными клиентскими подключениями

Notation 1.24. Основные процессы

- FrontEnd процессы – клиентские приложения:
 - Используют PostgreSQL в качестве менеджера баз данных
 - Соединение может происходить через TCP/IP или локальные сокеты
- Демон postres (postmaster) – это основной процесс PostgreSQL:
 - Прослушивание через порт/сокет входящих клиентских подключений
 - Создание BackEnd процессов и выделение им ресурсов
- BackEnd процессы:
 - Аутентификация клиентских подключений
 - Управление запросами и отправка результатов клиентским приложениям
 - Выполнение внутренних задач (служебные процессы)

Notation 1.25. Процесс взаимодействия с БД

1. Клиент (FrontEnd)
 - (a) Используя язык БД формулирует требования к результату
 - (b) Опирается на знание логической структуры БД
2. СУБД (postmaster и BackEnd)
 - (a) Получает запрос от клиента
 - (b) Анализирует разрешения
 - (c) Анализирует и оптимизирует запрос
 - (d) Создает план выполнения запроса, опираясь на знание физической структуры данных
 - (e) Выполняет запрос

Notation 1.26. Взаимодействие с БД

Для работы с реляционной СУБД существует два основных подхода:

- Работа с библиотекой, которая соответствует конкретной СУБД и позволяет использовать для работы с БД язык БД
- Работа с ORM, которая использует объектно-ориентированный подход для работы с БД и автоматически генерирует код на языке БД

Notation 1.27. Подключение к СУБД с использованием клиентской библиотеки

Строка подключения включает:

- Имя сервера БД (или IP адрес и порт)
- Имя базы данных
- Учетную запись пользователей
- И другие параметры, необходимые для установки исходного подключения

1.8 SQL и NoSQL

Notation 1.28. Модели данных

- Иерархическая (файловая система)
- Сетевая (социальные сети)
- Документ-ориентированная (системах управления содержимым)
- Реляционная (банковские системы)
- Объектно-ориентированная (естественное отображение ООП кода на БД, уменьшающее impedance mismatch)
- Многомерная (аналитические системы)

Notation 1.29. Преимущества РБД

- Совместное использование данных
 - Улучшенное управление параллельной работой
 - Повышенная безопасность
 - Контроль доступа к данным
- Поддержка целостности данных
 - Контроль за избыточностью данных и их непротиворечивостью
 - Обеспечение поддержки бизнес-правил
- Эффективное управление
 - Упрощение сопровождения системы за счет независимости от данных
 - Эффективное резервное копирование и восстановление данных
- Применение стандартов

Notation 1.30. Недостатки РБД

- Сложность
Затраты на преобразование данных на входе и выходе
- Уязвимость
Централизация ресурсов повышает уязвимость системы
- Высокие финансовые затраты
 - Стоимость СУБД
 - Стоимость сопровождения
 - Дополнительные затраты на аппаратное обеспечение

Definition 1.22. Базы данных NoSQL

Базы данных NoSQL хорошо подходят для приложений, которые должны быстро, с низкой временной задержкой (low latency) обрабатывать большой объем данных с разной структурой

- Гибкость. Благодаря использованию гибких моделей данных БД NoSQL хорошо подходят для частично структурированных и неструктурированных данных. Эффективность работы с разреженными данными
- Масштабируемость. БД NoSQL рассчитаны на масштабирование с использованием распределенных кластеров аппаратного обеспечения. Широко используются в облачных решениях в качестве полностью управляемых сервисов
- Высокая производительность. БД NoSQL оптимизированы для конкретных моделей данных и шаблонов доступа, что позволяет достичь более высокой производительности по сравнению с реляционными базами данных
- Широкие функциональные возможности. БД NoSQL предоставляют API и типы данных с широкой функциональностью, которые специально разработаны для соответствующих моделей данных

Definition 1.23. Нереляционные БД

- Хранилища ключей и значений
 - Поддерживают высокую разделяемость и обеспечивают беспрецедентное горизонтальное масштабирование
 - Игровые, рекламные приложения и приложения IoT (Amazon DynamoDB, Redis, Riak)
- Колоночные
 - Данные хранятся не по строкам, а по столбцам
 - Хорошо подходят для BigData (Hbase, Clickhouse, Vertica)
- Документоориентированные
 - Хранение коллекций документов с произвольным набором атрибутов (полей)
 - Каталоги, пользовательские профили и системы управления контентом, где каждый документ уникален и изменяется со временем (CouchDB, Couchbase, MongoDB)
- Графовые
 - Упор на установление произвольных связей между данными
 - Социальные сети, сервисы рекомендаций, системы выявления мошенничества и графы знаний (OrientDB, Neo4j)

Параметр	Реляционные (SQL)	NoSQL
Подходящие рабочие нагрузки	OLTP и OLAP	Приложения с низкой задержкой доступа к данным
Модель данных	Нормализованная реляционная модель обеспечивает целостность ссылочных данных в отношениях между таблицами	Предоставляют разнообразные модели данных, оптимизированные для высокой производительности и масштабируемости
Структура	Жесткая схема: таблицы (строки, столбцы)	Гибкие модели: документы, ключ-значение, графы, колоночные
Изменение схемы	Требует ALTER TABLE, миграции	Гибкость (документы без фиксированной схемы)
Типы данных	Строгая типизация	Динамические (JSON, BLOB и другие)
Связи	JOIN, внешние ключи, ACID-транзакции	Часто денормализация, ссылки или вложенные данные
Производительность	Зависит от дисковой подсистемы. Требуется оптимизация запросов, индексов и структур таблицы	Зависит от размера кластера базового аппаратного обеспечения, задержки сети и вызывающего приложения
Чтение/запись	Быстрые сложные запросы (OLTP), но JOIN могут замедлять	Высокая скорость для простых операций (ключ-значение)
Оптимизация	Индексы, нормализация	Денормализация, распределенные вычисления
Масштабирование	Масштабируются путем увеличения вычислительных возможностей аппаратного обеспечения или добавления отдельных копий для рабочих нагрузок чтения	Поддерживают высокую разделяемость благодаря шаблонам доступа с возможностью масштабирования на основе распределенной архитектуры
Горизонтальное	Сложно (шардинг требует усилий)	Оптимизировано (например, Cassandra, DynamoDB)
Вертикальное	Стандартный подход (увеличение сервера)	Возможно, но реже используется

1.9 Классификация баз данных

Notation 1.31. Классификация БД

- Классификация БД по характеру организации данных
 - Неструктурированные
БД, хранят данные в виде обычного текста или гипертекстовой разметки
 - * рпоще зафиксировать (как есть)
 - * Очень трудно искать конкретные данные, поскольку они не структурированы
 - * Очень трудно анализировать, поскольку данных как правило качественные (семантические)
 - Структурированные
БД, хранящие данные в организованном виде в отформатированном хранилище
 - * Требуют предварительного проектирования и описания структуры БД
 - * Только после этого БД такого типа могут быть заполнены данными
 - * Очень простой поиск и нахождение данных в базе данных или наборе данных
 - * Очень легко анализировать данные, поскольку они как правило количественные
- Классификация БД по характеру хранимой информации
 - Документальные
 - * Предназначены для хранения слабо структурированных данных. Единицей хранения является документ, заданный конечным (но не фиксированным) набором полей в общем случае произвольной длины. Значение поля может иметь сложную структуру и зависеть от контекста использования
 - * Пользователю в ответ на его запрос выдается либо ссылка на документ, либо сам документ, в котором он может найти интересующую информацию
 - * Использование: гипертекстовые документы в сети Интернет
 - * Информационно-справочные или информационно-поисковые системы
 - Фактографические
 - * Ориентированы на хранение хорошо структурированных данных. Единицей информации служит описание факта конечным, четко определенным множеством свойств. Каждое свойство факта (объекта) имеет атомарное значение, которое не зависит от контекста использования
 - * Использование: БД оперативной обработки транзакций (OLTP) – операционные БД, БД оперативной аналитической обработки (OLAP) – хранилища данных (Data Warehouse)
- Классификация БД и СУБД по структуре организации данных
Структурированные БД различаются по типу используемой модели представления данных
 - Сетевые
 - Иерархические
 - Реляционные
 - Многомерные
 - Объектно-ориентированные

Definition 1.24. Модель представления данных

Модель данных – интегрированный набор понятий для описания и обработки данных, связей между ними и ограничений, накладываемых на данные в рамках предметной области

Модель данных можно рассматривать как сочетание трех компонентов:

- Структурная часть – набор правил, по которым может быть построена БД
- Управляющая часть – определяет типы допустимых операций с данными: для обновления и извлечения данных, для изменения структуры данных
- Набор ограничений (необязательный) для поддержки целостности данных, гарантирующих корректность используемых данных (полноту, непротиворечивость и адекватное отражение предметной области)

Definition 1.25. Иерархическая модель данных

Иерархическая модель данных – это модель данных, где используется представление БД в виде древовидной (иерархической) структуры, состоящей из объектов (данных) различных уровней – родителей-потомков

В иерархической модели узел может иметь только одного родителя

- Самый верхний узел называется корневым узлом
- Все узлы дерева, за исключением корневого, должны иметь родительский узел
- Связи между отдельными узлами дерева отражаются с помощью направленных ребер графа – от родителя к ребенку

Definition 1.26. Сетевая модель данных

Для описания сетевой модели данных используют понятия "запись" и "связь"

Связь определяется для двух записей: предка и потомка

В сетевой модели данных запись-потомок может иметь произвольное число записей-предков

В сетевой структуре каждый элемент может быть связан с любым другим элементом. Сетевые базы данных подобны иерархическим, за исключением того, что в них имеются указатели в обоих направлениях, которые соединяют родственную информацию

Несмотря на то, что эта модель решает некоторые проблемы, связанные с иерархической моделью, выполнение простых запросов остается достаточно сложным процессом. Также, поскольку логика процедуры выборки данных зависит от физической организации этих данных, то эта модель не является полностью независимой от приложения. Другими словами, если необходимо изменить структуру данных, то нужно изменить и приложение

Definition 1.27. Реляционная модель данных

Эта модель данных основана на понятии математических отношений (relation)

В реляционной модели данные представлены в виде плоских таблиц, связанных между собой. Необходимо помнить, что таблица есть понятие нестрогое и часто означает не отношение как абстрактное понятие, а визуальное представление отношения на бумаге или экране. В частности – таблицы обычно предполагают упорядоченное хранение данных, в то время как отношения – не обладают этой характеристикой

Между отношениями поддерживаются связи один-к-одному или один-ко-многим

Definition 1.28. Многомерная модель данных

Данные представлены в виде многомерного куба (массива). Измерение (атрибут в реляционной модели) – размерность куба. Факт (агрегированная числовая характеристика) – содержимое ячейки

Агрегаты по всем срезам куба высчитываются один раз и хранятся в базе

Definition 1.29. Объектно-ориентированная модель данных

Данные представлены в виде классов и относящихся к ним объектов

- Класс – тип объекта
- Атрибут – свойство объекта
- Метод – операция над объектом

Инкапсуляция структурного и функционального описания объектов

Наследуемость внешних свойств объектов на основе соотношения "класс-подкласс"

1.10 Классификация СУБД

Definition 1.30. Словарь данных

Словарь данных – набор доступных для выборки всем пользователям базы данных системных таблиц, в которых хранятся метаданные (данные о данных)

Notation 1.32. Классификация СУБД

- Классификация по количеству пользователей
 - Однопользовательские
 - * Реализуются на автономном ПК без использования сетей связи
 - * Рассчитаны на работу одного пользователя или группы пользователей, разделяющих по времени одно рабочее место
 - * Настольные или локальные СУБД
 - Многопользовательские
 - * Ориентированы на коллективное использование информации
 - * Строятся на базе локальной вычислительной сети
 - * Могут быть распределены по нескольким узлам (хостам)
- Классификация по степени распределенности
 - Локальные СУБД – все части размещаются на одном компьютере
 - Распределенные СУБД – части СУБД могут размещаться не только на одном, но на двух и более компьютерах
 - * Файл-серверные
 - * Клиент-серверные
 - Двухзвенные (СУБД и БД, клиентские приложения)
 - Многозвенные (СУБД и БД, сервер приложений, клиентские приложения)
- Классификация по способу доступа к БД

Notation 1.33. Недостатки файл-серверной архитектуры

СУБД не располагает информацией о том, что происходит на компьютере где хранятся данные:

- Невозможно считать из БД только ту часть данных, которые запрашивает пользователь – считывается файл целиком (блокировка файла)
- Большой объем сетевого трафика (передача по сети множества блоков и файлов, необходимых приложению)
- Узкий спектр операций манипулирования с данными, определяемый только файловыми командами
- Отсутствие адекватных средств безопасности доступа к данным (защита только на уровне файловой системы)
- Недостаточно развитый аппарат транзакций служит потенциальным источником ошибок в плане нарушения смысловой и ссылочной целостности информации при одновременном внесении изменений в одну и ту же запись

Definition 1.31. Архитектура клиент-сервер (двухзвенная)

На сервере: база данных, серверная часть СУБД – взаимодействует с БД, обеспечивая выполнение запросов клиентской части

На клиенте: прикладные программы, клиентская часть СУБД – обеспечивает взаимодействие с пользователем и формирование запросов к БД и передача их на сервер

Преимущества:

- СУБД располагает информацией о наборе файлов БД
- Обеспечение разграничения доступа к данным нескольких пользователей
- Считывание только необходимой пользователю информации из файла (блокировка блока данных)
- Обеспечивает корректную параллельную работу всех пользователей с единой БД

Недостатки:

- Очень большая загрузка на сервер, так как он обслуживает множество клиентов и выполняет всю основную обработку данных
- Нагрузка с обработкой полученных данных дублируется на клиентские хосты

Definition 1.32. Архитектура клиент-сервер (трехзвенная)

Схема: тонкий клиент → сервер приложений → сервер базы данных

В функции клиентской части (тонкий клиент) входит только интерактивное взаимодействие с пользователем

Вся логика обработки данных (прикладные программы) вынесена на сервер приложений, который и обеспечивает формирование запросов к БД, передаваемых на выполнение серверу БД

Сервер приложений может являться специализированной программой или обычным web-сервером

Преимущества:

- Снижается нагрузка на сервер БД – он занимается исключительно функциями СУБД
- При изменении бизнес-логики нет необходимости изменять клиентские приложения
- Максимально снижаются требования к аппаратуре пользователей
- Данная модель обладает большей гибкостью, чем двухуровневые модели

Недостатки:

- Более высокие затраты ресурсов компьютеров на обмен информацией между компонентами приложений по сравнению с двухуровневыми моделями

Definition 1.33. Встраиваемые СУБД

Встраиваемая СУБД – поставляется как составная часть некоторого программного продукта, не требующая процедуры самостоятельной установки

Предназначена для локального хранения данных своего приложения и не рассчитана на коллективное использование в сети

Физически чаще всего реализуется в виде подключаемой библиотеки

Доступ к данным со стороны приложения может происходить через язык запросов либо через специальные программные интерфейсы

1.11 Аспект обработки реляционной модели

Notation 1.34. Математические аппараты для манипулирования данными

Виды:

- Реляционная алгебра – основана на теории множеств. Описывает порядок выполнения операций, позволяющих из исходных выражений получить результат
- Реляционное исчисление – основано на логике предикатор первого порядка. Описывает результат в терминах исходных отношений

Свойство замкнутости операций на множестве отношений. Выражения реляционной алгебры и формулы реляционного исчисления определяются над отношениями реляционных БД и результатом вычисления также являются отношения

В современных РСУБД не используется в чистом виде ни реляционная алгебра, ни реляционное исчисление. Фактическим стандартом доступа к реляционным данным стал язык SQL (Structured Query Language), который представляет собой смесь операторов реляционной алгебры и выражений реляционного исчисления, использующий синтаксис, близкий к фразам английского языка и расширенный лополнительными отсутствующими в упомянутых аппаратах

Definition 1.34. Реляционная алгебра (РА)

Реляционная алгебра – это формальный язык операций над отношениями (таблицами), включающий SQL – декларативный язык запросов, который включает не только операции РА, но и дополнительные конструкции (агрегацию, рекурсию, модификацию данных и др.)

Вывод: классическая реляционная алгебра и базовый SQL (без агрегации, рекурсии, оконных функции итд) эквивалентны по выразительной силе в рамках запросов к базе данных. Однако SQL строго мощнее, если учитывать все его возможности (например, рекурсивные запросы, агрегацию, модификацию данных)

Операции реляционной алгебры:

- Теоретико-множественные
 - Объединение отношений
 - Пересечение отношений
 - Вычитание отношений
 - Декартово произведение отношений
- Специальный
 - Выборка (ограничение) отношений
 - Проекция отношения
 - Соединение отношений
 - Деление отношения
- Дополнительные
 - Присваивание (сохранение результатов вычисления)
 - Переименование атрибутов отношения

Notation 1.35. Совместимость по типу

Некоторые реляционные операции требуют, чтобы отношения были совместимы по типу. Отношения являются совместимыми по типу, если их схемы идентичны. Отношения имеют одно и то же множество имен атрибутов, т.е. для любого атрибута в одном отношении найдется атрибут с таким же именем в другом отношении. Атрибуты с одинаковыми именами определены на одних и тех же доменах. Степени схем отношений (количество атрибутов) совпадают.

Definition 1.35. Объединение отношений

Объединением двух совместимых по типу отношений A и B называется отношение S с той же схемой, что и у отношений A и B , и состоящее из кортежей, принадлежащих или A , или B , или обоим отношениям.

Синтаксис: $A \text{ UNION } B$ или $A \cup B$

Remark 1.6.

Объединение, как и любое отношение, не может содержать одинаковых кортежей. Если некоторый кортеж входит и в отношение A , и в отношение B , то в объединение он входит один раз.

Definition 1.36. Вычитание отношений

Вычитанием двух совместимых по типу отношений A и B называется отношение S с той же схемой, что и у отношений A и B , и состоящее из кортежей, принадлежащих отношению A и не принадлежащих отношению B .

Синтаксис: $A \text{ EXCEPT } B$ или $A \setminus B$

Definition 1.37. Пересечение отношений

Пересечением двух совместимых по типу отношений A и B называется отношение S с той же схемой, что и у отношений A и B , и состоящее из кортежей, принадлежащих одновременно обоим отношениям.

Синтаксис: $A \text{ INTERSECT } B$ или $A \cap B$

Remark 1.7.

Пересечение может быть выражено через операцию вычитания: $A \cap B = A \setminus (A \setminus B)$

Definition 1.38. Декартово произведение отношений

Декартовым произведением двух отношений $A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ и $B = (B_1, B_2, \dots, B_m)$ называется отношение S , со схемой, состоящей из атрибутов отношений A и B : $(A_1, A_2, \dots, A_n, B_1, B_2, \dots, B_m)$ и являющееся результатом конкатенации (сцепления) каждого кортежа из отношения A с каждым кортежем из отношения B . В результате получаем набор кортежей $(a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_m)$, таких, что $(a_1, \dots, a_n) \in A$, а $(b_1, \dots, b_m) \in B$
Синтаксис: $A \text{ CROSS JOIN } B$ или $A * B$

Remark 1.8.

Мощность произведения равен произведению мощностей отношений A и B
Если в отношениях A и B имеются атрибуты с одинаковыми наименованиями, то перед выполнением операции декартового произведения такие атрибуты необходимо переименовать

Definition 1.39. Выборка (ограничение) отношений

Выборкой (ограничением) называется подмножество кортежей отношения R , удовлетворяющих определенному условию (предикату)
Результат выборки – горизонтальный срез отношения по некоторому условию
Предикат – логическое выражение, в которое могут входить атрибуты отношения R и/или скалярные выражения
Синтаксис: $R \text{ WHERE}$ или σR

Definition 1.40. Проекция отношения

Проекцией называется вертикальное подмножество кортежей отношения R , создаваемое посредством извлечения значений указанных атрибутов $A_1 \dots A_n$ отношения
Результат проекции – вертикальный срез отношения, в котором удалены все возникшие при этом дубликаты кортежей
Синтаксис: $R[A_1 \dots A_n]$ или $\prod_{A_1 \dots A_n} R$

Definition 1.41. Соединение отношений

Θ -соединение (тэта-соединение) – определяет отношение S , которое содержит кортежи из декартового произведения отношений A и B , удовлетворяющих предикату Θ
Синтаксис: $(A \text{ JOIN } B) \text{ ON } \Theta$

Remark 1.9. Частные случаи

- Экви-соединение – предикат содержит только оператор равенства
- Естественное соединение – эквисоединение отношений A и B , выполненное по всем общим атрибутам, из результатов которого исключается по одному экземпляру каждого общего атрибута
- Левое внешнее соединение – соединение, при котором кортежи отношения A , не имеющие совпадающих значений в общих атрибутах отношения B , также включаются в общее отношение

Definition 1.42. Деление

Пусть даны отношения $A(X_1 \dots X_n, Y_1 \dots Y_p)$ и $B(Y_1 \dots Y_p)$, причем атрибуты $(Y_1 \dots Y_p)$ – общие для двух отношений

Результатом деления отношения A на B является отношение со схемой $S(X_1 \dots X_n)$, содержащее множество кортежей $(x_1 \dots x_n)$, таких, что для всех кортежей $(y_1 \dots y_p) \in B$ в отношении A найдется кортеж $(x_1 \dots x_n, y_1 \dots y_p)$

Отношение A выступает в роли делимого, отношение B выступает в роли делителя

Все атрибуты отношения B должны входить в состав схемы отношения A

Синтаксис: $A \text{ DIVIDE BY } B$ или $A \div B$

Remark 1.10.

Деление может быть выражено через операции декартова произведения и вычитания

Типичные запросы, реализуемые с помощью операции деления, обычно в своей формулировке имеют слово все

Example 1.1.

1. Получить имена поставщиков, поставляющих деталь номер 2:
 $((DP \text{ JOIN } P) \text{ WHERE } DNUM=2)[PNAME]$
2. Получить имена поставщиков, поставляющих по крайней мере одну гайку
 $((((D \text{ JOIN } DP) \text{ JOIN } P) \text{ WHERE } DNAME=\text{Гайка})[PNAME] \text{ } (((D \text{ WHERE } DNAME=\text{Гайка}) \text{ JOIN } DP) \text{ JOIN } P)[PNAME]$
3. Получить имена поставщиков, поставляющих все детали
 $((DP[PNUM,DNUM] \text{ DIVIDE BY } D[DNUM]) \text{ JOIN } P)[PNAME]$

1.12 Типы данных

Definition 1.43. PostgreSQL и типы данных

SQL – язык со строгой типизацией. Каждый элемент данных имеет некоторый тип, определяющий его поведение и допустимое использование
PostgreSQL наделен расширяемой системой типов, более универсальной и гибкой по сравнению с другими реализациями SQL

Notation 1.36. Типы данных

- Символьные
- Числовые
- Дата и время
- Логические
- Двоичные
- Специальные

Definition 1.44. Символьные данные

`varchar(n)`, `char(n)`, `text`

Константные значения. Последовательность символов, заключенная в апострофы. Две строковые константы, разделенные пробельными символами и минимум одним переводом строки, объединяются в одну

- Константы со спецпоследовательностями в стиле C
Начинаются с буквы E (заглавной или строчной)
- Строковые константы со спецпоследовательностями Unicode
Позволяют включать в строки символы Unicode по их кодам
Начинается с U& (строчная или заглавная U и амперсанд)
Символы Unicode можно записывать двумя способами:
 - \ и код символа из четырех шестнадцатеричных цифр
 - \+ и код символа из шести шестнадцатеричных цифр
- Строковые константы, заключенные в доллары
Используются для работы со строками, содержащими много апострофов или обратных косых черт. Позволяют избежать необходимости зеркалирования служебных символов. Делают строки более читабельными. Обрамляются `$[тэг]$`

Definition 1.45. Точные числовые данные

Целочисленные типы – `smallint (int2)`, `integer (int4)`, `bigint (int8)`

Числа фиксированной точности – `numeric (precision, scale)` и `decimal (precision, scale)`

Definition 1.46. Числовые данные с плавающей точкой

real, double precision и float(p)

Поддерживают специальные значения Infinity, -Infinity и NaN

Если точность вводимого числа выше допустимой – будет выполняться округление значения. При вводе слишком большого или очень маленького значения будет генерироваться ошибка

Внимание: сравнение двух чисел с плавающей точкой на предмет равенства их значений может привести к неожиданным результатам

Definition 1.47. последовательные типы

serial (int4), bigserial (int8) и msallserial (int2)

Реализованы как удобная замена целой группы SQL-команд: создание объекта SEQUENCE – генератор уникальных целых чисел, генерация и получение значений последовательности

Часто используются в качестве значений суррогатного первичного ключа (Primary Key)

Нет необходимости указывать явное значение для вставки в поле PK

Notation 1.37. Функции для работы с последовательностями

Функция	Тип результата	Описание
currval('name')	bigint	Возвращает последнее сгенерированное значение указанной последовательности (которое было возвращено при последнем вызове функции nextval)
lastval()	bigint	Возвращает последнее сгенерированное значение любой последовательности (которое было возвращено при последнем вызове функции nextval)
nextval('name')	bigint	Генерит и возвращает новое значение последовательности
setval('name', bigint)	bigint	Устанавливает текущее значение последовательности
setval('name', bigint, boolean)	bigint	Устанавливает текущее значение последовательности и флаг is-called, указывающий на то, что это значение уже использовалось

Definition 1.48. Дата и время

date, time и time with time zone (timetz)

Даты обрабатываются в соответствии с григорианским календарем

time хранит время внутри суток. time with time zone хранит время с учетом смещения, соответствующего часовому поясу

При вводе значений их нужно заключать в одинарные кавычки, как и текстовые строки

Definition 1.49. Временная метка (интегральный тип)

timestamp, timestamp with time zone (timestampz)

Получается в результате объединения типов даты и времени

Оба типа занимают 8 байтов

Значения типа timestampz хранятся приведенными к нулевому часовому поясу (UTC), а перед выводом приводятся к часовому поясу пользователя

Definition 1.50. Тип interval

Представляет продолжительность отрезка времени

Формат: quantity unit [quantity unit ...] direction

Стандарт ISO 8601: P[yyyy-mm-dd][Thh:mm:ss]

Значение типа interval можно получить при вычитании одной временной метки из другой

Notation 1.38. Операторы даты/времени

- date +/- integer – добавляет/вычитает к дате заданное число дней
- date +/- interval – добавляет/вычитает к дате интервал
- date +/- time – добавляет/вычитает к дате время
- interval +/- interval – складывает/вычисляет интервалы
- timestamp +/- interval – добавляет/вычитает к метке времени интервал
- date - date – возвращает разницу между датами в днях
- timestamp - timestamp – вычитает из одной отметки времени другую (преобразуя 24-часовые интервалы в дни)

Definition 1.51. Логический тип

boolean

Может иметь три состояния: true, false, NULL. Реализует трехзначную логику

Definition 1.52. Двоичные типы данных

bytea

Позволяют хранить байты с кодом 0 и другими непечатаемыми значениями (значения вне десятичного диапазона 32..126)

В операциях с двоичными строками обрабатываются байты в чистом виде

Поддерживает два формата ввода и вывода (параметр bytea-output):

- hex (шестнадцатеричный) – '\x коды символов в 16-ой системе'
- escape (специальных последовательностей) – '\ коды символов в 8-ой системе'

Notation 1.39. Приведение типов

Приведение типов в PostgreSQL – это осуществление преобразования одного типа информации в другой

Для приведения типов данных в PostgreSQL используется: функция `CAST`, выражение::тип, тип выражения

Неявные преобразования, производимые PostgreSQL, могут влиять на результат запроса

2 Лекция 2. Введение в язык

2.1 Язык SQL

Definition 2.1. Язык SQL

SQL (Structured Query Language) – язык структурированных запросов

Разработан IBM в 1970-х годах. Принят органами стандартизации ANSI и ISO. Первоначальное название – SEQUEL (Structured English QUery Language). Широко используется в промышленности (диалекты)

Язык запросов SQL:

- Является декларативным
- Определяет требования к результату, а не алгоритм выполнения
- Регистронезависим

Notation 2.1. История версий стандарта SQL

Название	Изменения
SQL-86	Первый вариант стандарта, принятый институтом ANSI и одобренный ISO в 1987 году
SQL-89	Немного доработанный вариант предыдущего стандарта
SQL-92	Значительные изменения (ISO 9075); уровень Entry Level стандарта SQL-92 был принят как стандарт FIPS 127-2
SQL:1999	Добавлена поддержка регулярных выражений, рекурсивных запросов, поддержка триггеров, базовые процедурные расширения, не скалярные типы данных и некоторое объектно-ориентированные возможности
SQL:2003	Введены расширения для работы с XML-данными, оконные функции, генераторы последовательностей и основанные на них типы данных
SQL:2006	Функциональность работы с XML-данными значительно расширена. Появилась возможность совместно использовать в запросах SQL и XQuery
SQL:2008	Улучшены возможности оконных функций, устранены некоторые неоднозначности стандарта SQL:2003
SQL:2011	Добавлена поддержка temporal баз данных. Расширены возможности использования оконных функций и выражение FETCH
SQL:2016	Добавлен поиск на основе шаблона строк, полиморфические табличные функции, JSON
SQL:2019	Добавлена часть 15, многомерные массивы (MDarray type and operators)

Notation 2.2. Команды языка SQL

SQL command:

- DDL
 - Create
 - Alter
 - Drop
 - **Truncate Table**
- DCL
 - Grant
 - Revoke
- DML
 - Insert
 - Update
 - Delete
- TCL
 - **Begin**
 - Commit
 - Rollback
 - Savepoint
- DQL
 - Select

Remark 2.1. DDL – Data Definition Language

Используются для определения структур базы данных

- CREATE – создание объектов
- ALTER – модификация структуры объектов
- DROP – удаление объектов
- TRUNCATE TABLE – пересоздание таблицы с удалением всех записей и освобождением места

Remark 2.2. DCL – Data Control Language

Используются для управления привилегиями пользователей на доступ к объектам в базе данных

- GRANT – предоставление привилегии
- REVOKE – отзыв ранее предоставленной привилегии (неявный запрет)

Remark 2.3. DML – Data Manipulation Language

Команды языка манипулирования данными используются для выполнения всех типов модификации данных в базе данных

- INSERT – добавление записей в таблицу
- UPDATE – изменение значений в полях таблицы
- DELETE – удаление записей из таблицы

Remark 2.4. TCL – Transaction Control Language

Используются для управления выполнением транзакций

- BEGIN – открытие явной транзакции
- COMMIT – сохранение (фиксация) изменений, выполненных транзакцией
- ROLLBACK – отмена (откат) изменений, выполненных транзакцией
- SAVEPOINT – задание точки сохранения

Remark 2.5. DQL – Data Query Language

Используется для извлечения данных из таблиц базы данных

2.2 Написание простых запросов

Notation 2.3. Синтаксис оператора SELECT

Элемент	Выражение	Описание
SELECT	Список столбцов через запятую	Определяет, какие столбцы должна содержать результирующая таблица
FROM	Определение таблиц-источников строк	Определяет таблицы-источники для извлечения данных
WHERE	Условие отбора исходных строк	Фильтрует данные из таблиц-источников с помощью предиката
GROUP BY	Группировка по списку столбцов	Упорядочивает строки по группам
HAVING	Условие отбора групп	Фильтрует группы с помощью предиката
ORDER BY	Сортировка по списку столбцов	Сортирует строки результирующей таблицы

Remark 2.6. Логическая последовательность выполнения оператора SELECT

Порядок, в котором запрос записывается отличается от порядка в котором запрос выполняется сервером БД

5. SELECT <select list>
7. [INTO new_table_name]
1. FROM <table source>
2. WHERE <search condition>
3. GROUP BY <group by list>
4. HAVING <search condition>
6. ORDER BY <order by list>[ASC|DESC]

Example 2.1. Применение логического порядка операций к написанию SELECT

```
SELECT empid ,
       extract('year' from orderdate) AS OrderYear
FROM "Sales"."Orders"
WHERE custid = 71
GROUP BY empid , extract('year' from orderdate)
HAVING COUNT(*) > 2
ORDER BY empid , OrderYear;
```

Remark 2.7. SELECT безо всего

Используется для:

- Инициализации переменных
- Возврата результата выражений и функций

Example 2.2. Извлечение данных из таблицы

Извлечение из всех столбцов таблицы

```
SELECT *  
FROM "Sales"."Customers";
```

Извлечение из отдельных столбцов таблицы

```
SELECT companyname, country  
FROM "Sales"."Customers";
```

Notation 2.4. Элементы языка

Элементы языка	Предикаты и операторы
Предикаты	BETWEEN, IN, LIKE, IS, ALL, ANY, SOME
Операторы сравнения	=, >, <, >=, <=, <> (!=)
Логические операторы	AND, OR, NOT
Арифметические операторы	*, /, %, +, -, - (унарный)
Конкатенация (*зависит от диалекта языка)	, *(&, +)

Example 2.3. Вычисляемые столбцы и псевдонимы столбцов

Создание вычисляемых столбцов

```
SELECT unitprice, qty, (qty * unitprice)  
FROM "Sales"."OrderDetails";
```

Псевдонимы заключаются в двойные кавчки, если содержат пробелы, специальные символы или необходимо различать регистры символов

```
SELECT unitprice, qty Quantity, (qty * unitprice) AS Total  
FROM "Sales"."OrderDetails";
```

Example 2.4. Псевдонимы таблиц

Создаются в предложении FROM. Полезны при выборке данных из нескольких таблиц

```
SELECT custid, orderdate  
FROM "Sales"."Orders" AS SO;
```

Ссылка на столбцы таблицы с использованием псевдонима таблицы

```
SELECT SO.custid, SO.orderdate  
FROM "Sales"."Orders" AS SO;
```

Notation 2.5. Влияние логического порядка выполнения запроса на псевдонимы

Предложения FROM, WHERE и HAVING обрабатываются до SELECT

Псевдонимы столбцов создаются в SELECT и видны только в ORDER BY

Выражения, для которых в предложении SELECT определены псевдонимы, должны быть повторно использованы в остальных предложениях запроса

Notation 2.6. Использование выражения CASE в предложении SELECT

Выражение CASE возвращает скалярное значение

CASE может использоваться для:

- Создания вычисляемого столбца в SELECT
- Формирования условия в WHERE или HAVING
- Задания порядка сортировки в ORDER BY

CASE возвращает результат вычисления выражения

Notation 2.7. Формы выражений CASE

- Simple CASE
 - Сравнивает одно выражение со списком возможных значений
 - Возвращает первое совпадение
 - Если совпадений не обнаружено, возвращает значение, основываясь на выражении ELSE
 - Если не найдено совпадений и не определено выражение ELSE, возвращает NULL
- Searched CASE
 - Проверяет набор предикатов или логических выражений
 - Возвращает значение указанное в выражении THEN первого выражения, которое возвращает TRUE

Example 2.5. Simple CASE

```
SELECT contactname ,  
       CASE contacttitle  
         WHEN 'Owner' THEN 'Yes'  
         ELSE 'No'  
       END AS Owner  
FROM "Sales"."Customers"
```

Example 2.6. Searched CASE

```
SELECT productname, unitprice,
CASE
    WHEN discontinued = 1::bit THEN 'withdrawn from sale'
    WHEN unitprice < 25::money THEN 'low price'
    WHEN unitprice BETWEEN 25::money AND 30::money THEN 'medium-price'
    WHEN unitprice BETWEEN 31::money AND 50::money THEN 'high-price'
ELSE 'VIP-price'
END AS "Price category"
FROM "Production"."Products"
```

Notation 2.8. Использование функций

Функции форматирования и преобразования	Поддержка приведения и преобразования типов данных	CAST, TO_CHAR, TO_DATE, TO_NUMBER, TO_TIMESTAMP
Логические функции	Выполнение логических операций	NULLIF, GREATEST, LEAST
Функции даты и времени	Выполняют операции над значениями даты и времени	AGE, NOW, CURRENT_DATE, CURRENT_TIME, LOCALTIME, DATE_PART, DATE_TRUNC, MAKE_DATE, EXTRACT
Строковые функции	Выполняют операции со строковыми (char и varchar) значениями	CONCAT, CONCAT_WS, FORMAT, LEFT, LENGTH, LOWER, LTRIM, REPLACE, REGEXP_REPLACE, REVERSE, RIGHT, RTRIM, SUBSTRING, TRIM, UPPER
Математические функции	Выполняют вычисления, основанные на числовых значениях	ABS, CEILING, FLOOR, POWER, ROUND, SQRT, TRUNC
Функции для перечислений	Используются для работы с типами перечислений (ENUM)	ENUM_FIRST, ENUM_LAST, ENUM_RANGE

2.3 Сортировка данных

Notation 2.9. Использование ORDER BY

ORDER BY сортирует записи в результирующем наборе. Без ORDER BY порядок записей результирующей выборки не гарантируется. Сортирует все NULL значения вместе. ORDER BY может ссылаться на:

- Имя столбца, псевдоним или позицию столбца в результирующей выборке (не рекомендуется)
- Результат выражения
- Столбцы, не используемые в результирующей выборке (если не используется DISTINCT)

ORDER BY не поддерживается в инструкциях SELECT/INTO

Example 2.7. Пример использования ORDER BY

```
SELECT companyname, contactname
FROM "Sales"."Customers" c
ORDER BY country ASC, city desc;
```

```
SELECT custid, orderdate
FROM "Sales"."Orders" o
ORDER BY DATE_PART('year', orderdate) DESC;
```

Notation 2.10. Фильтрация с помощью LIMIT*

Ограничивает число строк, возвращаемых в результирующем наборе

- `integer_expression` – число или числовое выражение, определяющее количество возвращаемых строк
- `ALL` – равносильно отсутствию указания `LIMIT`
- `OFFSET` – указывает число строк, которые необходимо пропустить, прежде чем начать выдавать строки
- Для получения предсказуемого и согласованного результата необходимо использовать фильтрацию отсортированного набора `ORDER BY`

Example 2.8. Фильтрация с помощью LIMIT

```
SELECT productname, unitprice
FROM "Production"."Products"
WHERE unitprice <= 40::money
ORDER BY unitprice DESC
limit 3;
```

Notation 2.11. Фильтрация в ORDER BY с помощью OFFSET-FETCH

OFFSET-FETCH – это расширение ORDER BY. Позволяет отфильтровать требуемый диапазон строк. Предоставляет механизм для разбиения результирующего набора на страницы

Определяет количество строк, которые необходимо

- Пропустить – OFFSET (может быть ноль, если не нужно пропускать строки)
- Вернуть – FETCH (должно быть больше или равно единице)

Если FETCH опущено – возвращаются все записи до конца набора

WITH TIES – вернуть дополнительные строки, с точки зрения ORDER BY совпадающие с последней строкой набора результатов

Example 2.9. Фильтрация с помощью OFFSET-FETCH

```
SELECT orderid , custid , orderdate
FROM "Sales"."Orders" o
ORDER BY orderdate DESC
OFFSET 50 ROWS FETCH FIRST 50 ROWS ONLY;
```

Notation 2.12. Фильтрация дубликатов

SELECT DISTINCT используется для возврата только уникальных записей: удаляет дубликаты, базируясь на результирующем списке столбцов (не на основе таблицы-источника); работает с записями уже обработанными в выражениях WHERE, HAVING и GROUP BY; NULL значения уникальны

Definition 2.2. DISTINCT ON

DISTINCT ON отличается от DISTINCT тем, что определяет уникальность записей не по всем полям, а только указанным. Строки с одинаковыми значениями выражений считаются дублирующимися и возвращается только первая строка. Обработка DISTINCT ON производится после сортировки ORDER BY

2.4 Фильтрация записей

Definition 2.3. Фильтрация исходных записей – WHERE

Содержит логическое условие: записи, для которых условие возвращает TRUE – попадают в результирующую выборку; FALSE и UNKNOWN – отфильтровываются
В предложении WHERE не доступны псевдонимы столбцов
Данные фильтруются на стороне сервера. Оптимизация за счет использования индексов, снижение нагрузки на сеть и использование памяти на клиенте

Notation 2.13. Операторы сравнения

Оператор	Описание	Пример
< > = <= >= <> !< !> !=	Операторы сравнения	Name != 'Vasia' или Name <> 'Vasia'
~ и !~	Проверка соответствия строки регулярному выражению POSIX с учетом регистра	'Thomas' ~ '.*thomas.*' → False
~* и !~*	Проверка соответствия строки регулярному выражению POSIX без учета регистра	'Thomas' ~* '.*thomas' → True

Notation 2.14. Предикативные операторы

Оператор	Описание	Пример
BETWEEN/NOT BETWEEN	Проверка по диапазону	orderdate BETWEEN '2006-07-05' AND '2006-07-25'
IN/NOT IN	Проверка на основе списка	Price IN (50, 125, 253, 264)
LIKE/NOT LIKE	Сравнение строк по маске с учетом регистра	City LIKE 'London'
ILIKE/NOT ILIKE	Сравнение строк по маске без учета регистра	City ILIKE 'london'
SIMILAR TO/NOT SIMILAR TO	Сравнение строк по шаблону на основе регулярных выражений в стандарте SQL	'abc' SIMILAR TO '%(b d)%'
IS NULL/IS NOT NULL	Проверка на наличие/отсутствие NULL значений	region IS NOT NULL
IS DISTINCT FROM/IS NOT DISTINCT FROM	Проверка на неравенство/равенство заданному значению. При этом NULL воспринимается как обычное значение	region IS DISTINCT FROM 'WA'

Example 2.10. Использование операторов сравнения

```
SELECT productname, unitprice
FROM "Production"."Products" p
WHERE discontinued != 1::bit;
```

Example 2.11. Фильтрация с использованием логических операторов

Приоритет логических операторов – NOT, AND, OR

Если два оператора в выражении имеют один и тот же уровень приоритета, они вычисляются в порядке слева направо по мере их появления в выражении

Чтобы изменить приоритет операторов в выражении, следует использовать скобки

```
SELECT *
FROM "Production"."Products" p
WHERE categoryid = 1 OR categoryid = 2 AND unitprice >= 40::money;
```

Example 2.12. Фильтрация NULL значений

NULL значения используются для маркировки отсутствующих значений (missing values)

Для корректно обработки необходимо использовать предикаты:

- IS NULL (ISNULL) или IS NOT NULL (NOTNULL)
- IS DISTINCT FROM (!=) или IS NOT DISTINCT FROM (=)

```
SELECT companyname, region
FROM "Sales"."Customers" c
WHERE region IS NULL;
```

```
SELECT companyname, region
FROM "Sales"."Customers" c
WHERE region IS DISTINCT FROM 'WA';
```

Example 2.13. Проверка на принадлежность диапазону

Границы диапазона включены. Для задания исключающего диапазона используйте операторы больше (>) и меньше (<)

Если любой параметр предиката BETWEEN или NOT BETWEEN имеет значение NULL, результат не определен (UNKNOWN)

```
SELECT productname, unitprice
FROM "Production"."Products" p
WHERE unitprice BETWEEN 30::money AND 38::money;
```

Example 2.14. Проверка на принадлежность множеству

Определяет, совпадает ли указанное значение с одним из значений, содержащихся во вложенном запросе или списке

Использование значений NULL с предикатами IN/NOT IN может привести к непредвиденным результатам

```
SELECT productname, unitprice
FROM "Production"."Products" p
WHERE unitprice IN (22::money, 30::money, 32::money, 38::money);
```

Example 2.15. Проверка на соответствие шаблону

```
match_expression [NOT] LIKE pattern [ESCAPE escape_character]
match_expression [NOT] ILIKE pattern [ESCAPE escape_character]
```

Example 2.16. Фильтрация по шаблону

```
SELECT custid, contactname, contacttitle
FROM "Sales"."Customers" c
WHERE contacttitle LIKE '%Manager';
```

```
SELECT custid, contactname, contacttitle
FROM "Sales"."Customers" c
WHERE contactname LIKE 'C%' OR contactname LIKE 'L%';
```

Example 2.17. Сопоставление с началом строки

```
SELECT custid, contactname, contacttitle
FROM "Sales"."Customers" c
WHERE start_with(contactname, 'L');
```

```
SELECT custid, contactname, contacttitle
FROM "Sales"."Customers" c
WHERE contactname ^@ 'C' OR contactname ^@ 'L';
```


Notation 2.15. Символы шаблона POSIX

.	любой один символ
[...]	любой один символ в диапазоне или наборе
[^ ...]	любой один символ, не входящий в диапазон или набор
*	повторение предыдущего элемента 0 и более раз
+	повторение предыдущего элемента 1 и более раз
?	вхождение предыдущего элемента 0 или 1 раз
{m}	ровно m вхождений предыдущего элемента
{m, }	m и более вхождений предыдущего элемента
{m, n}	от m до n вхождений предыдущего элемента
()	объединение нескольких элементов в одну логическую группу
	выбор (одного из двух вариантов)
	привязывает шаблон к началу строки
\$	привязывает шаблон к концу строки

Notation 2.16. Проверка на соответствие шаблону POSIX

Возвращает true или false в зависимости от того, соответствует ли данная строка шаблону или нет. Шаблоны соответствуют определению регулярных выражений в стандарте SQL. Регулярные выражения SQL представляют собой гибрид синтаксиса LIKE с синтаксисом обычных регулярных выражений POSIX

Условие SIMILAR TO истинно, только если шаблон соответствует всей строке. Это отличается от условий с регулярными выражениями, в которых шаблон может соответствовать любой части строки

Example 2.18. Фильтрация с помощью SIMILAR TO

```
SELECT custid, contactname, contacttitle
FROM "Sales"."Customers" c
WHERE contactname SIMILAR to 'S(i|m)%';
```

```
SELECT custid, contactname, contacttitle
FROM "Sales"."Customers" c
WHERE contactname NOT SIMILAR to '[^B-R]%';
```

Notation 2.17. Операторы регулярных выражений POSIX

Оператор	Описание	Пример
~	Проверка соответствия строки регулярному выражению с учетом регистра	'thomas' ~ 't.*ma'
~*	Проверка соответствия строки регулярному выражению без учета регистра	'thomas' ~* 'T.*ma'
!~	Проверка несоответствия строки регулярному выражению с учетом регистра	'thomas' !~ 't.*ma'
!~*	Проверка несоответствия строки регулярному выражению без учета регистра	'thomas' !~* 'T.*ma'

Example 2.19. Фильтрация с использованием операторов регулярных выражений

```
SELECT region
FROM "Sales"."Customers" c
WHERE region ~ '.*ra$';
```

```
SELECT companyname, contactname, city
FROM "Sales"."Customers" c
WHERE contactname ~ '^(B|K|S).*(e|k)$';
```

2.5 Массивы

Definition 2.4. Массивы

Многомерные массивы переменной длины

Элементами массивов могут быть:

- Любые встроенные или определенные пользователями базовые типы
- Перечисления, составные типы, типы-диапазоны или домены

Для объявления типа массива

- К названию типа элементов добавляются квадратные скобки
- Запись с ключевым словом ARRAY

Example 2.20.

```
integer [3]
integer ARRAY[3]
integer ARRAY
```

Example 2.21. Определение массива

```
SELECT '{1,2,3,4,5}'::integer [], ARRAY[1,2,3]::integer [];

SELECT '{{1,2},{3,4}}'::integer [], ARRAY[[1,2],[3,4]]::integer [];
```

Example 2.22. Добавление элементов в массив

Добавление элементов в массив:

- Оператор || (конкатенация)
- Функция array_append(массив, элемент)
- Функция array_prepend(элемент, массив)

```
SELECT '{1,2,3,4}'::integer [] || 5,
       array_append('{1,2,3,4}'::integer [], 5),
       array_prepend(5, '{1,2,3,4}'::integer []);
```

Example 2.23. Удаление и изменение элементов массива

Удаление элементов из массива: функция array_remove(массив, значение элемента)

Изменение элемента массива: функция array_replace(массив, старое значение, новое значение)

```
SELECT array_remove('{1,2,3,4}'::integer [], 3),
       array_replace('{1,2,3,4}'::integer [], 2, 5);
```

Example 2.24. Извлечение элементов массива

Индексация элементов массива начинается с 1

Для извлечения одного элемента массива – необходимо указать его номер в []

Для извлечения нескольких элементов из массива – необходимо в [] указать номер первого элемента и номер последнего извлекаемого элемента разделенные символом двоеточие

```
select ('{"(921)–745–8965","(908)–567–78234",
        "(911)–745–8512","(812)–750–8965"}'::text [])[2];
```

Example 2.25. Проверка на вхождение в массив

Для проверки вложенности элементов одного массива в состав элементов другого массива используются операторы вложенности массивов (<@, @>)

Один массив считается вложенным в другой, если каждый элемент первого встречается во втором. Повторяющиеся элементы рассматриваются на общих основаниях

```
select '{(408)–567–78234}'::text [] <@ '{(408)–745–8965","(408)–567–78234}"'::text;
```

Для проверки вхождения литерала в массив используется оператор ANY (SOME)

```
SELECT 10 = SOME (ARRAY[192, 168, 10, 10]);
```

Example 2.26. Разворачивание массива в набор записей

Чтобы представить элементы массива в виде значений некоторого столбца необходимо воспользоваться функцией UNNEST (ANYARRAY)

```
SELECT UNNEST(ARRAY[100, 110, 153, 500]) as prodid,
       50000::money as price,
       '2022–10–20' as change_date;
```

Example 2.27. Пример использования массива

```
select contactname,
       split_part(contactname, ',', 1) as "Lname",
       trim((string_to_array(contactname, ',')[2]) as "Fname"
from "Sales"."Customers";
```

2.6 Типы JSON

Definition 2.5. JSON

JSON (JavaScript Object Notation) – текстовый формат обмена данным, основанный на JavaScript. Как и многие другие текстовые форматы, JSON легко читается людьми. Формат JSON был разработан Дугласом Крокфордом

Несмотря на происхождение от JavaScript (точнее, от подмножества языка стандарта ECMA-262 1999 года), формат считается независимым от языка и может использоваться практически с любым языком программирования

Для многих языков существует готовый код для создания и обработки данных в формате JSON

Notation 2.18. Структура JSON-данных

JSON – текст, имеющий одну из двух структур:

- Ключ – может быть только строка (регистрозависимость не регулируется стандартом, это остается на усмотрение программного обеспечения)
- Значение – любая допустимая форма

Упорядоченный набор значений. Во многих языках это реализовано как массив, вектор, список или последовательность

Notation 2.19. Значения JSON

В качестве json значений могут выступать:

- Запись – неупорядоченное множество пар ключ:значение, заключенное в фигурные скобки. Пары ключ-значение отделяются друг от друга запятыми
- Массив (одномерный) – это упорядоченное множество значений. Массив заключается в квадратные скобки. Значения разделяются запятыми. Массив может быть пустым. Значение в пределах одного массива могут иметь разный тип
- Число (целое или вещественное)
- Литералы (в нижнем регистре) true, false и null
- Строка – это упорядоченное множество из нуля или более символов юникода, заключенное в двойные кавычки. Поддерживаются строковые константы со спецпоследовательностями в стиле C и строковые константы со спецпоследовательностями Unicode

Notation 2.20. Типы данных JSON

Предназначены для сохранения и обработки данных в формате JSON в БД PostgreSQL. Существует два типа данных для работы с JSON, которые отличаются способом хранения данных и способом работы с ними: json и jsonb

Remark 2.8. json

Использует текстовый формат хранения JSON-данных, который позволяет хранить только простые типы данных JSON: строки, числа, логические значения, null и массивы или объекты, состоящие только из этих типов

При хранении данных типа json не происходит никакой оптимизации – высокая скорость записи

- Сохраняет порядок следования ключей и повторяющиеся значения ключей, при этом функции обработки будут считать действительной последнюю пару
- Любые изменения в данных приводят к перезаписи всей строки JSON
- При использовании выполняется полный разбор – низкая скорость обработки

Remark 2.9. jsonb

Использует бинарный формат хранения JSON-данных, который позволяет хранить все типы данных JSON, включая вложенные объекты и массивы, а также дополнительные типы данных, такие как булевы значения, даты и времена итд

Бинарный формат данных jsonb позволяет эффективно хранить, индексировать и быстро выполнять запросы к данным в формате JSON:

- Разбор производится однократно при сохранении – низкая скорость сохранения
- Ключи не дублируются
- Отсортированы по длине и ключу
- При изменении данных не требует перезаписи всей строки JSON, а лишь тех частей, которые изменились
- При использовании разбор не выполняется – высокая скорость обработки

Remark 2.10. ВАЖНО!

PostgreSQL позволяет использовать только одну кодировку символов в базе данных. Если кодировка базы данных не UTF-8:

- Данные JSON не будут полностью соответствовать спецификации
- Нельзя будет вставить символы, непредставимые в кодировке сервера
- Допустимыми будут символы, представимые в кодировке сервера, но не в UTF-8

Example 2.28. Примеры json данных

- Числа, строки в двойных кавычках, true и false (в нижнем регистре) или null
`SELECT '5 '::json , '"Post "'::json , 'true '::json , 'null '::json ;`
- Массив из нуля и более элементов (элементы могут быть разных типов)
`SELECT '[1 , 2 , "foo " , null] '::json ;`
- Объект, содержащий пары ключей и значений (ключи объектов – всегда строки в двойных кавычках)
`SELECT '{ "cheef ":" Ivan " , "Empl ":[" Svetlana " , " Eugen "] } '::jsonb ;`

Definition 2.6. Функции-конструкторы

Для формирования json можно использовать специализированные функции:

- to_json(anyelement) и to_jsonb(anyelement)
- jsonb_build_object(VARIADIC "any") и jsonb_build_array(VARIADIC "any")
- array_to_json(anyarray [, pretty_bool])
- row_to_json(record [, pretty_bool])
- json_object(keys text[], values text[]) и jsonb_object(keys text[], values text[])

Example 2.29. Извлечение значений по индексу и имени ключа

Получение элементов массива по индексу (индексация элементов начинается с 0. Отрицательные числа задают позиции с конца)

```
SELECT '[{"a":"foo"}, {"b":"bar"}]'::json -> 2;  
SELECT '[{"a":"foo"}, {"b":"bar"}]'::jsonb ->> -1;
```

Получение значения по имени ключа

```
SELECT '{"cheef":"Ivan", "Empl":["Svetlana","Eugen"]}'::json -> 'cheef';  
SELECT '{"cheef":"Ivan", "Empl":["Svetlana","Eugen"]}'::jsonb ->> 'Empl';
```

Example 2.30. Проверка наличия ключа верхний уровень (jsonb)

Типы данных json или jsonb не требуют задавать структуру объектов, т.е. конкретные имена ключей и типы значений. Может потребоваться выполнить проверку наличия соответствующего ключа. Сделать это можно только для типа данных jsonb

```
SELECT '[{"a":"foo"}, {"b":"bar"}]'::jsonb ? 'b';
```

Example 2.31. Извлечение элементов по пути

Для извлечения элементов можно использовать указание пути

- #> – результат json/jsonb
- #» – результат текст

Example 2.32. Проверка вхождения по пути (jsonb)

Для проверки наличия пути/значения используется оператор @> (<@)

```
SELECT '{"a":1, "b":2}'::jsonb @> '{"b":2}'; —true
```

Notation 2.21. Функции

- `json_extract_path` – возвращает значение JSON по пути, заданному элементами пути (`#>`)
- `json_extract_path_text` – возвращает значение JSON по пути, заданному элементами пути, как `text` (`#»`)
- `jsonb_path_exists` – выполняет поиск ключа как на заданном уровне, так и на произвольном
- `jsonb_path_match` – выполняет проверку предиката пути JSON для заданного значения JSON
- `jsonb_strip_nulls` – удаления ключей с NULL-значениями

Notation 2.22. Изменение `json` и `jsonb`

- Добавление/изменение элементов (`jsonb_set`)
- Удаление элементов (`-`)

2.7 Встроенные функции

Notation 2.23. Типы функций

- Обзор встроенных функций
- Функции для работы с текстом
- Функции для работы с датой/временем
- Функции для работы с числами
- Функции преобразования и форматирования
- Функции для работы с NULL
- Системные информационные функции

Notation 2.24. Обзор встроенных функций

PostgreSQL предоставляет широкий набор встроенных функций, работающих со встроенными типами данных

Все встроенные функции разделяются на стандартные функции SQL92 и функции в стиле PostgreSQL

- В функциях SQL92 аргументы разделяются специальными ключевыми словами SQL (такими, как FROM, FOR, USING)
- Функции в стиле PostgreSQL получают аргументы, разделенные запятыми

Внимание: круглые скобки не обязательны только для ряда функций SQL92

Notation 2.25. Использование вложенных функций

Вызовы функций могут быть вложенными: тип данных, возвращаемый внутренней функцией должен быть совместим с типом соответствующего аргумента внешней функции

Допускается вложение вызовов на произвольную глубину

Definition 2.7. Строковые функции

В PostgreSQL существует множество разнообразных строковых функций, предназначенных для форматирования, анализа и сравнения строк. Под строками в данном контексте подразумеваются значения типов `character`, `character varying` и `text`

Notation 2.26. Строковые функции

- `char_length('string')`
- `character_length('string')`
- `length('string')`
- `lower('string')`
- `upper('string')`
- `strpos('string', 'substring')`
- `position('substring' in 'string')`
- `subst('string', from_int[, count_int])`
- `substring('string' [from int] [for int])`
- `substring('string' from 'шаблон POSIX')`
- `substring('string' from 'шаблон SQL' for 'символ')`
- `regexp_matches('string', 'шаблон POSIX')`
- `repeat('string', count_int)`
- `reverse('string')`
- `trim([leading|trailing|both]['characters'] from 'string')`
- `ltrim('string', 'characters')`
- `rtrim('string', 'characters')`
- `right('string', count_int)`
- `left('string', count_int)`
- `concat(arg1 [,arg2[,...]])`
- `concat_ws('separator',arg1[,arg2[,...]])`
- `replace('string','old text','new text')`
- `translate('string','old text','new text')`
- `overlay('string' placing 'substring' from int [for int])`
- `regexp_replace('string','шаблон POSIX','replacement')`
- `split_part('string' text, 'delimiter', item_int)`
- `regexp_split_to_array('string','шаблон POSIX')`

Notation 2.27. Использование шаблонов

Для определения шаблонов в PostgreSQL поддерживаются два типа регулярных выражений:

- Регулярные выражения в стиле SQL
- Регулярные выражения POSIX

Notation 2.28. Регулярные выражения в стиле SQL

Для определения шаблона в стиле SQL используются:

- `_` – любой один символ – `'_етров' => 'Ветров', 'Петров' и т.д.`
- `%` – любая строка, содержащая ноль или более символов – `'компьютер%' => 'компьютер', 'компьютеры', 'компьютерный' и т.д.`

Definition 2.8. Функция format

Функция format выдает текст, отформатированный в соответствии со строкой формата

```
format(formatstr text [, formatarg "any" [, ...]])
```

formatstr – спецификатор формата

- позиция – строка вида n\$, где n – индекс выводимого аргумента. Если позиция опускается, по умолчанию используется следующий аргумент по порядку
- Флаги – поддерживается только знак минус, который выравнивает результат спецификатора по левому краю если определена ширина
- Ширина – минимальное число символов, которое будет занимать результат данного спецификатора
- Тип спецификатора – определяет преобразование соответствующего выводимого значения
 - S – строка
 - I – SQL-идентификатор, при необходимости заключается в кавычки
 - L – значение аргумента заключается в апострофы, как строка SQL

Notation 2.29. Функции даты/времени

- age(timestamp)
- age(timestamp, timestamp)
- current_date
- current_time
- current_time(integer)
- current_timestamp
- current_timestamp(integer)
- clock_timestamp()
- now()
- localtime
- localtimestamp
- date_trunc('part', timestamp)
- date_trunc(text, interval)
- date_trunc('part', timestamp with time zone, 'time_zone_name')
- date_part('part', timestamp)
- date_part('part', interval)
- extract(part from timestamp)
- extract (part from interval)
- make_date(year int, month int, day int)
- make_time(hour int, min int, sec double precision)
- make_timestamp(year int, month int, day int, hour int, min int, sec double precision)

Example 2.33. Часовые пояса (timezone names)

```
select name, abbrev, uct_offset  
from pg_timezone_names;
```

```
SELECT TIMESTAMP '2022-02-16 20:38:40' AT  
TIME ZONE 'America/Denver';
```

```
select date_trunc('day', timestamptz '2022-10-16 20:38:40+00', 'Australia/Syd  
date_trunc('day', timestamptz '2022-10-16 20:38:40+00', 'US/Samoa');
```

Example 2.34. Функции даты/времени

```
SELECT age('2022-06-25 12:34'::timestamp),  
       clock_timestamp( ),  
       clock_timestamp( );
```

```
SELECT extract(hour from timestamp '2001-02-16 20:38:40'),  
       date_part('hour', timestamp '2001-02-16 20:38:40');
```

Notation 2.30. Математические функции

- random()
- ceil(dp/numeric)
- ceiling(dp/numeric)
- floor(dp/numeric)
- round(dp/numeric)
- round(v numeric, s integer)
- trunc(dp/numeric)
- trunc(v numeric, s integer)
- power(a dp, b dp)
- power(a numeric, b numeric)
- abs(x)
- div(y numeric, x numeric)
- mod(y, x)
- sqrt(dp/numeric)
- cbrt(dp)

Definition 2.9. Преобразование типов

Для явного преобразования типов используется

- Функция CAST (стандарт SQL) – CAST(выражение AS type)
- Конструкция :: (PostgreSQL) – выражение::type
- Синтаксис функций приведения к типу – typename(выражение). Будет работать только для типов, имена которых являются допустимыми именами функций!

Remark 2.11. Внимание

Приведение будет успешным, только если определен подходящий оператор преобразования типов

Явно приведение типа можно опустить, если возможно однозначно определить, какой тип должно иметь выражение (неявное преобразование)

Запись typename 'string' можно использовать только для указания типа простой текстовой константы; она не работает для массивов

Notation 2.31. Функции форматирования

Функция	Описание	Пример
<code>to_char(timestamp, text)</code>	Преобразует время в текст	<code>to_char(current_timestamp, 'HH12:MI:SS')</code>
<code>to_char(interval, text)</code>	Преобразует интервал в текст	<code>to_char(interval '15h 2m 12s', 'HH24:MI:SS')</code>
<code>to_char(int, text)</code>	Преобразует целое число в текст	<code>to_char(125, '999')</code>
<code>to_char(double precision, text)</code>	Преобразует плавающее одинарной/двойной точности в текст	<code>to_char(125.8::real, '999D9')</code>
<code>to_char(numeric, text)</code>	Преобразует числовое значение в текст	<code>to_char(-125.8, '999D99S')</code>
<code>to_date(text, text)</code>	Преобразует текст в дату	<code>to_date('05 Dec 2000', 'DD Mon YYYY')</code>
<code>to_number(text, text)</code>	Преобразует текст в число	<code>to_number('12,454.8-', '99G999D9S')</code>
<code>to_timestamp(text, text)</code>	Преобразует строку во время	<code>to_timestamp('05 Dec 2000', 'DD Mon YYYY')</code>

Definition 2.10. Функции для работы с NULL

Функция COALESCE возвращает первый попавшийся аргумент, отличный от NULL. Если же все аргументы равны NULL, результатом тоже будет NULL

Функция NULLIF выдает значение NULL, если значение1 равно значению2; в противном случае она возвращает значение1. Это может быть полезно для реализации обратной операции к COALESCE

Notation 2.32. Функции получения информации о сеансе

Имя	Тип рез.	Описание
current_catalog current_database()	name	Имя текущей базы данных (в стандарте SQL она называется каталогом)
current_user current_role	name	Имя пользователя в текущем контексте выполнения
session_user	name	Имя пользователя сеанса
current_schema[()]	name	Имя текущей схемы
pg_backend_pid()	int	Код серверного процесса, обслуживающего текущий сеанс
pg_blocking_pids(int)	int[]	Идентификаторы процессов, не дающих серверному процессу с определенным ID получить блокировку
version()	text	Информация о версии PostgreSQL

2.8 Физическое хранение БД. Низкий уровень

Notation 2.33. Физическое хранение базы данных

Для каждой БД существует подкаталог внутри каталога ТП по умолчанию (PGData/base) и каталогов ТП, в которых размещены объекты БД: име подкаталога = OID БД (pg_database). Этот подкаталог – по умолчанию место хранения файлов БД

Все файлы объектов одной БД, принадлежащих одному табличному пространству, будут помещены в один каталог

Notation 2.34. Идентификация файлов связанных с таблицами и индексами

Каждый объект БД, хранящий данные (таблица, индекс, последовательность, материализованное представление), представляет собой набор файлов, расположенных в каталоге БД

Каждый объект имеет уникальный идентификатор объекта БД – OID

Файлы идентифицируются с помощью relfilenode. Значение relfilenode таблиц и индексов изначально совпадают с соответствующими OID. Выполнение команд TRUNCATE, REINDEX, CLUSTER – изменяет значения relfilenode таблиц и индексов

Notation 2.35. Типы файлов (слои)

Каждой объекту БД, хранящему данные, соответствует несколько типов файлов (слоев):

- Основной слой (main) – данные
- Слой инициализации (init)
- Карта свободного пространства (fsm – free space map)
- Карта видимости (vm – visibility map)

Каждый тип файла содержат определенный вид данных

Каждый слой состоит из одного или нескольких файлов-сегментов размером до 1Гб. Когда размер файла превышает 1Гб, PostgreSQL создает новый файл с именем relfilenode.1. Изменение размера сегмента (–with-segsize) – только при сборке

Notation 2.36. Слои данных

Основной слой (main) – это данные: версии строк таблиц или строки индексов. Существует для всех объектов, хранящих данные. Имена файлов состоят только из идентификатора – relfilenode, relfilenode.1 ...

Слой инициализации (init) – существует только для нежурналируемых таблиц (UNLOGGED) и их индексов:

- Действия над такими таблицами не записываются в WAL-log
- При восстановлении (recovery) PostgreSQL удаляет все слои таких объектов и записывает слой инициализации на место основного слоя (получается пустая таблица)
- Имена файлов имеют окончание _init – relfilenode_init

Notation 2.37. Организация данных в куче

Файлы разделены на страницы (блоки). Страница по умолчанию имеет размер 8Кб. Изменение размера блока (`-with-blocksize`) – только при сборке (16Кб или 32Кб). Собранный и запущенный кластер может работать со страницами только одного размера. Табличные данные на страницах файла хранятся неупорядоченно – куча (HEAP). Записи (Tuple) кучи идентифицируются с помощью TID – tuple id. TID состоит из номера файла, номера блока в файле и позиции строки внутри блока.

Для получения доступа к записям используется система указателей, размещаемых в начале страниц. Указатели имеют фиксированный размер (4 байта). Наличие указателей позволяет перемещать строку внутри страницы, не ломая индексные ссылки.

Кортеж идентифицируется внутренним идентификатором кортежа (TID): номер страницы, номер указателя строки.

Notation 2.38. Структура страницы

Страница разделена на области. Границы областей страницы записаны в ее заголовке:

- 0 – начало заголовка страницы
- 24 – начало указателей на версии строк
- lower – начало свободного места
- upper – начало данных (версий строк)
- special – начало специальных данных (только для индексов)
- pagesize – конец страницы

Notation 2.39. Структура версии строки

Все версии строк таблицы имеют одинаковую структуру:

- Заголовок фиксированного размера – 23 байта
- Необязательная битовая карта пустых (NULL) значений
- Необязательное поле идентификатора объекта
- Пользовательские данные

Заголовок содержит служебную информацию:

- `t_xmin` – идентификатор транзакции (XID), создавшей кортеж
- `t_xmax` – идентификатор транзакции, удалившей кортеж
- `t_cid` – идентификатор команды внутри транзакции (CID), создавшей и/или удалившей кортеж
- `infomask` – набор служебных битов (флагов), определяющих свойства версии
- `ctid` – внутренний указатель на более новую версию кортежа. У самой новой (актуальной) версии строки `ctid` ссылается на саму эту версию

Notation 2.40. Инспектирование страниц

Для получения информации о структуре и содержании страниц используется стандартное расширение `pageinspect`

При установке расширения становятся доступны функции, позволяющие исследовать страницы баз данных на низком уровне:

- `get_raw_page(relname text, blkno int)` – возвращает содержимое указанной страницы из основного слоя в `bytea`
- `page_header(page bytea)` – возвращает набор полей заголовка указанной страницы
- `heap_page_items(page bytea)` – возвращает кортежи, их заголовки и содержимое `ItemIdData` указанной страницы
- `page_checksum(page bytea, blkno int4)` – возвращает контрольную сумму указанной страницы

Notation 2.41. Просмотр содержимого заголовка

Получение информации из заголовка нулевой страницы из таблицы `pg_class`

Получение контрольной суммы 0-й страницы, которая должна была бы находиться в заданном блоке

Notation 2.42. Служебные слои

Карта свободного пространства (`fsm`) – `free space map`

- Хранит информацию об объеме свободного места на страницах после очистки
- Используется при вставке новых версий строк
- Имена файлов имеют окончание `_fsm` – `relfilenode_fsm`, `relfilenode_fsm.1`
- Существует для всех объектов

Notation 2.43. Служебные слои

Карта видимости (`vm`) – битовая карта видимости. Появляется только после выполнения очистки. Отмечает чистые страницы, на которых все версии строк видны во всех снимках. Существует только для таблиц

Используется для оптимизации работы процесса очистки (отмеченные страницы не нуждаются в очистке); ускорения индексного доступа

Имена файлов имеют окончание `_vm` – `relfilenode_vm`. Начиная с версии 9.6 в этом же слое хранится и карта заморозки

2.9 Хранение больших данных

Notation 2.44. Хранение длинных строк

Физический размер одной записи не может занимать больше одной страницы данных. Для длинных версий строк, размер которых превышает 2Кб, автоматически применяется технология TOAST – The Oversize Attributes Storage Technique: PostgreSQL сжимает и/или разбивает на несколько физических строк и выносит значения поля за пределы таблицы. Это происходит незаметно для пользователя и на большую часть кода сервера влияет незначительно.

Для каждой таблицы с потенциально большими полями автоматически создается отдельная TOAST-таблица (и к ней специальный индекс)

Notation 2.45. TOAST-таблица

Каждая TOAST-таблица содержит разделенные на части (chunk) длинные атрибуты записи основной таблицы. Запись в основной таблице будет содержать указатель (chunk_id), указывающий на нужный фрагмент в TOAST-таблице. Одному chunk_id может соответствовать несколько строк TOAST-таблице.

TOAST-таблица состоит из 3 столбцов:

- chunk_id – номер чанка, на который ссылается куча
- chunk_seq – номер каждого сегмента чанка
- chunk_data – часть данных каждого сегмента

TOAST-таблица читается только при обращении к длинному атрибуту. Собственная версионность: если обновление данных не затрагивает длинное значение, новая версия строки будет ссылаться на то же самое значение в TOAST-таблице.

TOAST-таблица для базовой таблицы – в схеме pg_toast, для временной – в схеме pg_toast_temp

Notation 2.46. Параметры TOAST

Код обработки TOAST срабатывает, когда размер записи превышает toast_tuple_threshold байт (по умолчанию 2Кб).

Параметр toast_tuple_target указывает до какого размера в байтах TOAST должен пытаться сжать запись (по умолчанию 2Кб). Значение данного параметра можно переопределить на уровне таблицы.

Ни toast_tuple_threshold, ни toast_tuple_target не являются жестким ограничением на максимальный размер кортежа.

Notation 2.47. Стратегия обработки больших данных

Атрибут STORAGE столбца таблицы определяет стратегию обработки:

- plain – TOAST не применяется (тип имеет фиксированную длину)
- main – приоритет сжатия. Отдельное хранение – как крайняя мера
- extended – допускается как сжатие, так и отдельное хранение
- external – только отдельное хранение без сжатия. Этот режим можно использовать для повышения производительности (избегая сжатия/распаковки) за счет более высокого потребления дискового пространства

Notation 2.48. TOAST-able типы данных

Стратегия хранения конкретного типа данных определяет стратегию обработки. Информация о типе данных и его характеристики хранится в таблице `pg_catalog.pg_type`.

Стратегии хранения:

- `p` = PLAIN
- `x` = EXTENDED
- `e` = EXTERNAL (по умолчанию эта стратегия не используется ни для каких типов данных)
- `m` = MAIN

Notation 2.49. TOAST

PostgreSQL стремится к тому, чтобы на странице помещалось хотя бы 4 строки. Если размер строки превышает $\frac{1}{4}$ страницы с учетом заголовка, к части значений необходимо применить TOAST:

1. Анализ атрибутов со стратегиями `external` и `extended`
 - Extended-атрибуты пытается сжать и, если значение превосходит $\frac{1}{4}$ страницы, оно отправляется в TOAST-таблицу
 - External-атрибуты обрабатываются так же, но не сжимаются
2. Если это не помогло, осуществляется попытка сжать атрибуты со стратегией `main`, оставив их на табличной странице
3. Если строка все равно недостаточно коротка, `main`-атрибуты отправляются в TOAST-таблицу

Remark 2.12. Особенность

Если при определении столбцов таблицы PostgreSQL видит, что размер строки не может превысить `TOAST_TUPLE_THRESHOLD`, TOAST-таблица не создается.

Если вы смените тип какого-либо столбца, в результате чего размер записи увеличится – будет создана TOAST-таблица.

Если снова сменить тип – СУБД удалит TOAST-таблицу.

Notation 2.50. Алгоритмы сжатия

Для сжатия строк поддерживается два алгоритма:

- PGLZ – используется по умолчанию
- LZ4 – доступен, если PostgreSQL был собран с флагом `-with-lz4`

LZ4 сжимает данные хуже других алгоритмов, но он очень быстрый.

Особенность PGLZ – если ему не удастся сжать первые 1024 байта входных данных, алгоритм сдаётся и говорит, что эти данные несжимаемые. Если у вас какие-то особые данные, первые байты которых плохо сжимаются, имеет смысл дописать к ним в начале нулевых байт.

2.10 Планировщик запросов

Definition 2.11. Планировщик запросов

В PostgreSQL используется планировщик запросов, основанный на стоимости. Основная задача – построение плана выполнения запроса с наименьшей оценочной стоимостью выполнения.

- Объем ресурсов ОП
- Объем ресурсов ЦП
- Для приложений работающих с OLTP БД скорость выполнения запроса не должна превышать десятки миллисекунд (в худшем случае сотни миллисекунд)

Планировщик при построении плана выполнения запроса:

- Использует статистические данные оценивает селективность предикатов
- Выполняет анализ различных методов доступа к данным
- Для многотабличных запросов выполняет анализ способов соединений наборов записей

Notation 2.51. Селективность предикатов

Предикаты – выражения, которые оцениваются как истинные или ложные. Используются в предложениях JOIN, WHERE, HAVING.

Избирательность (селективность) предикатов

- Процент строк таблицы, соответствующих предикату
- Высокая избирательность = низкий процент возвращаемых строк
- Низкая избирательность = высокий процент возвращаемых строк

Селективность при оптимизации запросов используется для выбора метода доступа к данным и операций соединения в многотабличных запросах.

Definition 2.12. EXPLAIN

Чтобы узнать, какой план был выбран планировщиком для запроса, используется команда EXPLAIN

EXPLAIN query

- Позволяет посмотреть на план выполнения без фактического выполнения запроса (оценочный план)
- cost – сумма затрат на работу с диском (чтение/запись) и оценка CPU: первое значение – затраты на получение первой строки; второе – затраты на получение всех строк
- rows – приблизительное количество возвращаемых строк
- width – средний размер одной строки в байтах

EXPLAIN (ANALYZE) query

- Фактически выполняет запрос и отображает результат, полученный на реальных данных
- actual time – реальное время в миллисекундах, затраченное для получения первой строки и всех строк соответственно
- rows – реальное количество полученных строк
- loops – сколько раз пришлось выполнить операцию
- Execution Time – общее время выполнения запроса

EXPLAIN (ANALYZE, BUFFERS) query

- Позволяет посмотреть что происходит на физическом уровне при выполнении запроса
- Buffers: shared read – количество блоков, считанное с диска
- Buffers: shared hit – количество блоков, считанных из кэша PostgreSQL
- Объем кэша определяется параметром shared_buffers
- Sort Method: external merge Disk – при сортировке используется временный файл на диске
- Sort Method: quicksort memory – сортировка целиков проведена в оперативной памяти

EXPLAIN (SETTINGS) query

- Добавляет в выходные данные EXPLAIN параметры конфигурации, отличные от параметров по умолчанию (которые влияют на планирование запросов)
- Добавлен в PostgreSQL v12 (2019) и по умолчанию отключен

2.11 Методы доступа к данным

Notation 2.52. Методы доступа к данным

Метод доступа характеризует способ, используемый для просмотра таблиц с целью извлечения только тех записей, которые соответствуют условиям запроса

- Последовательное сканирование (Seq Scan) (без использования индекса)
- Индексное сканирование (Index Scan)
- Сканирование битовой карты (Bitmap Scan)
- Исключительно индексное сканирование (Index Only Scan)

Notation 2.53. Доступ к данным в куче

При выполнении запроса к данным в куче выполняется последовательное сканирование таблицы целиком. Полностью читаются файлы основного слоя таблицы. На каждой прочитанной странице:

- Проверяется видимость каждой версии строки
- Версии, не удовлетворяющие условиям запроса, отбрасываются

Чтение происходит через буферный кеш. При последовательном сканировании больших таблиц используется буферное кольцо небольшого размера:

- Несколько процессов, одновременно сканирующих таблицу, могут присоединяться к кольцу и тем самым экономить дисковые чтения
- Поэтому в общем случае сканирование может начаться не с начала файла

Definition 2.13. Последовательное сканирование

Последовательное сканирование – самый эффективный способ прочитать всю таблицу или значительную ее часть. Хорошо работает при низкой селективности запроса. Последовательное чтение выполняется быстрее, чем чтение страниц вразнобой. Это особенно верно для жестких дисков, где механическая операция подведения головки к дорожке занимает существенно больше времени, чем само чтение данных; в случае дисков SSD этот эффект менее выражен

Для поиска поднабора записей данный метод малоэффективен

Решение: нужно создать индекс

Definition 2.14. Что такое индексы?

Индексы в PostgreSQL – специальные объекты базы данных, предназначенные в основном для ускорения доступа к данным. Это вспомогательные структуры, сохраняемые в отдельных файлах. Их можно удалить и восстановить заново по информации в таблице. Индексы также служат для поддержки некоторых ограничений целостности

Индекс устанавливает соответствие между ключом индекса (значением проиндексированного столбца) и TID записей, в которых это значение встречается. С помощью ключа можно быстро найти интересующие нас строки, без необходимости полного сканирования всей таблицы. Индекс, созданный по столбцу, участвующему в соединении двух таблиц, может позволить ускорить процесс выборки записей из таблиц

Remark 2.13. Издержки

Замедление операций модификации данных в таблицах

- При выполнении операций модификации над проиндексированными данными индексы должны быть перестроены в рамках той же транзакции
- Обновление полей таблицы, не входящих в состав ключа индекса, не приводит к перестроению индексов – HOT (Heap-Only Tuple)
- Чем больше смещение профиля нагрузки в сторону увеличения записей по отношению к чтению, тем это более критично

Дополнительные объемы дискового пространства

- Размер совокупных индексных данных не должен превышать 0,5 размера таблицы

Усложненное техническое обслуживание

- Добавление новых версий строк при модификации данных – Vacuum решает задачу для основных записей, но не для индексных
- Индексы могут распухать (BLOAT) на часто изменяемых данных и их необходимо пересоздавать. Это требует тонкой работы, чтобы не устроить даун-тайм для всего сервиса

Поддержкой индексов в актуальном состоянии занимается СУБД – тратя ресурсы

Definition 2.15. Индексное сканирование (Index scan)

Индексное сканирование (Index Scan)

- На основе ключа индекса определяется TID
- Происходит обращение к странице таблицы, на которую указывает TID, для получения версии строки
- Проверяется ее видимость в соответствии с правилами многоверсионности, и возвращаются полученные данные
- Процесс повторяется для каждого TID

Индексное сканирование хорошо работает, если версии строк в таблице коррелированы с порядком, в котором метод доступа выдает идентификаторы

Используется:

- Для быстрого поиска по ключу
- Для выдачи остортированного результата в том случае, когда порядок сортировки запроса совпадает с порядком сортировки индексных записей
- Для получения данных, которые присутствуют в индексе без обращения к таблице

Definition 2.16. Bitmap Scan

При увеличении выборки возрастают шансы, что придется возвращаться к одной и той же табличной странице несколько раз

Сканирование битовой карты

- Возвращаются все TID, соответствующие условию (узел Bitmap Index Scan)
- По ним строится битовая карта версий строк (exact)
- Затем версии строк читаются из таблицы (узел Bitmap Heap Scan) – при этом каждая страница будет прочитана только один раз

Размер битовой карты не может превышать размер `work_mem`. Если выборка слишком велика – строится грубая битовая карта страниц (lossy), содержащих хотя бы одну подходящую версию строки. Для создания более точной битовой карты – увеличить размер `work_mem`. При чтении страницы приходится перепроверять условия для каждой хранящейся там строки (узел Recheck Cond)

При выполнении фильтрации по нескольким проиндексированным полям таблицы, сканирование битовой карты позволяет (если оптимизатор сочтет это выгодным) использовать несколько индексов одновременно:

- Для каждого индекса строятся битовые карты версий строк
- Если выражения соединены условием AND – битовые карты логически побитово умножаются
- Если выражения соединены условием OR – битовые карты логически побитово складываются

Definition 2.17. Index Only Scan

Если все необходимые для запроса данные находятся на индексных страницах, такой индекс называется покрывающим (covering). В этом случае оптимизатор может применить исключительно индексное сканирование (Index Only Scan)

Для прокешированных данных результаты практически не отличаются от Index Scan

Индексы в PostgreSQL не содержат информации, позволяющей судить о видимости строк

- Метод доступа возвращает все версии строк, попадающие под условие поиска, независимо от того, видны они текущей транзакции или нет
- Если страница, на которую указывает TID отмечена в карте видимости – видимость не проверяется
- Если страница, на которую указывает TID, не отмечена в карте видимости выполняется проверка видимости строки на основании табличных данных

Требуется регулярное выполнение очистки VACUUM. Оптимизатор учитывает число мертвых строк и может отказаться от использования исключительно индексного сканирования. Число вынужденных обращений к таблице (Heap Fetches) можно узнать, используя команду `explain analyze`

Definition 2.18. Parallel Index Scan

Индексный доступ может выполняться в параллельном режиме:

- Сначала ведущий процесс (gather) спускается от корня дерева к листовой странице
- Затем рабочие процессы (parallel_workers) выполняют параллельное чтение листовых страниц индекса, двигаясь по указателям

Издержки:

- Процесс, прочитавший индексную страницу, выполняет и чтение необходимых табличных страниц
- Если несколько индексных страниц, прочитанных разными процессами, содержат ссылку на одну и ту же табличную страницу – ее прочитают несколько процессов (страница будет находиться в буферном кеше в одном экземпляре)

Notation 2.54. Число рабочих процессов

Равно нулю (параллельный план не строится), если размер выборки $< \text{min_parallel_index_scan_size}$ ($=512\text{kB}$)

Фиксировано, если для таблицы указан параметр хранения parallel_workers

Вычисляется по формуле $1 + \lceil \log 3 (\text{размер выборки} / \text{min_parallel_index_scan_size}) \rceil$, но не больше, чем max_parallel_workers_per_gather

Notation 2.55. Сравнения стоимости методов доступа

Каждый из методов доступа имеет свои преимущества и недостатки:

- Индексное сканирование зависит от корреляции между физическим расположением версий строк и порядком, в котором индексный метод доступа выдает идентификаторы
- Сканирование только индекса сильно зависит от карты видимости
- Сканирование по битовой карте при слабой корреляции существенно превосходит индексное сканирование
- Последовательное сканирование не зависит от селективности и, начиная с некоторой доли выбираемых строк, обычно работает лучше остальных методов

Планировщик выполняет серьезную работу по оценке эффективности каждого из методов в каждом конкретном случае. Чтобы эти оценки были близки к реальности, очень важна актуальная статистика

Notation 2.56. Параметры сервера

- `seq_page_cost` (floating point) – стоимость получения страницы при последовательном чтении. По умолчанию 1.0
- `random_page_cost` – стоимость получения случайной страницы. По умолчанию 4.0
- Оба параметра могут быть изменены для `tablespace (SSD)` или когда данные целиком умещаются в памяти. Таким образом, можно для активной части базы в памяти иметь `random_page_cost` близкий к единице, а для архивных данных – оставить значение по умолчанию
- `cpu_tuple_cost` – стоимость получения страницы данных из памяти. По умолчанию 0.01
- `cpu_index_tuple_cost` – то же самое, только для индекса. По умолчанию 0.005
- `cpu_operator_cost` – стоимость обработки оператора или функции. По умолчанию 0.0025

Значение параметра `effective_cache_size` не влияет на выделение памяти, но подсказывает PostgreSQL, на какой общий размер кэша рассчитывать, включая кэш операционной системы. Чем выше это значение, тем большее предпочтение отдается индексам. Начать можно с 50-75% от объема ОЗУ

Параметры, включающие или отключающие использование планировщиком запросов соответствующих методов доступа:

- `enable_seqscan`
- `enable_indexscan`
- `enable_indexonlyscan`
- `enable_bitmapscan`

Значение по умолчанию – `on`. Если `off` – препятствует планировщику использовать соответствующий метод доступа, если есть другие доступные методы

2.12 Способы соединения

Notation 2.57. Соединения

Очень часто запросы обращаются к данным из нескольких таблиц:

- Недостаточно получать данные с помощью соответствующих методов доступа
- Необходимо соединять два и более наборов строк
- Проверять наличие связных записей в соединяемых наборах

При написании запроса используются логические операции соединения таблиц (JOIN и их производные). Выбор типа логической операции зависит от решаемой задачи. Порядок соединения таблиц не важен с точки зрения логики запроса

Для реализации соединения таблиц PostgreSQL использует способы соединения наборов записей, учитывающие вопросы производительности. Наборы записей всегда соединяются попарно. Порядок соединения наборов записей может влиять на производительность

Notation 2.58. Типы соединений наборов записей

- Соединение вложенными циклами (Nested Loop)
- Соединение хешированием (Hash Join)
- Соединение слиянием (Merge Join)

Definition 2.19. Nested Loop

Реализован в виде двух вложенных циклов. Для каждой записи первого (внешнего – outer) набора проверяется условие соединения во втором (внутреннем – inner) наборе. Процесс повторяется до тех пор, пока внешний набор не исчерпает все строки. Обращение к записям второго (внутреннего) набора осуществляется столько раз, сколько записей в первом (внешнем) наборе. Если отсутствует эффективный метод доступа для поиска соответствующих записей во втором наборе (отсутствует индекс) эффективность сильно снизится, так как придется просматривать большое количество ненужных записей

Данный тип объединения оптимизатор обычно предпочитает для небольших выборок. Единственный способ для соединений не по =

Подходит для OUTER JOIN, EXISTS, NOT EXISTS. задает порядок соединения

1. Nested Loop Left Join – возвращает строки, даже если для левого набора записей не нашлось соответствия в правом наборе записей (LEFT JOIN)
2. Nested Loop Anti Join – возвращает записи одного набора в том случае, если для них не нашлось соответствия в другом наборе (NOT EXISTS, LEFT|RIGHT JOIN ... WHERE поле IS NULL)
3. Nested Loop Semi Join – возвращает строки одного набора, если для них нашлось хотя бы одно соответствие в другом наборе (EXISTS) (т.е. достаточно получить всего одну строку)

Модификаций алгоритма вложенного цикла для правого (RIGHT) и полного (FULL) соединений не существует. Это связано с тем, что полный проход по второму набору строк может не выполняться

Соединение вложенным циклом может использоваться в параллельных планах

Definition 2.20. Соединение с индексированным вложенным циклом

Если для внутренней таблицы существует индекс, который может ускорить поиск записей, удовлетворяющих условию соединения, планировщик рассматривает возможность использования этого индекса для прямого поиска записей внутренней таблицы вместо последовательного сканирования – `indexed nested loop join`

Если есть индекс внешней таблицы и его атрибуты участвуют в условии соединения, то его можно использовать для сканирования индекса вместо последовательного сканирования внешней таблицы. В частности, при наличии индекса, атрибутом которого может быть предикат доступа в предложении `WHERE`, диапазон поиска во внешней таблице сужается; следовательно, стоимость соединения с вложенным циклом может быть значительно снижена

Definition 2.21. Hash join

Реализация:

- По одному набору записей строится хеш-таблица на ключах соединения (узел Hash). Функция хеширования равномерно распределяет значения по ограниченному числу корзин хеш-таблицы – по значению хеш-функции определяется номер корзины. Если равномерности не будет – в одной корзине может образоваться список значений, что приведет к снижению производительности
- Затем Postgres выполняет итерацию по второму набору записей:
 - Вычисляет хеш-функцию от значения полей, участвующих в условии соединения
 - Проверяет наличие соответствующего хеш-значения в хеш-таблице `hash(table1.val)=hash(table2.val)`
 - Дополнительно проверяет значения полей, подходящие под условие соединения

Используется для соединений по `=`

Для большой выборки оптимизатор предпочитает соединение хешированием. Зависит от порядка соединения – внутренний набор должен быть меньше внешнего, чтобы минимизировать хеш-таблицу

Размер хеш-таблицы в памяти ограничен значением `work_mem x hash_mem_multiplier` (начиная с 13 версии). В корзину помещаются хеш-код и все поля, которые входят в условие соединения или используются в запросе. Не следует использовать в запросе лишние поля, в том числе звездочку

Если таблица не помещается в памяти:

1. Разбивает наборы записей на пакеты (Batches)
2. Строит хеш-таблицу для одного пакета (`work_mem x hash_mem_multiplier`)
3. Остальные пакеты сохраняет во временные файлы (temp written)
4. Выполняет сопоставление с записями второго набора
5. Если запись соответствует данному пакету – она возвращается. Если строка принадлежит другому пакету, она сбрасывается на диск – в свой временный файл
6. Процедура повторяется для всех пакетов

Notation 2.59. Группировка и уникальные значения

Для выполнения группировки (GROUP BY) и устранения дубликатов (DISTINCT и операции со множествами без ALL) используются методы, схожие с методами соединения: один из способов выполнения состоит в том, чтобы построить хеш-таблицу по нужным полям и получить из нее уникальные значения

Definition 2.22. Merge join

Для использования данного способа основным условием является соединение упорядоченных наборов записей

- Если наборы записей не отсортированы – выполняет сортировку (дорогая операция)
- Сначала берет первые записи обоих наборов и сравнивает их между собой
- Если значения совпадают – читает следующую строку второго набора
- Если значения не совпадают – читает следующую строку того набора, для которого значение поля, по которому происходит соединение, меньше (один набор догоняет другой)
- Главное отличие – нет правого и левого набора записей

Алгоритм слияния возвращает результат соединения в отсортированном виде. Полученный набор записей может быть использован для соединения слиянием со следующим набором записей без дополнительной сортировки

Подходит для outer join-ов. Не определяет жестко порядок соединения таблиц. Чуть ли не единственный способ реализовать full outer join

Если соединяемые наборы записей уже отсортированы (например определены индексы) PostgreSQL может предпочесть данный способ соединению хешированием. Не требуются накладные расходы на построение хеш-таблицы

Если требуется выполнение сортировки, то в зависимости от количества записей и объема work_mem

- Может быть выполнена быстрая сортировка (quick sort)
- Может быть применена частичная пирамидальная сортировка (top-N heapsort) если нужно отсортировать не весь набор данных (LIMIT)
- Если данные уже отсортированы, но не по всем ключам, может быть использована инкрементальная сортировка
- Либо может быть отдано предпочтение соединению хешированием

Remark 2.14. Другие варианты

Подобно объединению с вложенным циклом, соединение слиянием в PostgreSQL также имеет варианты, на основе которых может выполняться сканирование индекса внешней таблицы

Notation 2.60. Параметры сервера связанные со способами объединения

Параметры, включающие или отключающие использование планировщиком запросов соответствующих способов объединения:

- `enable_nestloop`
- `enable_hashjoin`
- `enable_mergejoin`

Значение по умолчанию – `on`. Если `off` – препятствует планировщику использовать соответствующий способ объединения, если есть другие доступные способы

3 Лекция 3. Запросы к нескольким таблицам

3.1 Запросы к нескольким таблицам

Definition 3.1. Предложение FROM

В предложении FROM перечисляются один или несколько источников данных, используемых для формирования результирующей выборки

При использовании нескольких источников необходимо указать тип их соединения:

- CROSS JOIN
- [INNER] JOIN
- LEFT [OUTER] JOIN
- RIGHT [OUTER] JOIN
- FULL [OUTER] JOIN
- NATURAL JOIN
- USING

Definition 3.2. CROSS JOIN – перекрестное соединение

CROSS JOIN – возвращает декартово произведение таблиц. Может быть заменено списком таблиц через запятую в разделе FROM

FROM tableA CROSS JOIN tableB

Notation 3.1. Соединение посредством предиката

FROM tableA [type_of_join] JOIN tableB ON predicate

Тип соединения	Описание
INNER	Используется для соединения строк из обеих таблиц на основе заданного предиката. Используется по умолчанию, когда тип соединения явно не задан
LEFT [OUTER]	"Левое (внешнее)" Включает в себя все строки из левой таблицы A и те строки из правой таблицы B, для которых выполняется условие предиката. Для строк из таблицы A, для которых не найдено соответствия в таблице B, в столбцы, извлекаемые из таблицы B, заносятся значения NULL
RIGHT [OUTER]	"Правое (внешнее)" Включает в себя все строки из правой таблицы B и те строки из левой таблицы A, для которых выполняется условие предиката. Для строк из таблицы B, для которых не найдено соответствия в таблице A, в столбцы, извлекаемые из таблицы A, заносятся значения NULL
FULL [OUTER]	"Полное (внешнее)" Это комбинация левого и правого соединений. В полное соединение включаются все строки из обеих таблиц. Для совпадающих строк поля заполняются реальными значениями, для несовпадающих строк поля заполняются в соответствии с правилами левого и правого соединений

Remark 3.1.

Вместо ON можно использовать USING при условии совпадения названий столбцов, используемых для соединения

Definition 3.3. SELF JOIN

Для объединения записей внутри одной таблицы необходимо использовать объединение таблицы со своей копией. Для создания копии используются псевдонимы таблиц

3.2 Использование операторов наборов записей

Notation 3.2. Требования к наборам записей

Оба набора должны иметь одинаковое количество столбцов, совместимых по типу данных

ORDER BY не допускается во входных запросах, но может использоваться для сортировки результирующего набора

NULL значения считаются равными при сравнении наборов

Definition 3.4. UNION и UNION ALL

UNION возвращает результирующий набор уникальных строк, объединенных из двух входных наборов. Дубликаты удаляются при обработке запроса (влияет на производительность)

UNION ALL возвращает результирующий набор со всеми строками из двух входных наборов. Чтобы избежать потери производительности, вызванной фильтрацией дубликатов, используйте UNION ALL вместо UNION всякий раз, когда это позволяют требования

Definition 3.5. INTERSECT

INTERSECT возвращает уникальный результирующий набор строк, которые присутствуют в обоих входных наборах

Definition 3.6. EXCEPT (MINUS)

EXCEPT возвращает только уникальные строки, которые присутствуют в левом наборе, но нет в правом. Порядок, в котором указаны наборы, имеет значение

4 Лекция 4.

4.1 Запросы с группировкой

Definition 4.1. Агрегатные функции

Работают с набором значений столбца, возвращают скалярное значение (без имени столбца), игнорируют NULL-значения, кроме COUNT(*)

Могут использоваться в:

1. Предложениях SELECT, HAVING и ORDER BY
2. Часто используются с предложением GROUP BY

Notation 4.1. Категории агрегатных функций

- Общие
 - sum
 - min
 - max
 - avg
 - count
 - string_agg
- Статистические
 - corr
 - covar_
 - regr_
 - stddev_
 - var_
- Дополнительные
 - grouping
 - array_agg
 - bit_and
 - bit_or
 - bool_and
 - bool_or
 - json_agg
 - json_object_agg

Definition 4.2. Агрегатные выражения

Агрегатное выражение представляет собой применение агрегатной функции к строкам, выбранным запросом

Агрегатное выражение может записываться следующим образом:

```
aggr ([ALL] expr [, ...] [order_by]) [FILTER (WHERE predicate)]
aggr (DISTINCT expr [, ...] [order_by]) [FILTER (WHERE predicate)]
aggr (*) [FILTER (WHERE predicate)]
```

Notation 4.2. Использование DISTINCT в агрегатных функциях

Используйте DISTINCT с агрегатными функциями, чтобы агрегировать только уникальные значения. Агрегаты с DISTINCT исключают повторяющиеся значения, а не строки (в отличие от SELECT DISTINCT)

Notation 4.3. Обработка NULL-значений

Большинство агрегатных функций игнорирует NULL

- COUNT(<column>) – игнорирует NULL-значения
- COUNT(*) – подсчитывает все строки

NULL может давать неправильные результаты (например, при использовании AVG). Используйте COALESCE для замены NULL-значений перед агрегированием

Definition 4.3. Предложение FILTER

Если добавлено предложение FILTER, агрегатной функции подаются только те входные строки, для которых условие фильтра вычисляется как истинное; другие строки отбрасываются

Definition 4.4. Предложение ORDER BY

Результат выполнения некоторых агрегатных функций (таких как `array_agg` и `string_agg`) зависит от порядка данных

Для задания нужного порядка необходимо добавить предложение `order_by`. Данное предложение выполняет сортировку на основе исходных столбцов. Нельзя использовать имена результирующих столбцов или их числовые индексы

Notation 4.4. Использование GROUP BY

GROUP BY создает группы из исходных записей в соответствии с уникальной комбинацией значений, указанных в предложении GROUP BY. Детальные строки теряются после обработки предложения GROUP BY. Если запрос использует GROUP BY, все последующие этапы работают с группами, а не с исходными данными

HAVING, SELECT и ORDER BY должны возвращать одно значение для каждой группы. Все столбцы в SELECT, HAVING и ORDER BY должны появляться в предложении GROUP BY или быть входными данными для агрегатных выражений

Definition 4.5. GROUPING SETS

Оператор GROUPING SETS – это расширение предложения GROUP BY

GROUPING SETS группирует записи на основе задаваемых пользователем наборов для группировки. Наборы для группировки – должны включать в себя столбцы, по которым вы группируете с помощью предложения GROUP BY. Набор для группировки обозначается списком столбцов, разделенных запятыми, заключенных в круглые скобки

Definition 4.6. CUBE

CUBE – это расширение предложения GROUP BY

CUBE позволяет создавать все возможные группы на основе указанных столбцов измерений

Definition 4.7. ROLLUP

В отличие от CUBE, ROLLUP не генерирует все возможные группы на основе указанных столбцов

ROLLUP предполагает иерархию входных столбцов и генерирует все группы, которые имеют смысл с учетом иерархии. По этой причине ROLLUP часто используется для создания промежуточных и общих итогов отчетов

Definition 4.8. Функция GROUPING

Функция GROUPING возвращает целочисленную битовую маску, показывающую, какие аргументы не вошли в текущий набор группирования: бит равен 0 – если аргумент является членом текущего набора группирования, и 1 – если аргумент не является членом текущего набора группирования

Аргументы функции GROUPING должны в точности соответствовать выражениям, заданным в предложении GROUP BY

4.2 Использование оконных функций

Remark 4.1. Наборы или курсоры?

Часто решения для запроса данных на основе SQL делят на два вида: основанные на наборах записей и основанные на курсорах с итеративным проходом по записям. Наиболее эффективно – обрабатывать наборы записей: таблица представляет собой набор неупорядоченных данных, сохраняются реляционные принципы обработки. Язык SQL никак не связан с конкретной физической реализацией в ядре СУБД. Задача физического уровня – определить, как выполнить логический запрос, и максимально быстро вернуть правильный результат.

Notation 4.5. Зачем нужны оконные функции

Оконные функции – это мощнейший инструмент для анализа данных, который с легкостью помогает решать множество задач.

Отличие от агрегатных функций:

- Групповые запросы формируют информацию в виде агрегатов, но при этом теряются детали (уменьшают количество строк)
- Оконные функции позволяют использовать как детальные данные, так и агрегаты (не уменьшают количество строк)
- Результаты работы оконных функций просто добавляются к результирующей выборке в виде нового столбца

Этот функционал очень полезен для построения аналитических отчетов, расчета скользящего среднего и нарастающих итогов, а также для расчетов различных моделей атрибуции.

Notation 4.6. Задачи решаемые с помощью оконных функций

- Ранжирование (всевозможные рейтинги)
- Сравнение со смещением (соседние элементы и границы)
- Агрегация (сумма и среднее)
- Скользящие агрегаты (сумма и среднее в динамике)

Definition 4.9. OVER

При использовании инструкции `OVER()` без предложений окном будет весь набор данных.

Definition 4.10. Предложение PARTITION BY

Предложение `PARTITION BY` делит строки на несколько групп или разделов, к которым применяется оконная функция. Определяет столбец (столбцы), по которому будет производиться разделение набора строк на окна.

Предложение `PARTITION BY` является необязательным.

Если вы пропустите предложение `PARTITION BY`, оконная функция будет рассматривать весь результирующий набор как один раздел.

Definition 4.11. Предложение ORDER BY

Предложение ORDER BY указывает порядок строк в каждом разделе, к которому применяется оконная функция. Сортирует строки внутри окна для вычисления нарастающего итога

Предложение ORDER BY использует параметр NULLS FIRST или NULLS LAST, чтобы указать, должны ли значения, допускающие значение NULL, быть первыми или последними в результирующем наборе. По умолчанию используется опция NULLS LAST

Предложение ORDER BY является обязательным для некоторых функций

Definition 4.12. FILTER

Предложение FILTER определяет какие строки будут подаваться на вход оконной функции. Подаются только те входные строки, для которых условие фильтра вычисляется как истинное; другие строки отбрасываются. Предложение FILTER допускается только для агрегирующих оконных функций

Definition 4.13. Именованное окно

Предложение WINDOW определяет подмножество строк в текущем разделе, к которому применяется оконная функция. Это подмножество строк называется именованное окно

Notation 4.7. Определение фрейма (рамки)

Фрейм определяет рамку окна, ограничивающую подмножество строк текущего раздела. Оконная функция работает с рамкой, а не со всем разделом

Определение фрейма (режимы):

- ROWS позволяет ограничить строки в окне, указывая фиксированное количество строк, предшествующих или следующих за текущей
- RANGE работает с набором строк имеющих одинаковый ранг в инструкции ORDER BY

Необходимо наличие ORDER BY

Notation 4.8. Задание границ фрейма

Для ограничения строк ROWS или RANGE можно использовать следующие ключевые слова:

- UNBOUNDED PRECEDING – указывает, что фрейм начинается с первой строки группы
- UNBOUNDED FOLLOWING – с помощью данной инструкции можно указать, что фрейм заканчивается на последней строке группы
- CURRENT ROW – инструкция указывает, что фрейм начинается или заканчивается на текущей строке
- ЧИСЛО PRECEDING – определяет число строк перед текущей строкой
- ЧИСЛО FOLLOWING – определяет число строк после текущей строки

Если конец рамки не задан, подразумевается CURRENT ROW

Notation 4.9. Исключение рамки

Исключение рамки позволяет исключить из рамки строки, которые окружают текущую строку, даже если они должны быть включены согласно указаниям, определяющим начало и конец рамки

Исключение рамки может быть следующим:

- **EXCLUDE CURRENT ROW** – исключает из рамки текущую строку
- **EXCLUDE GROUP** – исключает из рамки текущую строку и родственные ей согласно порядку сортировки
- **EXCLUDE TIES** – исключает из рамки все родственные строки для текущей, но не собственно текущую строку
- **EXCLUDE NO OTHERS** – явно выражает поведение по умолчанию – не исключает ни текущую строку, ни родственные ей

Notation 4.10. Обработка оконных функций

Если запрос содержит оконные функции, эти функции вычисляются после каждой группировки, агрегатных выражений и фильтрации **HAVING**: оконные функции видят не исходные строки, полученные из **FROM/WHERE**, а сгруппированные

При использовании нескольких оконных функций с одинаковым определением окна (**PARTITION BY** и **ORDER BY**) все функции обрабатывают данные за один проход. Они увидят один порядок сортировки, даже если **ORDER BY** не определяет порядок однозначно

Оконные функции требуют предварительно отсортированных данных, так что результат запроса будет отсортирован согласно тому или иному предложению **PARTITION BY/ORDER BY** оконных функций. Чтобы результаты сортировались определенным образом, необходимо явно добавить предложение **ORDER BY** на верхнем уровне запроса

Notation 4.11. Порядок выполнения запроса

1. Взять нужные таблицы (**FROM**) и соединить их при необходимости (**JOIN**)
2. Отфильтровать строки (**WHERE**)
3. Сгруппировать строки (**GROUP BY**)
4. Отфильтровать результат группировки (**HAVING**)
5. Сформировать конкретные столбцы результата (**SELECT**)
6. Рассчитать значения оконных функций (**FUNCTION() OVER WINDOW**)
7. Отсортировать то, что получилось (**ORDER BY**)

4.3 Оконные функции

Notation 4.12. Типы оконных функций

- Агрегатные функции

- SUM – возвращает сумму значений в столбце
- COUNT – возвращает количество значений в столбце
- AVG – возвращает среднее значение в столбце
- MAX – возвращает максимальное значение в столбце
- MIN – возвращает минимальное значение в столбце

Значения NULL не учитываются. Использование ключевого слова DISTINCT не допускается с предложением OVER

- Ранжирующие функции

- ROW_NUMBER – возвращает номер строки в окне
- RANK() – возвращает ранг каждой строки. Строки которые имеют одинаковые значения в столбцах, по которым выполняется сортировка, получают одинаковый ранг с пропуском следующего значения
- DENSE_RANK() – возвращает ранг каждой строки. В отличие от функции RANK, она для одинаковых значений возвращает ранг, не пропуская следующий
- NTILE(n) – позволяет разделить упорядоченные строки в секции на заданное количество ранжированных групп. Возвращает для каждой строки номер группы

Наличие ORDER BY обязательно

- Функции смещения

- LAG или LEAD – функция LAG обращается к данным из предыдущей строки окна, а LEAD – к данным из следующей строки. Имеют три параметра: столбец, значение которого необходимо вернуть; количество строк для смещения (по умолчанию 1); значение, которое необходимо вернуть если после смещения возвращается значение NULL
- FIRST_VALUE или LAST_VALUE – позволяют получить первое и последнее значение в окне. В качестве параметра принимают столбец, значение которого необходимо вернуть
- NTH_VALUE – возвращает значение из n -й строки указанного столбца в упорядоченном разделе результирующего набора

- Аналитические функции

Возвращают информацию о распределении данных и используются для статистического анализа

- CUME_DIST – возвращает относительный ранг текущей строки в окне
- PERCENT_RANK – возвращает относительный ранг текущей строки в окне

Функции распределения рангов вычисляют относительный ранг текущей строки в секции окна, который выражается числом от 0 до 1 (процент)

Definition 4.14. ROW_NUMBER

Позволяет:

- Задать нумерацию, которая будет отличаться от порядка сортировки строк результирующего набора
- Создать несквозную нумерацию, т.е. выделить группы из общего множества строк и пронумеровать их отдельно для каждой группы
- Использовать одновременно несколько способов нумерации, так как нумерация не зависит от сортировки строк основного запроса

4.4 Использование подзапросов

Notation 4.13. Запросы по типу возвращаемого результата

- Скалярные (Scalar Subqueries) – возвращают одно значение
- Многочленные (Multi-Valued Subqueries) – возвращают список значений
- Табличные (Table-Valued Subqueries) – возвращают таблицу

Notation 4.14. Использование подзапросов

Предложение	Scalar Subquery	Multi-Valued Subquery	Table-Valued Subquery
SELECT	Вычисляемый столбец	-	-
FROM	-	Derived Table (именованная таблица из одного столбца)	Derived Table (именованная таблица), CTE (временное представление)
WHERE	Фильтрация записей на основе сравнения со скалярной величиной	Фильтрация записей с использованием предикатов [NOT] IN, SOME, ALL, ANY, [NOT] EXISTS*	Фильтрация записей с использованием предиката [NOT] EXISTS*
GROUP BY	-	-	-
HAVING	Фильтрация групп на основе сравнения со скалярной величиной	-	-
ORDER BY	-	-	-

Example 4.1. Использование скалярного вложенного подзапроса

```
SELECT orderid , productid , unitprice , qty
FROM "Sales"."OrderDetails"
WHERE orderid =
      (SELECT MAX(orderid) FROM "Sales"."Orders");
```

Если вложенный подзапрос возвращает пустую выборку (empty set), результат конвертируется в NULL

Example 4.2. Использование многозначного вложенного запроса с одним столбцом

Список заказов, сделанных клиентами из 'Mexico':

```
SELECT custid , orderid
FROM "Sales"."Orders"
WHERE custid IN (SELECT custid
                  FROM "Sales"."Customers"
                  WHERE country = 'Mexico');
```

Example 4.3. Использование многозначного вложенного запроса с несколькими столбцами

Вы можете использовать IN (ANY, ALL, SOME) для сравнения по нескольким столбцам. В предложении WHERE необходимо сгруппировать имена столбцов в скобках. Количество сгруппированных столбцов должно соответствовать целевому списку подзапроса, и иметь те же типы данных

```
SELECT custid , orderid , shipcity
FROM "Sales"."Orders"
WHERE (custid , shipcity) != ALL (SELECT custid , city
                                  FROM "Sales"."Customers")
AND custid = 76;
```

Example 4.4. Использование скалярного коррелированного запроса

Список заказов с общей суммой каждого заказа

```
SELECT orderid , o.custid ,
       (SELECT SUM(unitprice * qty)
        FROM "Sales"."OrderDetails" od
        WHERE od.orderid = o.orderid) AS OrderTotal
FROM "Sales"."Orders" o;
```

Example 4.5. Использование предиката EXISTS

Если вложенный запрос возвращает хотя бы одну запись – EXISTS возвращает TRUE, иначе FALSE

```
SELECT custid , companyname
FROM "Sales"."Customers" AS c
WHERE [NOT] EXISTS (
    SELECT 1
    FROM "Sales"."Orders" AS o
    WHERE o.custid = c.custid);
```

4.5 Использование табличных выражений

Definition 4.15. Производные таблицы (Derived Tables)

Производные таблицы – именованные выражения запроса, созданные во внешнем операторе SELECT. Не хранятся в БД – представляет собой виртуальную реляционную таблицу. Область видимости – запрос, в котором она определена

Производная таблица должна:

- Иметь псевдоним
- Иметь уникальные имена для всех столбцов
- Не ссылаться несколько раз в одном запросе

Производная таблица может:

- Использовать внутренние или внешние псевдонимы столбцов
- Быть вложенной в другие производные таблицы

Definition 4.16. Общие табличные выражения (CTE)

CTE (Common Table Expression) – именованные табличные выражения, используемые для разбиения сложных запросов на простые части. Можно представить как определения временных таблиц, существующих только для одного запроса

CTE определяется в предложении WITH. Все возвращаемые столбцы должны иметь уникальные имена. CTE поддерживают несколько определений. На CTE допустимо ссылаться несколько раз только в одном запросе

Definition 4.17. Рекурсивный запрос WITH

Для определения рекурсивного запроса WITH используется указание RECURSIVE

Рекурсивный запрос WITH включает:

- Не рекурсивную часть
- Оператор UNION или UNION ALL
- Рекурсивную часть

Только в рекурсивной части можно обратиться к результату запроса

Definition 4.18. Подзапросы LATERAL

При необходимости объединить записи исходной таблицы с записями, которые возвращает коррелированный табличный подзапрос или табличная функция необходимо использовать операторы LATERAL. CROSS JOIN LATERAL – аналог INNER JOIN, а LEFT JOIN LATERAL – LEFT JOIN

Коррелированный табличный подзапрос должен быть указан справа от оператора LATERAL

5 Лекция 5. Проектирование

5.1 Основные подходы к проектированию ИС

Notation 5.1. Основные этапы жизненного цикла ИС

- Определение требований (анализ). Концептуальные модели данных и бизнес проектов. Определение качественных характеристик
- Проектирование. Логические модели приложений и баз данных для реализации требований. Определение архитектуры
- Реализация. Физические модели приложений и баз данных
- Тестирование и внедрение. Установка технических средств, настройка системы, обучение персонала, пробное использование итд
- Функционирование. Обслуживание и администрирование, в т.ч. внесение изменений (доработка)

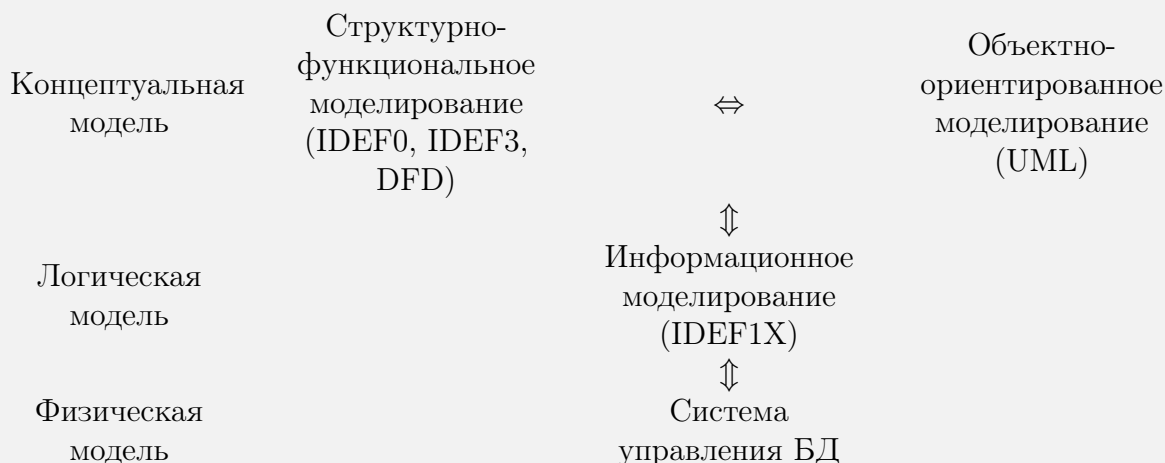
Notation 5.2. Использование моделей в процессе проектирования

Модель – это по существу упрощенное абстрактное представление сложного реального объекта (процесса, явления или системы), призванное ответить на вопросы относительно него

Охватить сложный объект целиком – представить его с помощью единой модели – вряд ли получится, поэтому каждая модель фокусируется на отдельных, важных для конкретной задачи, свойствах исследуемого объекта

Notation 5.3. Этапы и модели

Проектирование системы на всех этапах разработки должно быть привязано к процессам предметной области (технологическому, бизнес-процессу), особенно на этапе разработки концептуальной модели



Notation 5.4. Основные этапы и методы

Этап	Методы
Разработка концептуальной модели ИС	Структурно-функциональное и/или объектно-ориентированное моделирование
Разработка логической модели ИС	Информационное моделирование (создание диаграммы сущность-связь)
Разработка физической модели и программного обеспечения ИС	Реализация объектов логической модели, разработка программного кода
Тестировка и отладка ИС	Корректировка программного обеспечения
Эксплуатация ИС	Поддержка ИС после ввода в эксплуатацию

Notation 5.5. Подходы к проектированию

Функционально-ориентированный	Объектно-ориентированный
Функциональная декомпозиция системы с последующим уточнением структуры данных	Представление системы в терминах взаимодействия объектов (классов объектов)
Первичны – процессы (функции). Менее стабильны	Первичны – объекты (данные). Более стабильны
Связывание динамической и статической проекций системы затруднено	Изначально связанные динамическая и статическая проекции
Методы создания моделей (отсутствие свободной трактовки/интерпретации)	Рекомендации, лучшие практики итп
Восприятие экспертами предметной области – лучше	Восприятие экспертами предметной области – хуже

5.2 Основные этапы проектирования баз данных

Notation 5.6. Важность

От того, насколько успешно будет спроектирована БД, зависит

- Эффективность функционирования проектируемой информационной системы в целом
- Ее жизнеспособность
- Возможность расширения и дальнейшего развития

Поэтому вопрос проектирования баз данных выделяют как отдельное, самостоятельное направление работ при разработке информационных систем

Definition 5.1. Методология проектирования БД

Методология проектирования БД – структурированный подход, предусматривающий использование специализированных процедур, технических приемов, инструментов, документации и ориентированный на поддержку и упрощение процесса проектирования. Методология проектирования предусматривает разбиение всего процесса на несколько стадий, каждая из которых, в свою очередь, состоит из нескольких этапов. На каждом этапе разработчику предлагается набор технических приемов, позволяющих решать задачи, стоящие перед ним на данной стадии разработки.

Definition 5.2. Проектирование базы данных

Цель проектирования базы данных – это корректное отображение выбранной для автоматизации предметной области.

Выделяют два основных подхода к данному процессу:

- Нисходящий (сверху вниз)
Сначала происходит изучение целого, или описание предметной области, а затем уже осуществляется разделение целого на составные части, каждая из которых после этого также последовательно изучается.
- Восходящий (снизу вверх)
Сначала происходит описание составных частей, после чего собирается общая картина.

Definition 5.3. Нисходящее проектирование

- Анализ предметной области. Описание внешнего уровня базы данных. Результат – внешняя модель предметной области.
- Концептуальное (инфологическое) проектирование. Анализ требований к данным. Результат – обобщенная концептуальная модель предметной области.
- Логическое проектирование. Преобразование требований к данным в СУБД ориентированную структуру БД. Результат – логическая модель данных.
- Нормализация. Корректировка логической модели для устранения возможных аномалий данных. Результат – нормализованная логическая модель данных.
- Формирование физической (внутренней) модели базы данных. Определение особенностей хранения данных, методов доступа и т.д. Создание схемы БД для конкретной СУБД и программно-аппаратной платформы. Результат – внутренняя модель БД.

5.3 Анализ предметной области

Notation 5.7. Анализ предметной области

Проводится анализ предметной области в целом с последующей декомпозицией на отдельные элементы

Результат – описание внешнего уровня базы данных (внешняя модель) для пользователей, которое абстрагируется от особенностей реализации

- Назначение ИС и границы проекта: абстрагирование от неважного, сосредоточение на важном
- Определение основных пользователей системы (действующих лиц) и их целей
- Определение бизнес-правил и ограничений (функциональные требования). Отношения между информационными объектами. Ограничения на значения определенных характеристик
- Определение требований обработки данных (нефункциональные требования): защита, время отклика, темпы увеличения объема данных итд

Notation 5.8. Анализ требований

Включает в себя три типа деятельности:

- Сбор требований: общение с клиентами и пользователями, чтобы определить, каковы их требования
- Анализ требований: определение, являются ли собранные требования неясными, неполными, неоднозначными, или противоречащими, и затем решение этих проблем
- Документирование требований: требования могут быть задокументированы в различных формах, таких как простое описание, сценарии использования, пользовательские истории, или спецификации процессов

Example 5.1.

Пример начального описания предметной области:

Предприятие общественного питания предлагает своим посетителям набор блюд, изготавливаемых по авторским рецептам. Каждое блюдо имеет уникальное название, относится к единственному виду и готовится по единственному рецепту. Каждое блюдо состоит из набора продуктов, в соответствии с рецептом

Компания имеет широкую сеть организаций поставщиков продуктов, расположенных в различных городах

Пример определения действующих лиц:

Действующие лица	Бизнес-цели
Сотрудник кухни	Изготовление блюда: описание рецепта, информация о количестве порций, сведения о доступности продуктов
Сотрудник по работе с поставщиками	Взаимодействие с поставщиками продуктов: информация о наличии продуктов, информация о поставщиках конкретных продуктов
Сотрудник по реализации готовой продукции	Планирование и реализация готовых продукции (блюд): формирование заявки на порции согласно меню конкретного дня, реализация порций блюд в соответствии с заказом

Определение бизнес-правил и ограничений:

- Каждое блюдо должно быть изготовлено строго по одному рецепту
- При изготовлении блюда в конкретный день каждый продукт может быть взят только из одной поставки
- Поставки продукта могут использоваться в нескольких блюдах в разные дни
- Поставщик может осуществлять в один и тот же день только одну поставку каждого продукта
- Каждый поставщик осуществляет поставку только определенных продуктов
- В одной поставке могут присутствовать продукты поставляемые разными поставщиками
- ИТД

5.4 Концептуальное (инфологическое) проектирование

Definition 5.4. Концептуальное проектирование

Концептуальная модель – это формализованное описание предметной области на самом высоком уровне абстракции (без привязки к физическому представлению и хранению данных), выполненное без жесткой ориентации на программные и технические средства. Концептуальная модель отражает специфику предметной области, а не структуру БД. Чтобы БД адекватно отражала предметную область, проектировщик должен хорошо представлять себе все нюансы, присущие ей, и уметь отобразить их в БД. Цель – построение независимой от СУБД информационной структуры путем объединения информационных требований пользователей. Результат – концептуальная (инфологическая) модель (семантическая, ER-модель).

Notation 5.9. Реализация

Обобщение полученных на этапе анализа предметной области сведений.
Моделирование частных представлений пользователей с использованием диаграмм сущность-связь (Entity-Relationship Diagrams, ER-диаграмм):

- Определение сущностей
- Определение атрибутов сущностей
- Идентификация ключевых атрибутов сущностей
- Определение связей между сущностями

Интеграция частных представлений: концептуальные требования отдельных пользователей, определенные в стандартной форме (диаграммы сущность-связь), сливаются в единое глобальное представление. При этом должны быть выявлены и ликвидированы противоречивые и избыточные данные.
Уточнение требований: устранение противоречивости и избыточности данных. Принцип бритвы Оккама: не следует множить сущности без необходимости.

Notation 5.10. Требования предъявляемые к инфологической модели

- Адекватное отображение предметной области
- Недопущение неоднозначной трактовки модели
- Представление данных с минимальным дублированием
- Легкая расширяемость, обеспечивающая ввод новых данных без изменения ранее определенных, то же относят и к удалению данных
- Легкое восприятие различными категориями пользователей. Желательно чтобы инфологическую модель строил (или хотя бы участвовал в ее создании) специалист, работающий в данной предметной области, а не только проектировщик систем машинной обработки данных

5.5 Формирование даталогической модели базы данных

Definition 5.5. Формирование даталогической модели базы данных

Даталогическая модель БД – модель, отражающая логические взаимосвязи между элементами данных (отношениями) безотносительно их содержания и физической организации. Интегрированный набор понятий для описания и обработки данных, связей между ними и ограничений, накладываемых на данные в рамках предметной области. Даталогическая модель (модель данных) разрабатывается на основе концептуальной (информационно-логической) модели предметной области с учетом: конкретной реализации СУБД, специфики конкретной предметной области – возможных запросов к БД на основе ранее выявленных потребностей пользователей системы

5.6 Нормализация

Definition 5.6. Нормализация

Нормализация – формальная процедура, проверки и реорганизации отношений, в ходе которой создается оптимизированная структура БД, позволяющая избежать различных видов аномалий

Нормализация подразумевает декомпозицию (разделение) отношения на два или более, обладающих лучшими свойствами при добавлении, изменении и удалении данных

Notation 5.11. Задачи нормализации

Исключение необходимости хранения повторяющейся информации

Создание структуры, в которой предусмотрена возможность ее будущих изменений и с минимальным влиянием на приложения. Реализация логической и физической независимости

5.7 Физическое проектирование

Definition 5.7. Физическое проектирование

Цель – создание физической структуры БД (и ее объектов), а также набора реализуемых алгоритмов обработки данных с целью эффективного использования вычислительных ресурсов (дисковой памяти, времени центрального процессора)

Физическая структура БД соответствует понятию внутренней модели и учитывает специфику конкретной СУБД:

- Ограничения на именование объектов базы данных
- Ограничения на поддерживаемые типы данных
- Требования к индексным структурам
- Выбор методов управления дисковой памятью
- Разделение БД по файлам и устройствам
- Методы доступа к данным

Результат – полностью готовая к внедрению структура базы данных и набор реализуемых алгоритмов по ее использованию

Notation 5.12. Показатели эффективности функционирования физической БД

- время ввода-вывода – время, затрачиваемое на выборку данных с внешней памяти в оперативную, включая время передачи данных
- Время доступа – промежуток времени между выдачей команды, содержащей обращение к некоторым данным, и фактически получением данных для обработки
- Время отклика – промежуток времени между вводом запроса к базе данных в компьютер и завершением обработки запроса с представлением результатов

Notation 5.13. файловые структуры для хранения информации в БД

В каждой СУБД по-разному организованы хранение и доступ к данным, однако существуют некоторые файловые структуры, которые имеют общепринятые способы организации и широко применяются практически во всех СУБД

Remark 5.1. Внутренние (физические) модели данных

Зависят от особенностей конкретной СУБД и определяют:

- специальные структуры данных, поддерживаемые СУБД: индексно-организованные таблицы, кластеры, секционированные таблицы итд
- Взаимосвязь между логическими и физическими структурами хранения данных: логические (например, табличное пространство, сегмент, экстенд, блок данных БД) и физические (файл данных, страница данных)
- Способы распределения данных на физических устройствах хранения: один/несколько независимых дисков, ленточные устройства, RAID-массивы итд
- Способы доступа к данным: полное чтение таблицы, чтение индекса с пропусками, чтение кластера

Notation 5.14. Файловая структура БД

Таблица – логический элемент БД, физически его нет

Все данные хранятся в файлах, а файлы организуются в группы

Файлы подразделяются на файлы данных и файлы журнала транзакций. Файлы могут лежать на разных дисках при нехватке места или необходимости распределенного хранения

Файлы разделяются на блоки – страницы. Размер блока зависит от СУБД. В блоке может быть одна или несколько записей. За распределение записей по файлам отвечает СУБД

Notation 5.15. Формирование реляционной БД из ER-диаграмм

1. Каждая сущность превращается в таблицу. Имя сущности становится именем таблицы
2. Каждый атрибут становится столбцом с тем же именем
3. Компоненты уникального идентификатора сущности превращаются в первичный ключ таблицы
4. Связи многие-к-одному (и один-к-одному) становятся внешними ключами

5.8 Автоматизация проектирования баз данных

Definition 5.8. CASE-технология

CASE-технология (Computer-Aided Software/System Engineering) – это инструментарий для системных аналитиков, разработчиков и программистов, позволяющий автоматизировать процесс проектирования и разработки ПО. Совокупность методологий анализа, проектирования, разработки и сопровождения сложных систем, поддерживаемая комплексом взаимосвязанных средств автоматизации

Современные CASE-средства охватывают обширную область поддержки многочисленных технологий проектирования ИС: от простых средств анализа и документирования до полномасштабных средств автоматизации, покрывающих весь жизненный цикл ПО

Definition 5.9. CASE-средства

Современный рынок программных средств насчитывает около 300 различных CASE-средств

CASE-средства можно классифицировать по:

- Применяемым методологиям и моделям систем и БД
- Степени интегрированности с СУБД
- Доступным платформам

Notation 5.16. Классификация по типу

- Средства анализа – предназначены для построения и анализа моделей предметной области
- Средства анализа и проектирования – поддерживают наиболее распространенные методологии проектирования и используются для создания проектных спецификаций на компоненты и интерфейсы системы, архитектуру системы, алгоритмы и структуры данных
- Средства проектирования баз данных – обеспечивают моделирование данных и генерацию схем баз данных (как правило, на языке SQL) для наиболее распространенных СУБД (прямое проектирование)
- Средства разработки приложений – средства реинжиниринга, обеспечивают анализ программных кодов и схем баз данных и формируют на их основе различные модели и проектные спецификации (обратное проектирование)

Notation 5.17. CASE-средства проектирования БД

- Независимые от СУБД – поддерживают различные платформы, позволяя генерировать структуру БД для различных СУБД
- Встроенные – специализированы и ориентированы на конкретную СУБД в состав которой входят

Notation 5.18. Состав CASE-средств разработки БД

Графические средства создания и редактирования ER-модели

Средства автоматического отображения ER-модели в реляционную

Средства создания на основе полученной реляционной модели SQL-скриптов для создания СУБД-ориентированной БД: таблиц БД и связей между ними

Реальная БД может быть создана непосредственно системой – целевая СУБД должна быть доступна для системы – или с помощью сгенерированного сценария – разработчик получает файл сценария на диалекте выбранной СУБД и выполняет этот сценарий на целевом сервере

Remark 5.2. Преимущества и недостатки

Преимущества:

- CASE-средства незаменимы при создании больших проектов группой проектировщиков
- Использование CASE-средства позволяет сократить срок разработки
- Использование CASE-средства позволяет снизить число возможных ошибок

Недостатки:

- Позволяют моделировать только бинарные связи между сущностями
- Генерируют отношения по упрощенным правилам, не всегда учитывая класс принадлежности сущности связи

5.9 Диаграммы сущность-связь

Definition 5.10. ER-модель

Модель сущность-связь впервые была предложена в 1976 г. Питером Ченом. ER-модель представляет собой описание предметной области в терминах сущность (объект) – атрибут (свойство) – связь.

Для графического представления ER-модели используется ERD: детализация хранилищ данных проектируемой системы, документирование сущностей системы и способов их взаимодействия.

Notation 5.19. Основные понятия ER-модели

- Сущность
- Экземпляр сущности
- Атрибут
- Ключ
- Связь

5.10 Сущность

Definition 5.11. Сущность и экземпляр сущности

Сущность – именованное множество подобных уникальных экземпляров – объектов, событий, концепций – информация о которых должна сохраняться в базе данных. Имя сущности – существительное в единственном числе

Экземпляр сущности – конкретный представитель данной сущности

Notation 5.20. Выделение сущностей

Для формирования начального списка сущностей:

- В списке имен исходного материала выбираем все существительные
- Отвечаем на вопросы, которые касаются каждой возможной сущности:
 - Может ли она быть описана, т.е. обладает ли она набором характеристик?
 - Существует ли более одного экземпляра этой сущности?
 - Может ли один экземпляр этой сущности быть отделен от другого, т.е. идентифицирован?
 - Называет или описает это что-либо? (Если этот ответ положительный, то это скорее атрибут, чем сущность)

Анализ является субъективным процессом, поэтому различные разработчики могут создавать разные, но вполне допустимые интерпретации одного и того же факта

Notation 5.21. Типы сущностей

- Независимая (сильная, родительская, основная). Каждый экземпляр сущности может быть однозначно идентифицирован без определения его отношений с другими сущностями. Уникальность экземпляра определяется только собственными атрибутами
- Зависимая сущность (слабая, дочерняя, подчиненная). Однозначная идентификация экземпляра сущности зависит от его отношения к другой сущности. Существование экземпляра сущности зависит от существования экземпляра родительской сущности

5.11 Атрибуты

Definition 5.12. Атрибут

Атрибут – именованное и неотъемлемое свойство всех экземпляров сущности, предназначенное для классификации, идентификации, количественной характеристики и выражения состояния сущности

Атрибут выражает некоторое отдельное свойство сущности, которое характеризует ее экземпляр

Notation 5.22. Правила атрибутов

Атрибуты неотъемлемая бизнес-характеристика сущности

Сущность может обладать любым количеством атрибутов

- Каждый атрибут идентифицируется уникальным в пределах сущности именем
- Для каждого экземпляра сущности должно существовать значение каждого его обязательного атрибута
- Ни один экземпляр сущности не может обладать более чем одним значением для связанного с ней атрибута
- Значение атрибутов не должны слишком часто меняться

Notation 5.23. Определение состава атрибутов

На первом этапе необходимо выделить только те атрибуты, которые изначально имеются у сущности (если ее рассматривать отдельно от всех остальных)

Самый простой способ определения атрибутов – после идентификации сущности или связи, задать себе вопрос: какую информацию требуется хранить о . . . ? Если возникает необходимость добавить атрибут(ы) для связи, это указывает на тот факт, что связь является сущностью. После установки связей у сущности могут появиться атрибуты характеризующие связь

Существенно помогая в определении атрибутов могут различные бумажные и электронные формы и документы, используемые в организации при решении задачи

Notation 5.24. Виды атрибутов

- Составные/простые (атомарные). Составной – состоит из нескольких компонентов (ФИО, адрес), простой – состоит из одного компонента с независимым существованием (цена, дата рождения). Степень атомарности атрибутов определяется разработчиком и зависит от характера работы с данными (задач)
- Обязательные/необязательные. Значение обязательного атрибута должно быть определено для любого возможного экземпляра сущности, необязательные атрибуты допускают отсутствие значения
- Однозначные/многозначные. Однозначный – содержит только одно значение для одного экземпляра сущности, многозначный – может содержать несколько значений
- Базовый/производный (вычисляемые). Значение атрибута может быть определено по значениям других атрибутов
- Ключевые/неключевые. Ключевой (идентифицирующий) – служит для уникальной идентификации экземпляра сущности, не ключевой (описательный) – используется для определения интересующих пользователя свойств
- Изначально присущие сущности (бизнес атрибутов)/появившиеся в результате проектирования (суррогатные ключи, связи)

Notation 5.25. Типы данных и домены

Для каждого атрибута должны быть определены:

- Тип данных атрибута – характеризует вид хранящихся данных (числовой, текстовый, логический, временной и др.)
- Домен – множество допустимых значений атрибута, отвечающих бизнес-правилам предметной области

5.12 Ключи

Definition 5.13. Определение ключей

На основании выделенного множества атрибутов для сущности определяется набор ключей

Ключ – один или несколько атрибутов сущности, служащих для однозначной идентификации ее экземпляров или для их быстрого поиска

Выделяют следующие типы ключей:

- Потенциальный ключ (candidate key)
- Первичный ключ (primary key)
- Альтернативный ключ (alternate key)
- Суррогатный ключ (surrogate key)

Definition 5.14. Ключи

Потенциальный ключ – минимальный набор атрибутов, по значениям которых можно однозначно найти требуемый экземпляр сущности. Минимальность означает, что исключение из набора любого атрибута не позволяет идентифицировать сущность по оставшимся. Значение ключа уникально для каждого экземпляра сущности. Сущность может иметь несколько потенциальных ключей. Если ключ состоит из нескольких атрибутов, то она называется составным ключом

Первичный ключ – потенциальный ключ, который выбран в качестве основного идентификатора, уникально идентифицирующего экземпляр сущности

Альтернативный ключ – потенциальный ключ, не ставший первичным

Суррогатный ключ – дополнительный служебный атрибут, добавленный к имеющимся бизнес-атрибутам, единственное предназначение которого – служить первичным ключом

Notation 5.26. Характеристики хорошего первичного ключа

- Должен быть уникальным
- Должен быть обязательным (иметь значения для всех возможных экземпляров сущности)
- Должен быть минимальным не только по количеству атрибутов, но и по размеру (суммарной длине значения)
- Должен быть постоянным – значения такого атрибута не должны меняться в течение всего времени существования экземпляра сущности
- Должен обеспечивать высокую скорость поиска нужного экземпляра сущности (не должен быть текстовым)

Remark 5.3. Определение ключей

Каждая сущность должна обладать первичным ключом

Каждая сущность может обладать любым числом альтернативных ключей

Ключ может состоять из одого (простой ключ) или нескольких атрибутов (составной ключ)

Отдельный атрибут может быть частью более чем одного ключа (первичного или альтернативного)

5.13 Связь

Definition 5.15. Связь

Связь – ассоциирование экземпляров двух или более сущностей (или различных экземпляров одной и той же сущности). Одно из основных требований к организации базы данных – это обеспечение возможности поиска экземпляров одних сущностей по значениям других, для чего необходимо установить между ними определенные связи

Типы связей:

- Связь 1:1. Один экземпляр сущности одного класса связан с одним экземпляром сущности другого класса
- Связь 1:M. Один экземпляр сущности одного класса связан со многими экземплярами сущности другого класса
- Связь M:N. Несколько экземпляров сущности одного класса связаны с несколькими экземплярами сущности другого класса

Definition 5.16. Внешний ключ

Внешние ключи (Foreign Key) – это атрибуты, предназначенные для определения связи между сущностями. Сущность может обладать любым количеством внешних (наследуемых) атрибутов

Связь всегда реализуется между двумя сущностями. Одна сущность выступает в роли родительской, а другая в роли дочерней

Для поддержки связей обе сущности должны содержать наборы атрибутов, по которым они связаны: в родительской сущности – первичный ключ или альтернативный ключ. В дочерней сущности – внешний ключ. Внешний ключ должен по составу и типу атрибутов соответствовать первичному ключу, родительской сущности

Notation 5.27. Характеристики связи

- Имя связи – как правило определяется глагольной фразой. Определяет семантику связи и выражает некоторое бизнес правило. Связь может быть поименована от родителя (обязательно) и от потомка
- Мощность (кардинальность) связи – служит для обозначения количества экземпляров (значений) дочерних сущностей связанных с соответствующим значением родительской сущности
- Модальность связи – описывает ее обязательность: может и должен. Может – указывает, что экземпляр сущности может не связываться с экземпляром другой сущности. Должен – обязан связаться минимум 1 раз
- Мощность и модальность связи выражают существующие ограничения предметной области

Notation 5.28. Тип связи

- Идентифицирующая (сильная) связь. Определяет такое отношение между двумя сущностями, в котором для идентификации каждого экземпляра подчиненной сущности требуются значения атрибутов родительской сущности. Экземпляр подчиненной сущности не может существовать или не имеет смысла без экземпляра родительской сущности. Атрибуты, составляющие первичный ключ родительской сущности, входят в состав первичного ключа дочерней сущности
- Не идентифицирующая (слабая) связь. Определяет такое отношение между двумя сущностями, в котором каждый экземпляр подчиненной сущности не зависит от значений атрибутов родительской сущности. Экземпляр подчиненной сущности может существовать (имеет смысл) без экземпляра родительской сущности. Атрибуты первичного ключа родительской сущности являются неключевыми атрибутами дочерней сущности

Notation 5.29. Категориальная связь

Если две и более сущностей имеют общие по смыслу атрибуты, либо когда сущности имеют общие по смыслу связи, можно применять в модели иерархию наследования (категорий), включающую в себя суперклассы и подклассы. Не существует в реляционной модели, поэтому в ходе дальнейшего проектирования должна быть разрешена

Суперкласс (родительская сущность, супертип) – сущность, включающая в себя подклассы (категории, подтипы)

В родительской сущности вводится атрибут-дискриминатор, позволяющий распределять ее экземпляры по категориям

Notation 5.30. Виды категорий

- Эксклюзивная – каждому родительскому экземпляру может соответствовать экземпляр только в одном из потомков
- Не эксклюзивная – каждому родительскому экземпляру могут соответствовать экземпляры нескольких потомков
- Полная – выделены все возможные подтипы: одному родительскому экземпляру обязательно соответствует экземпляр в каком-либо потомке
- Неполная – определены только некоторые из возможных подтипов: могут существовать родительские экземпляры, которые не имеют соответствия экземпляров в потомках

Definition 5.17. Рекурсивная связь

Связь между различными экземплярами одной и той же сущности. Всегда не идентифицирующая. Атрибут внешнего ключа должен быть необязательным (может содержать NULL)

Remark 5.4. Требования предъявляемые к ИЛМ

- Адекватное отображение предметной области
- Недопущение неоднозначной трактовки модели
- Представление данных с минимальным дублированием
- Легкая расширяемость, обеспечивающая ввод новых данных без изменения ранее определенных, а также удаление одних элементов данных без потери других
- Легкое восприятие различными категориями пользователей
- Применимость языка описания модели как при ручном, так и при автоматизированном проектировании информационных систем

Definition 5.18. Концептуальное проектирование

Цель – построение независимой от СУБД информационной структуры путем объединения информационных требований пользователей

Результат – концептуальная (инфологическая) модель (семантическая, ER-модель)

5.14 Обеспечение корректности и целостности данных

Definition 5.19. Обеспечение корректности и целостности данных

Корректность данных – соответствие определенным ограничениям предметной области. Обеспечивается правилами валидации значений атрибутов (простые условия) или триггерами СУБД (сложные условия, нереализуемые в СУБД через заданные правила для атрибута, т.е. на уровне ограничения столбца таблицы)

Полнота данных – значение для всех обязательных атрибутов определены. Может обеспечиваться заданием значений атрибутов по умолчанию

Целостность данных – согласованное представление информации для связанных сущностей. Значений одинаковых атрибутов связанных сущностей совпадают. Обеспечивается правилами ссылочной целостности или на уровне триггеров СУБД (для правил, неподдерживаемых СУБД на уровне ограничений внешнего ключа)

Notation 5.31. Общий алгоритм разработки ER-модели

1. Выделение сущностей
2. Определение атрибутов сущностей
3. Определение первичных ключей
4. Определение связей между сущностями
5. Определение правил поддержки ссылочной целостности, правил проверки значений атрибутов и значений по умолчанию для атрибутов

Данный алгоритм является итерационным (указанная последовательность шагов может выполняться несколько раз в процессе разработки, постепенно уточняя модель).

Пункты 2-3 и 4 на практике можно поменять местами

5.15 Нормализация реляционной базы данных

Definition 5.20. Нормализация

Нормализация – формальная процедура, проверки и реорганизации отношений, в ходе которой создается оптимизированная структура БД, позволяющая избежать различных видов аномалий

Нормализация подразумевает декомпозицию (разделение) отношения на два или более, обладающих лучшими свойствами при добавлении, изменении и удалении данных

Notation 5.32. Задачи нормализации

- Исключение из таблиц повторяющейся информации
- Создание структуры, в которой предусмотрена возможность ее будущих изменений и с минимальным влиянием на приложения. Реализация логической и физической независимости

Definition 5.21. Дублирование данных

Дублирование заключается в хранении идентичных данных

- Необходимое. Важен сам факт идентичности данных – для поддержки ссылочной целостности (связей между сущностями)
- Избыточное. Приводит к проблемам при обработке данных (аномалиям), которые не являются неразрешимыми в принципе, но существенно усложняют обработку. При избыточном дублировании могут возникать противоречия данных (возможность вывода двух взаимоисключающих утверждений на основе имеющихся данных)

Definition 5.22. Аномалии

Аномалия – такая ситуация в БД, которая приводит к противоречиям в данных, либо существенно усложняет их обработку

- Аномалия модификации данных. Необходимость изменения одного значения приводит к необходимости просмотра всей таблицы (для исключения противоречий)
- Аномалия удаления данных. Состоит в том, что удаление данных из таблицы приводит к удалению информации не связанной напрямую с удаляемыми данными
- Аномалия вставки данных. Нельзя добавить одни данные без наличия других или же для вставки данных необходимо просмотреть всю таблицу (для исключения противоречий)

Основная причина аномалий – хранение в одном отношении разнородной информации

Тут важно посмотреть презентацию: лекция 5. Нормализация (до следующей лекции)

Example 5.2. Примеры избыточности и аномалий различных видов

- Избыточность: для каждого сотрудника отдела повторяются данные об отделе и должности
- Аномалия модификации: если какой-либо отдел решает переименовать необходимо изменить значение атрибута Наим_отдела для многих экземпляров сущности сотрудник
- Аномалия удаления: если все сотрудники какого-либо отдела будут уволены, информация об отделе также будет утеряна
- Аномалия вставки: если при внесении данных о каком-либо сотруднике оператор совершит ошибку и внесет неверное наименование отдела (оставив верный номер), будет не ясно, какая из строк БД содержит правильную информацию (в базе будут содержаться противоречивые сведения). Вставка сведений о новом отделе компании невозможна без наличия сведений о хотя бы одной его сотруднике

Notation 5.33. Описание предметной области

Используется далее для иллюстрации проведения нормализации

- Каждая группа на кафедре учится по определенной специальности
- Нумерация групп – сквозная: не может быть групп с одинаковыми номерами, обучающихся на разных специальностях
- Учебный план специальности определяет дисциплины, изучаемые в группах этой специальности
- Одна и та же дисциплина может встречаться в учебных планах групп разных специальностей
- Каждую дисциплину может вести как один преподаватель, так и несколько (даже в рамках одной группы)
- Каждый преподаватель может вести несколько дисциплин, а также одну дисциплину у нескольких групп

Notation 5.34. Имеющиеся аномалии

- Если уволить преподавателя, может быть потеряна информация о дисциплине и даже группе (аномалия удаления)
- При открытии новой специальности, информацию о ней невозможно будет добавить, не определив какие дисциплины на ней будут читаться и кто будет их вести (аномалия вставки)
- При необходимости изменения названия дисциплины придется просматривать все отношение (аномалия модификации)
- При добавлении новой группы необходимо будет измерять структуру таблицы – добавлять новый столбец – разреженность данных

5.16 Первая, вторая и третья нормальные формы (1НФ, 2НФ и 3НФ)

Definition 5.23. Определение 1НФ

Отношение находится в первой нормальной форме тогда и только тогда, когда

1. Определен его первичный ключ
2. Все его атрибуты содержат атомарные значения
3. Нет многозначных атрибутов (повторяющихся групп атрибутов)

Для приведения отношения к 1НФ следует:

- Разделить сложные атрибуты на атомарные
- Повторяющиеся атрибуты совместить
- Пересмотреть состав атрибутов РК

Definition 5.24. Определение 2НФ

Отношение находится во второй нормальной форме (2НФ), тогда и только тогда, когда оно находится в 1НФ и каждый его неключевой атрибут функционально полно зависит от первичного ключа. Если первичный ключ отношения состоит из одного атрибута, оно автоматически находится во 2НФ

Для приведения отношения к 2НФ следует: выделить неключевые атрибуты, которые зависят только от части первичного ключа и перенести их в новое отношение вместе с той частью ключа, от которой они зависят

Definition 5.25. Определение 3НФ

Отношение находится в третьей нормальной форме (3НФ) тогда и только тогда, когда оно находится во 2НФ и не содержит транзитивных функциональных зависимостей между неключевыми атрибутами и первичным ключом. Ни один неключевой атрибут не должен функционально зависеть от другого неключевого атрибута

Для приведения отношения к 3НФ следует: создать новое отношение и перенести в него атрибуты с одной и той же зависимостью от неключевого атрибута

Тут есть примеры приведения к 2НФ и 3НФ, но для их понимания следует посмотреть презентацию

6 Лекция 6. Создание БД и таблиц

6.1 Создание базы данных

Notation 6.1. Кластер баз данных

При инициализации кластера БД создается три базы данных:

- postgres – используется при подключении по умолчанию пользователем postgres. Не является обязательной, но некоторые утилиты предполагают ее наличие
- template0 – базовый шаблон. Не должен изменяться! Нужен как минимум в двух ситуациях
 1. Для восстановления БД из резервной копии (pg_dump)
 2. При создании новой БД с кодировкой, отличной от указанной при инициализации кластера
- template1 – шаблон для создания новых БД. Используется по умолчанию в команде CREATE DATABASE. Может быть удален и создан заново на основе template0 (необходимо сбросить флаг pg_database.datistemplate=false)

Remark 6.1.

template1, template0 – служебные базы данных, которые служат шаблоном для создания новых баз

postgres – пустая база данных, для подключения служебных утилит

Notation 6.2. Размер баз данных

Максимальный размер БД	Неограничен*
Максимальный размер таблицы	32 ТБ
Максимальный размер записи (строки) в таблице	1,6 ТБ
Максимальный размер поля в записи (строке)	1 ГБ
Максимальное количество записей (строк) в таблице	Не ограничено
Максимальное количество полей (колонок) в таблице	250-1600 в зависимости от типа данных в колонке
Максимальное количество индексов на таблицу	Не ограничено

Notation 6.3. Создание БД

```
CREATE DATABASE name
    [ [ WITH ] ] [ OWNER [=] user_name ]
    [ TEMPLATE [=] template | DEFAULT ]
    [ ENCODING [=] encoding ]
    [ LC_COLLATE [=] sort_category ]
    [ LC_CTYPE [=] char_type ]
    [ TABLESPACE [=] tablespace | DEFAULT ]
    [ ALLOW_CONNECTIONS [=] true | false ]
    [ CONNECTION LIMIT [=] -1 | limit ]
    [ IS_TEMPLATE [=] true | false ]
```

Необходимо быть суперпользователем или иметь специальное право CREATEDB

Чтобы шаблон можно было использовать для создания базы, к нему не должно быть активных подключений

Конфигурационные параметры уровня БД и разрешения уровня БД из шаблоне не копируются

CREATE DATABASE нельзя выполнять внутри блока транзакции

Example 6.1. Примеры создания БД

```
CREATE DATABASE TestDB;
```

```
CREATE DATABASE sales
WITH
    OWNER salesapp
    TABLESPACE salespace;
```

```
CREATE DATABASE hr
WITH
    ENCODING = 'UTF8'
    OWNER = hr
    CONNECTION LIMIT = 100
    TEMPLATE template0;
```

Notation 6.4. Параметры БД

- IS_TEMPLATE (datistemplate)
 - true – пользователи с правом CREATEDB могут клонировать БД
 - false – только суперпользователь и владелец БД могут ее клонировать
- ALLOW_CONNECTIONS (dataallowconn)
 - true – пользовательские подключения к БД разрешены
 - false – новые подключения к этой БД не допустимы

БД template0 помечена как dataallowconn = false для избежания любых модификаций
- CONNECTION LIMIT (datconnlimit)
 - -1 (по умолчанию) – снимает ограничение
 - Не распространяется на суперпользователей и фоновые рабочие процессы

Remark 6.2. Ошибки

- Нет разрешения на выполнение CREATE DATABASE
- Недостаточно прав в каталоге данных
- Недостаточно места на диске или другие проблемы в файловой системе
- Есть активные подключения к шаблону

Notation 6.5. Изменение параметров БД

```
ALTER DATABASE name [ [ WITH ] params [...] ];  
ALTER DATABASE name RENAME TO new_name;  
ALTER DATABASE name OWNER TO {new_owner | CURRENT_USER | SESSION_USER};  
ALTER DATABASE name SET TABLESPACE new_tablespace;
```

- Изменение параметров на уровне базы данных: ALLOW_CONNECTIONS, CONNECTION LIMIT, IS_TEMPLATE
- Изменение имени БД. Текущую БД переименовывать нельзя (подключитесь к другой БД)
- Изменение владельца БД
- Изменение табличного пространства по умолчанию для БД. Новое табличное пространство не должно содержать объекты этой БД

Notation 6.6. Изменение конфигурационных переменных времени выполнения

```
ALTER DATABASE name SET config_parameter {TO|=} {value|DEFAULT};  
ALTER DATABASE name SET config_parameter FROM CURRENT;  
ALTER DATABASE name RESET config_parameter;  
ALTER DATABASE name RESET ALL;
```

Значение переменных (параметров), заданных для БД, переопределяют значения в postgresql.conf или полученные через командную строку postgres

Notation 6.7. удаление базы данных

`DROP DATABASE name`

При удалении БД удаляются все ее объекты

Удаление базы данных это необратимая операция

Невозможно выполнить команду `DROP DATABASE` пока существует хоть одно подключение к заданной базе. Нужно подключиться к любой другой БД, в том числе и `template1`

Нужно быть владельцем БД или суперпользователем

Notation 6.8. Размер базы данных

Размер базы данных можно узнать с помощью функции `pg_database_size`

Вывести размер с указанием единиц измерения – `pg_size_pretty`

6.2 Схемы

Definition 6.1. Базы данных и схемы

Кластер баз данных (экземпляр) состоит из баз данных

База данных содержит различные схемы

Схемы содержат объекты. В каждой БД есть набор стандартных схем: `pg_catalog`, `public`

Клиент в БД может работать с объектами в любых схемах

Notation 6.9. Именованние объектов БД

Имя_сервера.Имя_БД.Имя_схемы.Имя_объекта

Правила именования объектов:

- Должно начинаться с буквы
- Может быть длиной до 128 символов
- Должно содержать только символы A-Z, a-z, 0-9, `_`, `$`, `#`
- Не должно совпадать с именем другого объекта БД
- Не должно совпадать с зарезервированным словом языка
- Ограничителем имени является двойная кавычка (имена нарушающие правила или чувствительные к регистру)

Notation 6.10. Разрешение имен

Указание схемы объекта: квалифицированное имя объекта явно определяет схему – `схема.имя`. Имя без квалификатора проверяется в схемах, указанных в пути поиска

Notation 6.11. Специальные схемы

- Схема `pg_catalog` – схема для объектов системного каталога
- Схема `public` – схема для размещения объектов по умолчанию
- Схема `pg_temp`. Автоматически создается для временных таблиц в каждом сеансе. По окончании сеанса все объекты временной схемы удаляются

Example 6.2. Управление схемами

1. Создание схемы

```
CREATE SCHEMA name;
```

2. Удаление пустой схемы (не содержащую объектов)

```
DROP SCHEMA name;
```

3. Удаление схемы со всеми содержащимися в ней объектами

```
DROP SCHEMA name CASCADE;
```

6.3 Таблицы

Remark 6.3. Важно

Таблицы являются основными строительными блоками для хранения данных в вашей базе данных

Прежде чем создавать какие-либо таблицы БД, необходимо:

- Спроектировать структуру объектов базы данных, выбрав имена, типы и назначение всех столбцов в каждой таблице
- Убедиться, что взаимосвязь каждой таблицы с другой таблицей четко определена
- Вдумчивое планирование поможет избежать ошибок при выборе подходящих типов данных

Ваша БД должна обеспечивать поддержку бизнес-процессов выбранной предметной области и гарантировать целостность данных

Notation 6.12. Типы таблиц

- Постоянные
- Временные
- Нежурналируемые

Notation 6.13. Создание таблиц

CREATE TABLE создает новую пустую таблицу в текущей БД. Владелец таблицы будет пользователь, выполнивший эту команду

TABLESPACE – определяет место хранения данных таблицы. Если табличное пространство не указано, выбирается default_tablespace для обычных или temp_tablespace для временных таблиц

Example 6.3.

```
CREATE TABLE "Sales"."CustomersOrders" (  
    OrderID serial NOT NULL,  
    OrderDate date NOT NULL,  
    CustomerID int NOT NULL,  
    Notes varchar(200) NULL  
)  
TABLESPACE diskvol1;
```

Notation 6.14. Временные таблицы

Временные таблицы:

- Существуют в рамках только одной сессии (размещаются в локальном кеше)
- Не поддерживают ограничение FOREIGN KEY
- Размещаются в специальной схеме pg_temp (pg_temp_N). При создании таких таблиц имя схемы задать нельзя. Схема pg_temp автоматически включается первой в путь поиска по умолчанию. Постоянная таблица с тем же именем не будет видна в текущем сеансе без указания схемы
- Операции над данными не пишутся в WAL – данные не защищены от сбоя
- Все индексы автоматически становятся временными

Notation 6.15. Время жизни временной таблицы

Временные таблицы автоматически удаляются в конце сеанса

Время жизни может быть ограничено рамками явной транзакции

Поведение на ON COMMIT:

- PRESERVE ROWS – никакое специальное действие в конце транзакции не выполняется. Это поведение по умолчанию
- DELETE ROWS – все строки будут удаляться в конце каждого блока транзакции (TRUNCATE)
- DROP – временная таблица будет удалена в конце текущего блока транзакции. Если у таблицы есть потомки в иерархии наследования, они также будут удалены

Remark 6.4. ВАЖНО!

Демон автоочистки не может читать и, как следствие, сжимать и анализировать временные таблицы. Соответствующие операции очистки и анализа следует выполнять, вызывая SQL-команды в рамках сеанса

Если временную таблицу планируется использовать в сложных запросах, следует выполнить для нее ANALYZE после заполнения ее данными

Definition 6.2. Нежурналируемые таблицы

При указании параметра UNLOGGED – таблица создается как нежурналируемая:

- Операции над данными не пишутся в WAL, работают гораздо быстрее обычных
- Не восстанавливается при сбое
- Содержимое нежурналируемой таблицы не реплицируется на ведомые серверы
- Любые индексы автоматически становятся нежурналируемыми
- Все последовательности нежурналируемой таблицы создаются как нежурналируемые

Notation 6.16. Создание копии таблицы

```
CREATE TABLE new_table_name  
(LIKE source_table_name {INCLUDING|EXCLUDING}  
    {COMMENTS|COMPRESSION|CONSTRAINTS  
    |DEFAULTS|GENERATED|IDENTITY|INDEXES  
    |STATISTICS|STORAGE|ALL } );
```

```
CREATE TABLE student_1  
(LIKE student INCLUDING INDEXES INCLUDING COMMENTS);
```

Создает новую таблицу со структурой родительской таблицы
CREATE TABLE LIKE не копирует какие-либо данные

Definition 6.3. Создание таблицы на основе выборки; SELECT AS

```
CREATE [TEMPORARY|UNLOGGED] TABLE [IF NOT EXISTS] new_table_name  
AS query;
```

Оператор CREATE TABLE AS создает новую таблицу и заполняет ее данными, возвращенными запросом. Столбцы новой таблицы будут иметь имена и типы данных, связанные с выходными столбцами предложения SELECT

Если предложение SELECT содержит выражения, необходимо определить названия для вычисляемых столбцов: либо в качестве алиасов, либо в определении таблицы

Definition 6.4. Создание таблицы на основе выборки; SELECT INTO

```
SELECT select_list  
INTO [TEMPORARY|UNLOGGED] [TABLE] new_table_name  
FROM table_name  
WHERE search_condition;
```

Оператор SELECT INTO создает новую таблицу и вставляет в нее данные, возвращенные запросом. В новой таблице будут столбцы с именами, такими же, как у столбцов результирующего набора запроса. В отличие от обычного оператора SELECT, оператор SELECT INTO не возвращает результат клиенту

Remark 6.5.

В языке PL/pgSQL оператор SELECT INTO используется для выбора данных в переменные

Поэтому для создания таблицы на основе выборки рекомендуется использовать оператор CREATE TABLE AS, которые предоставляет больше возможностей, чем оператор SELECT INTO

6.4 Определение столбцов

Definition 6.5. Определение столбцов

```
column_name data_type  
[COLLATE sort_rule] [column_constraint [ ... ]]
```

- Тип данных – определяет набор допустимых значений столбца. Может включать определение массива с этим типом
- COLLATE – определяет правило сортировки для символьного столбца. Если оно отсутствует, используется правило сортировки по умолчанию, установленное для типа данных столбца
- Ограничение_столбца – задают ограничения (проверки), которым должны удовлетворять добавляемые или изменяемые значения

Definition 6.6. Генерируемые столбцы

Поддерживается 3 типа генерируемых столбцов:

- Вычисляемый столбец на основе выражения
- Столбец идентификации
- Столбец SERIAL

Notation 6.17. Вычисляемый столбец на основе выражения

```
GENERATED ALWAYS AS (expression) STORED
```

Значения в столбце вычисляются с помощью генерирующего выражения, которое:

- Может обращаться к другим столбцам данной таблицы
- Не может обращаться к другим генерируемым столбцам
- Должно включать только постоянные функции и операторы

STORED – значения вычисляются при записи (добавлении или изменении) и сохраняются на диске. Виртуальные столбцы (вычисляются при чтении) не реализованы!

Notation 6.18. Столбец идентификации

```
GENERATED {ALWAYS|BY DEFAULT} AS IDENTITY [(sequence_options)]
```

Автоматически создается неявная последовательность, из которой столбец будет автоматически получать значения. Столбцу неявно назначается свойство NOT NULL
ALWAYS – при вставке (INSERT) пользовательское значение используется, только если указано OVERRIDING SYSTEM VALUE. При обновлении (UPDATE) любое отличное от DEFAULT значение будет отвергнуто

BY DEFAULT – при вставке (INSERT) пользовательское значение имеет приоритет. При обновлении (UPDATE) столбец может быть изменен обычным образом

Параметры_последовательности позволяют определить свойства последовательности – (START [WITH] начало INCREMENT [BY] шаг MAXVALUE макс_значение)

Notation 6.19. Столбец SERIAL

В PostgreSQL имеется особый тип для создания столбцов идентификации – SERIAL

- В основе этого типа лежит тип INTEGER
- Столбцу неявно назначается свойство NOT NULL
- Автоматически создается явная последовательность
- Автоматически определяется ограничение DEFAULT, которое получает значение с помощью функции nextval()

Для каждого поля этого типа создается таблица, которая содержит, помимо прочего, текущее число из последовательности. При извлечении очередного номера из последовательности текущее число увеличивается

Получить имя созданной последовательности – pg_get_serial_sequence

Notation 6.20. Столбцы содержащие массивы

Для определения столбца массива необходимо после указания типа данных добавить пару квадратных скобок. Скобки указывают на то, что в этот столбец можно без ограничений вставлять более одного значения описываемого типа данных:

- single_array type[] – одномерный массив значений
- multi_array type[][] – многомерный массив значений

Преимущества сохранения значений в массиве, по сравнению с сохранением в одной текстовой строке:

- Каждое значение хранится физически отдельно от другого значения в столбце массива
- Система знает, где начинается и заканчивается каждое значение массива, что позволяет выбирать значения по их индексу, а не вручную анализировать их из длинной текстовой строки

6.5 Изменение и удаление таблиц

Notation 6.21. Изменение таблиц

```
ALTER TABLE table_name action;  
{RENAME TO|ADD COLUMN ...|RENAME COLUMN ...  
|ALTER COLUMN ...|DROP COLUMN ...[CASCADE]}
```

Поддерживаемые операции:

- Rename To – переименование таблицы
- Add column – добавление столбца
- Rename Column – переименование столбца
- Drop Column – удаление столбца
- Alter Column – изменение характеристик столбца
 - Изменение типа данных
 - Переименование столбца
 - Задание/изменение значения по умолчанию
 - Добавление ограничений целостности

Remark 6.6. ВАЖНО

Изменение типа данных столбца может вызвать ошибку, в случае если:

- Это может привести к усечению существующих данных
- Преобразование имеющихся данных к указанному типу не поддерживается
- Существует ссылающийся на данный столбец внешний ключ (FK) в другой таблице

Удаление столбца, являющегося первичным ключом (PK) не поддерживается при наличие соответствующего внешнего ключа (FK). В случае, если столбец действительно должен быть удален необходимо использовать параметр CASCADE - DROP ... CASCADE

Notation 6.22. Изменение типа данных столбца

В том случае, когда исходный типа данных столбца изменяется на другой тип данных в пределах одной группы, например, оба типа – числовые, то проблем обычно не возникает

Если исходный и целевой типы данных относятся к разным группам, тогда потребуется использование фразы USING команды ALTER TABLE

Notation 6.23. Удаление таблиц

```
DROP TABLE [IF EXISTS] table_name [CASCADE|RESTRICT];
```

- Параметр CASCADE позволяет удалить таблицу и зависимые от нее таблицы
- Параметр RESTRICT отклоняет удаление, если от таблицы зависит какой-либо объект. Параметр RESTRICT используется по умолчанию, если вы не укажете его явно в операторе DROP TABLE
- Для удаления сразу нескольких таблиц необходимо перечислить их в операторе DROP TABLE через запятую

6.6 Хранение данных большого объема

Notation 6.24. Структура хранения данных

Данные каждой таблицы сохраняются в отдельном файле. Каждый файл занимает не больше 1Гб (может быть изменено при сборке) и имеет свой уникальный идентификатор – relfilenode. Если таблица больше 1Гб, то ее данные сохраняются в нескольких файлах. Файлы состоят из 8Кб страниц, которые в случае необходимости помещаются в буферный кэш. Версия строки должна целиком помещаться на одну страницу

Notation 6.25. Хранение данных большого объема

Использование PostgreSQL фиксированного размера страниц не позволяет кортежам занимать несколько страниц

Поэтому для сохранения очень больших значений полей (varchar/text/bytea/numeric), может быть использована одна из следующих стратегий:

- Сжать данные столбца
- Вынести данные соответствующего столбца в отдельную служебную таблицу
- Объединить оба способа

В PostgreSQL используется технология TOAST – The Oversized Attributes Storage Technique

- Фактически для каждой таблицы с потенциально большими полями автоматически создается парная TOAST-таблица с нарезкой каждой большой записи сегментами по 2Кб (и к ней специальный индекс)
- Если приходится записывать строку с большим значением, то реальная запись произойдет не только в основную таблицу, но и в TOAST
- Данные из TOAST-таблицы читаются только при обращении к длинному атрибуту

Notation 6.26. Способы хранения больших значений

Все столбцы имеют связанную с ними стратегию хранения:

- Plain (p) – не допускает ни сжатия, ни внешнего хранения (numbers, chars)
- Extended (x) – допускает как сжатие, так и внешнее хранение. Это значение по умолчанию для большинства типов данных, поддерживающих TOAST. Сначала предпринимается попытка сжатия, если строка все еще слишком велика создается TOAST таблица
- Main (m) – допускает сжатие, а внешнее хранение применяется как крайняя мера, когда нет другого способа уменьшить строку (numeric)
- External (e) – допускает отдельное хранение, но не сжатие (сразу создает TOAST-таблицу). Ускоряет работу с данными в текстовых (text) и байтовых (bytea) столбцах

Notation 6.27. Системные данные таблицы

PostgreSQL определяет ряд системных столбцов во всех таблицах, которые обычно невидимы для пользователя. Они не будут отображаться в запросах, если они не запрошены явно

Эти столбцы содержат метаданные о содержимом строк таблицы. Многие из них содержат данные, которые могут помочь различать кортежи (отдельные состояния строки) при работе с блоками транзакций. Любая строка таблицы, в дополнение к пользовательским столбцам, будет иметь значения в каждом из системных столбцов

Notation 6.28. Системные столбцы

Системный столбец	Описание
tableoid (table object identifier)	oid таблицы, содержащей строку. Имя и oid таблицы связаны системой таблицей pg_class
xmin (transaction minimum)	Идентификатор транзакции, вставившей запись
cmin (command minimum)	Идентификатор команды, начинающийся с 0, связанный с транзакцией вставки записи
xmax (transaction maximum)	Идентификатор транзакции, удалившей запись. Если запись видна (не была удалена), он устанавливается равным нулю
cmx (command maximum)	Идентификатор команды, связанный с транзакцией удаления записи. Как и xmax, если запись видна, он устанавливается равным нулю
ctid (tuple identifier)	Идентификатор, описывающий физическое расположение записи в базе данных. ctid представлен парой чисел: номер блока и индекс записи в этом блоке

6.7 Создание представлений VIEWS

Remark 6.7. Для чего нужны представления?

При работе с SQL часто возникают ситуации, когда требуется использовать запросы повторно. Это особенно актуально при работе с большими или сложными запросами – вы можете запросить представление, основанное на сложном запросе, с помощью просто SELECT оператора. Передача чрезмерно больших запросов по сети на ваш сервер PostgreSQL для часто выполняемых подпрограмм может оказаться крайне неэффективной

По умолчанию, представление лишено физической материализации, поэтому указанный запрос будет выполняться при каждом обращении к представлению

С точки зрения администратора, представления позволяют обеспечить уровень безопасности для данных в БД

Definition 6.7. Создание представления (View)

```
CREATE [OR REPLACE] [TEMP|TEMPORARY]
[RECURSIVE] VIEW name [(column_name [, ...])]
    [WITH (view_option [= value] [, ...])]
    AS query
    [WITH [CASCADED | LOCAL] CHECK OPTION]
```

Представление – это сохраненные в БД именованные запросы. Вы можете ссылаться на представление в операторе SELECT, как на таблицы (виртуальные). Столбцы результирующей выборки должны иметь уникальные имена и желаемые типы

Представление определяется с помощью оператора SELECT

Если в определении представления задействованы временные таблицы, представление так же создается как временное (вне зависимости от присутствия явного указания TEMPORARY)

Если при создании представления в предложении SELECT было указано *, столбцы, добавляемые в таблицу позже, частью представления не будут!

Notation 6.29. Безопасность

Владелец представления должен иметь соответствующие права на нижележащие базовые отношения (таблицы и/или представления)

Для пользователя представления доступ к таблицам, используемым в SELECT-запросе представления, определяется правами владельца представления. Это позволяет организовать безопасный, но ограниченный доступ к нижележащим таблицам

Если в представлении используются пользовательские функции пользователь представления должен иметь все права, необходимые для вызова всех функций, задействованных в представлении

Definition 6.8. Изменяемые представления

Если представление удовлетворяет следующим требованиям, оно может использоваться для модификации данных в исходной таблице:

- Запрос должен ссылаться на одну базовую таблицу (или изменяемое представление) в предложении FROM
- Определение представления не должно содержать предложения WITH, DISTINCT, GROUP BY, HAVING, LIMIT и OFFSET на верхнем уровне запроса
- Определение представления не должно содержать операции с множествами (UNION, INTERSECT, EXCEPT) на верхнем уровне запроса
- Список выборки в запросе не должен содержать агрегатные и оконные функции, а также функции, возвращающие множества

Пользователь, выполняющий операции добавления, изменения или удаления данных через представление, должен иметь соответствующие права для этого представления

Definition 6.9. Изменяемые представления с WHERE

Если автоматически изменяемое представление содержит условие WHERE, это условие ограничивает набор строк, которые могут быть изменены командой UPDATE и удалены командой DELETE в этом представлении

Remark 6.8. Внимание

- UPDATE может изменить строку так, что она больше не будет соответствовать условию WHERE и больше не будет видна через представление
- INSERT может вставить в базовое отношение строки, которые не удовлетворяют условию WHERE и поэтому не будут видны через представление
- ON CONFLICT UPDATE может подобным образом воздействовать на существующую строку, не видимую через представление

Notation 6.30. Поддержка изменений исходных данных

[WITH[CASCADED|LOCAL] CHECK OPTION]

Управляет поведением автоматически изменяемых представлений, не имеющих триггеров INSTEAD OF: если указание CHECK OPTION отсутствует, команды INSERT и UPDATE смогут создавать в этом представлении строки, которые нарушают условие фильтрации, заданные в представлении

LOCAL – новые строки проверяются только по условиям, определенным непосредственно в самом представлении. Любые условия, определенные в нижележащих базовых представлениях, не проверяются (если только в них нет указания CHECK OPTION)

CASCADED (по умолчанию) – новые строки проверяются по условиям данного представления и всех нижележащих базовых

Notation 6.31. Параметры представления

WITH (option_name [= value] [, ...])

- `check_option` (enum). Может принимать значение `local` (локально) или `cascaded` (каскадно). Равнозначен указанию `WITH [CASCADED | LOCAL] CHECK OPTION`. Изменить этот параметр у существующего представления с помощью `ALTER VIEW` нельзя!
- `security_barrier` (boolean). Следует использовать, если представление должно обеспечивать защиту на уровне строк

Notation 6.32. Материализованные представления

Материализованные представления PostgreSQL позволяют физически сохранять результат запроса. Они кэшируют результат сложного и затратного запроса и позволяют периодически обновлять этот результат (`WITH DATA`)

Материализованные представления полезны во многих случаях, когда требуется быстрый доступ к данным, поэтому они часто используются в хранилищах данных и приложениях бизнес-аналитики

Notation 6.33. Загрузка данных в материализованное представление

При создании представления с параметром `WITH NO DATA` представление помечается как нечитаемое. Вы не можете запрашивать данные из представления, пока не загрузите данные!

Для загрузки данных в материализованное представление используется оператор `REFRESH MATERIALIZED VIEW`

Notation 6.34. Изменение представления

Для изменения запроса, определяющего представление, используется оператор `CREATE OR REPLACE VIEW`

Измененный запрос должен генерировать те же столбцы, которые были созданы при создании представления

- PostgreSQL не поддерживает удаление существующего столбца в представлении
- Новые столбцы должны иметь те же имена, те же типы данных и в том же порядке, в котором они были указаны при создании представления
- PostgreSQL позволяет добавлять дополнительные столбцы в конец списка столбцов

Notation 6.35. Изменение определения представления

Для изменения имени представления, имени столбца, владельца или схемы представления используется оператор ALTER VIEW

```
ALTER VIEW [IF EXISTS] name ALTER [COLUMN] column_name SET
    DEFAULT expression;
ALTER VIEW [IF EXISTS] name ALTER [COLUMN] column_name DROP DEFAULT;
ALTER VIEW [IF EXISTS] name OWNER TO {new_owner
    | CURRENT_USER | SESSION_USER};
ALTER VIEW [IF EXISTS] name RENAME [COLUMN] column_name TO
    new_column_name;
ALTER VIEW [IF EXISTS] name RENAME TO new_view_name;
ALTER VIEW [IF EXISTS] name SET SCHEMA new_schema;
```

Notation 6.36. Изменение параметров представления

```
ALTER VIEW [IF EXISTS] name SET (option [= value] [, ...]);
ALTER VIEW [IF EXISTS] name RESET (option [, ...]);
```

В настоящее время поддерживаются следующие параметры:

- `check_option` (enum) – изменяет параметр проверки представления: `local` (локально) или `cascaded` (каскадно)
- `security_barrier` (boolean) – изменяет свойство представления, включающее барьер безопасности (`true` или `false`)

Notation 6.37. Удаление представления

Чтобы удалить существующее представление в PostgreSQL используется оператор DROP VIEW

- `CASCADE` – автоматически удалять объекты, зависящие от данного представления (например, другие представления), и, в свою очередь, все зависящие от них объекты
- `RESTRICT` – отказывать в удалении представления, если от него зависят какие-либо объекты. Это поведение по умолчанию!

Выполнить эту команду может только владелец представления

7 Лекция 7. Создание ограничений

7.1 Внедрение ограничений целостности данных

Definition 7.1. Ограничения

Ограничения – механизм Database Engine для автоматического обеспечения целостности данных в базе данных

Ограничения обеспечивают:

- Сущностную целостность
- Доменную целостность
- Ссылочную целостность

Типы ограничений целостности данных:

- Разрешение значений NULL
- Определения DEFAULT значений
- Ограничения CHECK
- Ограничения UNIQUE
- Ограничения PRIMARY KEY
- Ограничения FOREIGN KEY
- Ограничения EXCLUSION

Notation 7.1. Ограничение NOT NULL

Ограничение уровня столбца, определяемого при создании или модификации таблицы NOT NULL указывает, что в столбце недопустимы значения NULL

Notation 7.2. Определения DEFAULT значений

Ограничение уровня столбца, определяемого при создании или модификации таблицы. Определяет значение по умолчанию, которым Database Engine будет заполнять столбец, если при вставке строки для этого столбца значение не указано

При определении значения по умолчанию для новой колонки, добавляемой в существующую таблицу не происходит фактического добавления значений во все существующие записи

Notation 7.3. Ограничение CHECK

Ограничения CHECK может быть определено на уровне столбца или таблицы при создании или модификации таблицы. Для каждого столбца можно указать несколько непротиворечивых ограничений CHECK

Ограничение CHECK позволяет указать логическое условие для одного или нескольких столбцов, которое должно быть выполнено перед вставкой или обновлением значений. Использует логическое выражение для оценки значений перед их вставкой или обновлением в столбце. Если значения проходят проверку, PostgreSQL вставит или обновит эти значения в столбце. В противном случае PostgreSQL отклонит изменения и выдаст ошибку нарушения ограничения

Если при создании ограничения не указать его имя, PostgreSQL задаст его сам

Notation 7.4. Ограничение UNIQUE

Может быть задано на уровне столбца или таблицы при создании или модификации таблицы

Обеспечивает уникальность записей в таблице (альтернативный ключ). При вставке новой строки, ограничение UNIQUE проверяет, является ли значение уникальным. Если значение не является уникальным (значение уже существует в столбце таблицы) – изменение отклоняется и выдается ошибка. Тот же процесс выполняется для обновления существующих данных

Допускает наличие NULL-значений в столбце, при условии что не установлено ограничение NOT NULL

Автоматически создается связанный с ограничением уникальный индекс

Если при создании ограничения не указать его имя, PostgreSQL задаст его сам

Remark 7.1. Добавление и удаление ограничения UNIQUE

При добавлении ограничения UNIQUE к существующему столбцу таблицы, в котором есть неуникальные значения – будет выдано сообщение об ошибке

При удалении ограничения UNIQUE, автоматически удаляется связанный с ограничением уникальный индекс

Notation 7.5. Ограничение PRIMARY KEY

Может быть задано на уровне столбца или таблицы при создании или модификации таблицы. Используется для создания первичного ключа таблицы

В таблице может быть только одно ограничение PRIMARY KEY

Столбец PRIMARY KEY не может содержать значения NULL. Технически, ограничение PRIMARY KEY представляет собой комбинацию ограничения UNIQUE и ограничения NOT NULL

Автоматически создается связанный с ограничением уникальный индекс сбалансированного дерева

Если при создании ограничения не указать его имя, PostgreSQL задаст его сам

Remark 7.2. Добавление и удаление ограничения PRIMARY KEY

При добавлении ограничения PRIMARY KEY к существующему столбцу таблицы, в котором есть неуникальные значения 00 будет выдано сообщение об ошибке

При попытке удаления первичного ключа, на который ссылается внешний ключ в связанной таблице, будет выдано сообщение об ошибке

Для удаления первичного ключа и связанного с ним внешнего ключа необходимо использовать указание CASCADE

При удалении ограничения PRIMARY KEY автоматически удаляется связанный с ограничением уникальный индекс

Notation 7.6. Ограничение FOREIGN KEY

Внешний ключ – это столбец или группа столбцов в таблице, которые ссылаются на существующий первичный или альтернативный ключ другой таблицы. Таблица, содержащая внешний ключ, называется ссылочной таблицей или дочерней таблицей. Таблица, на которую ссылается внешний ключ, называется родительской таблицей

Таблица может иметь несколько внешних ключей в зависимости от ее отношений с другими таблицами

В PostgreSQL внешний ключ определяется с помощью ограничения FOREIGN KEY. Ограничение FOREIGN KEY помогает поддерживать ссылочную целостность данных между дочерней и родительской таблицами. Ограничение внешнего ключа указывает, что значения в столбце или группе столбцов дочерней таблицы равны значениям в столбце или группе столбцов родительской таблицы

У пользователя должно быть разрешение REFERENCES для таблиц, на которую указывают ссылки

Индекс не создается автоматически, поэтому его необходимо создать самостоятельно

Notation 7.7. Тип обработки

- NO ACTION – если при проверке ограничения обнаруживаются зависимые записи, возникает ошибка (это поведение по умолчанию). Позволяет отложить проверку в процессе транзакции или определении ограничения внешнего ключа как DEFERRABLE с режимом INITIALLY DEFERRED или INITIALLY IMMEDIATE
- RESTRICT – предотвращает удаление/изменение связанной записи. Полностью запрещает удаление связанной строки и не допускает отложенной проверки до конца транзакции
- CASCADE – автоматическое удаление/изменение зависимых записей при удалении/изменении связанных записей
- SET NULL – замена значений внешнего ключа на NULL в зависимых записях при удалении/изменении связанных записей
- SET DEFAULT – замена значений внешнего ключа на значение по умолчанию в зависимых записях при удалении/изменении связанных записей. Необходимо определение ограничения DEFAULT для внешнего ключа. Необходимо наличие записи в главной таблице с соответствующим значением первичного ключа

Remark 7.3. ВАЖНО

Влияние ALTER TABLE ADD CONSTRAINT: при добавлении ограничений к таблице выполняется проверка существующих данных. Сканирование большой таблицы может занять длительное время и будет препятствовать внесению других изменений до фиксации команды ALTER TABLE ADD CONSTRAINT

Для снижения влияния данной операции на параллельные транзакции можно отключить проверку существующих данных

Notation 7.8. Отключение проверки существующих данных

Параметр NOT VALID:

- Разрешен только для ограничений CHECK и FOREIGN KEY
- Команда ALTER TABLE ADD CONSTRAINT не сканирует таблицу и может быть зафиксирована немедленно
- Созданное ограничение будет применяться к последующим вставкам или обновлениям, но существующие записи будут игнорироваться
- Возможность отложить проверку на время меньшей активности или провести дополнительную работу с существующими ошибками и при этом не допустить новых

Notation 7.9. Проверка существующих данных

Команда VALIDATE CONSTRAINT:

- Выполняется полное сканирование таблицы для проверки всех существующих строк на соответствие ограничению
- Если ограничение уже помечено как верное, ничего не происходит
- Выполнение этой команды не препятствует параллельным изменениям (для добавляемых или изменяемых строк в других транзакциях ограничение уже действует)

7.2 Гранулярность проверки ограничений

Notation 7.10. Гранулярность проверки ограничений

В PostgreSQL существует 3 уровня проверки ограничений:

- На уровне строки: SQL-запрос, который обновляет множество строк, остановится на первой строке, не удовлетворяющей ограничению
- На уровне запроса: в этом случае запрос произведет все изменения, прежде чем проверить ограничения
- На уровне транзакции: любой запрос внутри транзакции может нарушить ограничение. Но в момент фиксации, ограничения будут проверены и транзакция откатится, если хотя бы одно из них будет нарушено

Notation 7.11. DEFERRABLE

Чтобы иметь возможность изменять гранулярность проверки ограничения необходимо явно объявить ограничение как отложенное (DEFERRABLE). Работает только для UNIQUE, PRIMARY KEY и REFERENCES. CHECK и NOT NULL всегда будут проверяться для каждой строки

При создании ограничения определить одну из следующих характеристик:

- DEFERRABLE INITIALLY DEFERRED – откладываемое. Проверка ограничения откладывается до фиксации транзакции, но эта настройка может меняться для каждой транзакции с помощью оператора SET CONSTRAINTS
- DEFERRABLE INITIALLY IMMEDIATE – откладываемое. Ограничения проверяются в конце каждого оператора, но эта настройка может меняться для каждой транзакции с помощью оператора SET CONSTRAINTS
- NOT DEFERRABLE INITIALLY IMMEDIATE – не откладываемое (по умолчанию!). Ограничение проверяется после обновления каждой строки по умолчанию и мы не можем изменить этот параметр в транзакции

Notation 7.12. Управление временем проверки ограничений для текущей транзакции

Чтобы указать когда будет выполняться проверка ограничений в текущей транзакции используется инструкция

```
SET CONSTRAINTS { ALL | name [ , ... ] } { DEFERRED | IMMEDIATE }
```

Режим IMMEDIATE или DEFERRED задается для каждого ограничения независимо: ограничение IMMEDIATE проверяются в конце каждого оператора, а ограничение DEFERRED откладываются до момента фиксации транзакции

На ограничения, созданные с параметром NOT DEFERRABLE, команда SET CONSTRAINTS не влияет!

Для AutoCommit транзакций нет разницы между IMMEDIATE и DEFERRED для одного запроса

Remark 7.4. ВНИМАНИЕ

В настоящее время это распространяется только на ограничения UNIQUE, PRIMARY KEY, REFERENCES и EXCLUDE

Ограничения NOT NULL и CHECK всегда проверяются немедленно в момент добавления или изменения строки (не в конце оператора)

Ограничения уникальности (UNIQUE) и ограничения-исключения (EXCLUDE), объявленные без указания DEFERRABLE, так же проверяются немедленно

Notation 7.13. Отложенные ограничения позволяют

- Добавлять и изменять данные в таблицы, связанные циклическими проверками согласованности (циклические ограничения муж/жена)
- Сделать процесс наполнения таблиц более удобным. Отложенные внешние ключи позволяют загружать данные в таблицы в любом порядке

Remark 7.5. Проблемы

- Несмотря на то, что объявление ограничений отложенными дает большую гибкость, не стоит откладывать все ограничения. Столбцы, на которые ссылается внешний ключ, должны быть столбцами неотложенного ограничения уникальности или первичного ключа в таблице
- Неэффективная работа планировщика. Так как нет гарантий, что откладываемые ограничения будут выполняться все время, они мешают планировщику в выборе правильных и эффективных стратегий выполнения запросов. Отложенные ограничения РК допускают наличие повторяющихся значений в определенный момент времени, что снижает количество оптимизаций, которые может выполнить планировщик запросов
- Усложнение отладки. Получение ошибок только после завершения набора запросов усложняет отладку, так как нет возможности точно определить, какой запрос вызвал проблему
- Неэффективное использование ресурсов. Любая работа, выполненная после отложенного ограничения, может быть в итоге потеряна, после отката транзакции. Отложенные ограничения могут тратить CPU впустую

7.3 Дополнительные возможности

Definition 7.2. Домен

Домен – это определяемый пользователем тип данных, который может иметь необязательные ограничения (DEFAULT, NOT NULL и CHECK), ограничивающие допустимый набор значений

Домены полезны для абстрагирования и вынесения общих характеристик разных полей в единое место для упрощения сопровождения. Например, столбец телефон, определенный в нескольких таблицах, требует наличие ограничения CHECK, проверяющие синтаксис телефона. В этом случае лучше определить домен, а не задавать для каждой таблицы отдельные ограничения

Notation 7.14. Создание домена

Для создания домена используется оператор CREATE DOMAIN

- Имя должно быть уникально в пределах схемы среди имен типов и доменов
- Необходимо иметь право USAGE для исходного типа данных
- Пользователь, определяющий домен, становится его владельцем

```
CREATE DOMAIN domain_name [ AS ] data_type
    [ COLLATE collation ]
    [ DEFAULT expression ]
    [ CONSTRAINT constraint_name {NOT NULL | NULL | CHECK (expr)}]
```

- DEFAULT. Если значение по умолчанию не указано, им будет значение NULL. Значение по умолчанию для конкретного столбца имеет приоритет
- CHECK. Задаёт ограничение проверки уровня столбца. Проверяемое значение в этом выражении обозначается ключевым словом VALUE. Если для домена задано несколько ограничений CHECK, они будут проверяться в алфавитном порядке имен

Remark 7.6. Примечания

Ограничения домена NOT NULL проверяется при преобразовании значения к типу домена. Если значение NULL уже имеет тип домена оно не будет дополнительно проверяться. Решение: домен – допускает NULL, столбец доменного типа – NOT NULL. Ограничения CHECK проверяются только при первом преобразовании значения в тип домена. Если в выражении CHECK используется пользовательская функция, которая может быть изменена, сохраненные значения типа домена могут перестать удовлетворять ограничению CHECK и это останется незамеченным. Решение:

- Удалить ограничение (ALTER DOMAIN DROP CONSTRAINT)
- Изменить определение функции
- Пересоздать ограничение (при этом будет выполнена перепроверка сохраненных данных)

Example 7.1. Изменение домена

```
ALTER DOMAIN domain_name {SET DEFAULT expr | DROP DEFAULT};
ALTER DOMAIN domain_name {SET | DROP} NOT NULL;
ALTER DOMAIN domain_name ADD constraint_name [NOT VALID];
ALTER DOMAIN domain_name DROP CONSTRAINT [IF EXISTS]
    constraint_name [RESTRICT | CASCADE];
ALTER DOMAIN domain_name RENAME CONSTRAINT old_name TO new_name;
ALTER DOMAIN domain_name VALIDATE CONSTRAINT constraint_name;
ALTER DOMAIN domain_name OWNER TO {new_owner |
    CURRENT_USER | SESSION_USER};
ALTER DOMAIN domain_name RENAME TO new_name;
ALTER DOMAIN domain_name SET SCHEMA new_schema;
```

Notation 7.15. Удаление домена

- CASCADE. Автоматически удалять объекты, зависящие от данного домена (например, столбцы таблиц), и, в свою очередь, все зависящие от них объекты
- RESTRICT. Отказать в удалении домена, если от него зависят какие-либо объекты. Это поведение по умолчанию

Удалить домен может только его владелец

Definition 7.3. Ограничение EXCLUDE

EXCLUDE определяет ограничение исключения, которое гарантирует, что при сравнении любых двух строк в указанных столбцах или выражениях с использованием указанных операторов хотя бы одно из этих сравнений (OR) вернет значение FALSE или NULL. Если хотя бы одно условие не выполняется – запись будет добавлена. Если все указанные операторы проверяют равенство, это эквивалентно ограничению UNIQUE (но ограничение UNIQUE работает быстрее)

Когда добавляется новая или обновленная строка, необходимо сравнить ее с каждой существующей строкой на основе списка сравнений, указанных в ограничении: если все сравнения между новыми данными и существующей строкой возвращают значение TRUE, отклонить новые данные

Remark 7.7. Синтаксис

```
[CONSTRAINT constraint_name] EXCLUDE [USING index_method]
(name_of_column WITH operator [, ...])
index_parameters [WHERE (predicate)]
```

Ограничения исключения реализуются с помощью индекса. На практике метод доступа всегда будет GiST или SP-GiST

Необходимо установить расширение `btree_gist`, которое определяет ограничения исключения для простых скалярных типов данных (выполнить один раз для каждой БД)

Предикат позволяет указать ограничение исключения для подмножества записей таблицы (создает частичный индекс). Обратите внимание, что круглые скобки необходимы вокруг предиката

8 Лекция 8. Дополнительные возможности

8.1 Дополнительные возможности создания таблиц

Notation 8.1. Введение

Обслуживание БД включает в себя не только стандартное добавление, обновление и удаление записей и так далее, но и периодическое редактирование схемы таблиц БД. Такие операции, как добавление, редактирование и удаление столбцов таблицы, являются частью современной реальности жизненного цикла БД, поскольку постоянно добавляются новые функции.

По мере того, как все системы баз данных становятся все более важными для бизнеса, окна обслуживания по необходимости становятся намного меньше и более чувствительными ко времени.

Поэтому возникает вопрос: как можно обновить многотерабайтную таблицу с почти нулевым временем простоя?

8.2 Наследование таблиц

Notation 8.2. Поддержка наследования

Наследование – один из основных принципов объектно-ориентированного программирования

Впервые наследование таблиц было представлено в четвертой версии стандарта языка запросов SQL – SQL 1999 (также называемый SQL 3)

В PostgreSQL реализована поддержка наследования таблиц. Таблица может наследоваться от одной или нескольких родительских таблиц. Связь родитель-потомок реализуется внутри PostgreSQL через tableoid

Definition 8.1. Наследование таблиц

Наследование столбцов: дочерняя таблица объединяет в себе все столбцы родительских таблиц, а также столбцы, описанные непосредственно в ее определении, столбцы с одним именем и одним типом данных объединяются

Наследование ограничений: дочерние таблицы автоматически наследуют ограничения CHECK и ограничения NOT NULL (если не задано явно NO INHERIT). Ограничения UNIQUE, PRIMARY KEY и FOREIGN KEY – не наследуются!

Notation 8.3. Создание дочерней таблицы

Отношение наследования между таблицами может быть установлено при создании дочерней таблицы

```
CREATE TABLE child_table (list_of_columns)
    INHERITS (parent_table [, ...]);
```

Example 8.1.

```
CREATE TABLE customers (
    id serial PRIMARY KEY,
    Lname varchar(15),
    Fname varchar(15),
    country varchar(15),
    city varchar(15));

CREATE TABLE vip_customers (
    status varchar(15),
    birthdate date,
    discount decimal(3, 2))
INHERITS (customers);

CREATE TABLE potential_customers (
    last_call date,
    managerid int)
INHERITS (customers);
```

Notation 8.4. Определение дочерней таблицы

Отношение наследования может быть установлено при изменении существующей таблицы. Таблица должна включать все столбцы родительской, создана как копия родительской. Столбцы должны иметь одинаковые типы данных. Таблица-потомок должна иметь соответствующие ограничения родительской таблицы (NULL и CHECK), за исключением ненаследуемых

```
ALTER TABLE [IF EXISTS] [ONLY] name [*]
    INHERIT parent_table [, ...];
```

Remark 8.1. Важно

Родительскую таблицу нельзя удалить, пока существуют унаследованные от нее дочерние. Для удаления таблицы вместе со всеми ее потомками необходимо использовать параметр CASCADE

В дочерних таблицах нельзя удалять или модифицировать столбцы или ограничения-проверки, унаследованные от родительских таблиц. Удалить столбцы, унаследованные дочерними таблицами, можно только с помощью параметра CASCADE

Для удаления ссылки наследования из дочерней таблицы используется оператор NO INHERIT команды ALTER TABLE. Результаты запросов к родительской таблице не будут включать записи, взятые из целевой таблицы

```
ALTER TABLE [IF EXISTS] name
    NO INHERIT parent_table;
```

Notation 8.5. Управление ограничениями

Добавление ограничения-проверки в таблицу и все ее потомки:

```
ALTER TABLE customers
ADD CONSTRAINT zip_chk CHECK (char_length(zipcode) = 5);
```

Добавление ограничения-проверки только в родительскую таблицу:

```
ALTER TABLE customers
ADD CONSTRAINT zip_chk CHECK (char_length(zipcode) = 5) NO INHERIT;
```

Удаление ограничения проверки из таблицы и из всех ее потомков:

```
ALTER TABLE customers DROP CONSTRAINT zip_chk;
```

Удаление ограничения проверки только из родительской таблицы:

```
ALTER TABLE ONLY customers DROP CONSTRAINT zip_chk;
```


Notation 8.6. Работа с данными

Не все SQL-команды могут работать с иерархиями наследования

Поддерживаются: команды, выполняющие выборку данных, изменение данных или модификацию схемы (SELECT, UPDATE, DELETE, большинство вариантов ALTER TABLE)

Не поддерживаются: INSERT и ALTER TABLE ... RENAME

При работе с данными следует помнить, что ограничения уникальности (Primary Key и Unique) и ограничения внешних ключей (Foreign Key) относятся только к отдельным таблицам, но не к их потомкам. Для обеспечения уникальности в столбцах PK можно создать DEFAULT для вставки данных из одной последовательности – nextval('sequence_name'::regclass)

Notation 8.7. Добавление данных

Механизм наследования не способен автоматически распределять данные команд INSERT или COPY по таблицам в иерархии наследования. INSERT всегда вставляет данные непосредственно в указанную таблицу. Каждая таблица заполняется данными отдельно – вставка значений в родительскую таблицу никак не влияет на дочернюю таблицу

В случае, если дочерние таблицы имеют абсолютно идентичную с родителем структуру возможно при вставке данных в таблицу-родитель использовать механизм перенаправления: с помощью правила перенаправления – REWRITE RULE или с помощью триггера

Пользователь должен иметь права доступа как к родительской, так и к дочерней таблицам

Notation 8.8. Запросы к данным

Извлечение данных ТОЛЬКО из родительской таблицы: ключевое слово ONLY указывает, что строки не должны быть получены из дочерних таблиц, а только из указанного родителя

```
SELECT * FROM ONLY parent_table;
```

Извлечение записей из всех таблиц родитель-потомок:

```
SELECT * FROM parent_table;
```

Получение информации о расположении записи с помощью идентификатора таблицы

```
SELECT p.tableoid::regclass, * FROM parent_table as p;
```

```
SELECT p.tableoid::regclass, *  
FROM parent_table as p  
JOIN pg_class pc ON p.tableoid = pc.oid;
```

Notation 8.9. Изменение и удаление данных

Для изменения записей только родительской таблицы необходимо использовать ключевое слово **ONLY** (изменения не должны затрагивать строки из дочерних таблиц, а только из указанного родителя)

```
UPDATE ONLY parent_table ...;
```

Изменение значений во всех таблицах

```
UPDATE parent_table ...;
```

Для удаления записей только из родительской таблицы необходимо использовать ключевое слово **ONLY**

```
DELETE FROM ONLY parent_table ...;
```

Удаление записей из всех таблиц

```
DELETE FROM parent_table ...;
```

Notation 8.10. Преимущества наследования

Более высокая производительность запросов: каждая отдельная таблица содержит меньше данных, что ускоряет поиск как с индексом, так и без него

Более простое управление базой данных:

- Добавление новых специальных полей для отдельных дочерних таблиц не требует изменения всех таблиц
- Изменение схемы всех таблиц в иерархии осуществляется внесением изменения только в родительскую таблицу (затем оно распространяется на каждую унаследованную таблицу). Это экономит время и снижает вероятность случайных расхождений
- Выполнение команд обслуживания, таких как полная очистка или переиндексация унаследованных таблиц, будет выполняться без блокировки других данных

8.3 Секционирование (партиционирование) таблиц

Remark 8.2. Проблема

По мере того, как размер таблицы увеличивается с загрузкой данных, также увеличиваются затраты: на сканирование данных, подкачку страниц в память, другие затраты на операции с таблицами

С ростом объема таблицы логарифмически растет и глубина индексов. Это заставляет сервер для выполнения тех же задач чтения/записи обрабатывать в разы больше страниц данных, чем в начале

ЦЕЛЬ: поддерживать примерно одинаковое количество читаемых PostgreSQL данных при любой операции чтения/записи

Definition 8.2. Секционирование таблиц

PostgreSQL поддерживает декларативное секционирование таблиц

Секционирование – физическое разделение данных логически одной большой таблицы БД на более мелкие таблицы-секции. Прозрачно для клиентских приложений и не требует изменения логики приложения

Секционированная таблица является виртуальной:

- Состоит из множества отдельных таблиц-секций
- Не содержит данных – она является слоем, который перенаправляет данные в таблицы-секции на основании правила распределения
- Индексы или ограничения уникальности, созданные в секционированной таблице, также являются виртуальными

Фактически данные находятся в дочерних таблицах-секциях и их индексах:

- При добавлении данных в секционированную таблицу, записи перенаправляются в соответствующие таблицы-секции в зависимости от значений столбцов ключа разбиения
- При изменении значений ключа разбиения в строке, если она перестает удовлетворять ограничениям исходной секции, эта строка перемещается в другую секцию
- Если значениям в новой строке не соответствует ни одна из существующих секций, возникает ошибка

Definition 8.3. Таблица-секция

Каждая таблица-секция:

- Физически хранит подмножество данных, определяемое границами секции
- Должна иметь те же столбцы, что и секционированная родительская таблица
- Может иметь свои индексы, ограничения и значения по умолчанию
- Может быть определена как секционированная таблица, что приводит к подразделению
- Может независимо размещаться в отдельном табличном пространстве и иметь собственные параметры хранения

Нельзя преобразовать обычную таблицу в секционированную и наоборот

Можно: добавлять в секционированную таблицу в качестве секции существующую обычную или секционированную таблицу и удалять секцию из секционированной таблицы и превращать ее в отдельную таблицу

Notation 8.11. Преимущества секционирования

- Повышение производительности запросов чтения/обновления: обработка записей одной секции (сканирование), вместо обработки разбросанных по всей таблице записей (операции с произвольным доступом с использованием индекса)
- Уменьшение размера индекса: индексы секции легко умещаются в ОП, в отличие от больших и жирных индексов по всей таблице
- Повышение производительности сложных вычислений: возможность объединения по секциям и агрегации по секциям
- Повышение эффективности операций массовой загрузки и удаления: загрузка и удаление данных секциями (ATTACH PARTITION и DETACH PARTITION); снижение накладных расходов на VACUUM
- Возможность перенести редко используемые данные на более дешевые и медленные носители

Notation 8.12. Способы секционирования

- Секционирование по диапазонам
- Секционирование по списку
- Секционирование по хешу

При выборе способа секционирования таблицы необходимо учитывать шаблон работы с данными. Если шаблон использования данных не будет соответствовать способу секционирования – деградация производительности и использования ресурсов

Notation 8.13. Создание секционированной таблицы

Создание родительской секционированной таблицы

```
CREATE TABLE [IF NOT EXISTS] table_name
    ({column_name [WITH OPTION][column_constraint [...]]
    | table_constraint}
    [ , ... ]
) PARTITION BY {RANGE | LIST | HASH} ({column_name | (expression)});
```

PARTITION BY задает стратегию секционирования таблицы. Список столбцов или выражений (в скобках) формирует ключ разбиения таблицы. Столбцы GENERATED ALWAYS не могут использоваться в качестве ключа секционирования

Ограничение уникальности или первичного ключа для секционирования таблицы можно создать, только если: ключи секций не включают никакие выражения или вызовы функций; в ограниче входят все столбцы ключа секционирования

Notation 8.14. Создание таблицы-секции

Создание таблицы-секции указанной родительской таблицы

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS partition_name  
    PARTITION OF parent_table  
    {FOR VALUES bounds | DEFAULT}  
    [TABLESPACE tablespace_name];
```

FOR VALUES – создание секции для определенных значений. DEFAULT – создание секции по умолчанию. Ключ разбиения, не попадающий ни в одну из секций данного родителя, будет отправлен в секцию по умолчанию. Неприемлемо для таблиц, секционируемых по хешу! Указание границ секции – должно соответствовать методу и ключу секционирования родительской таблицы и не должно конфликтовать с любой существующей секцией того же родителя

TABLESPACE – указание табличного пространства для размещения данных таблицы-секции

Remark 8.3. Важно

В таблице-секции должны содержаться столбцы с теми же именами и типами, что и в секционированной таблице, к которой она относится. Изменение имен и типов столбцов в родительской таблице автоматически распространяется во все секции

Ограничения CHECK:

- Создавать ограничения с условиями, задающими границы секций, вручную не требуется
- Наследуются автоматически всеми секциями
- Для отдельных секций могут быть заданы дополнительные ограничения CHECK
- Дополнительные ограничения с теми же именами и условиями, как в родительской таблице, будут объединены с родительским ограничением

Ограничения DEFAULT: для каждой таблицы-секции могут быть заданы независимые значения по умолчанию. Значение по умолчанию, заданное на уровне секции, не будет действовать при добавлении строк через секционированную таблицу

Ограничение EXCLUDE: может быть определено только для таблицы-секции. Родительские секционируемые таблицы не поддерживают такие ограничения!

При удалении секционированной таблицы автоматически удаляются все таблицы-секции

Notation 8.15. Секционирование по диапазонам

Секционирование осуществляется по диапазонам ключа разбиения. Ключ разбиения может включать несколько столбцов или выражений (до 32, предел может быть изменен при сборке PostgreSQL). Диапазоны не должны пересекаться друг с другом. Границы каждого диапазона включают нижнее значение (FROM) и исключают верхнее (TO)

Для указания границ секции можно использовать выражения, в том числе вызов функции. Значение выражения вычисляется в момент создания секции и сохраняется в системном каталоге. Подзапросы, оконные, агрегатные и возвращающие множества функции не допускаются!

Remark 8.4. Замечания

Специальные значения MINVALUE и MAXVALUE могут быть использованы для указания, что нижняя или верхняя границы для значений столбца отсутствуют. При создании диапазонной секции с более чем одним столбцом также можно использовать MAXVALUE и MINVALUE

Например: секция, определенная с указанием FROM (1, MAXVALUE) TO (3, MAXVALUE), будет принимать любые строки, в которых первый столбец ключа разбиения > 1 и ≤ 3 ; секция, определенная с указанием FROM (1, MINVALUE) TO (3, MINVALUE), будет принимать строки, в которых первый столбец ключа разбиения ≥ 1 и < 3

ВНИМАНИЕ: если для одного столбца в границе секции задается MINVALUE или MAXVALUE, такое же значение должно применяться и для всех последующих столбцов: (10, MINVALUE, 0) – некорректная граница; (10, MINVALUE, MINVALUE) – допустимая граница

Notation 8.16. Секционирование на основе списка

Таблица секционируется с помощью списка, явно указывающего, какие значения ключа должны относиться к каждой секции. Часто используется секционирование на основе значений категорий. Списки не должны пересекаться друг с другом!

Для разбиения по спискам – ключ должен состоять из одного столбца или выражения

Notation 8.17. Секционирование по хешу

Применяется при необходимости равномерного распределения данных. Для равномерного распределения данных необходимо наличие уникального или почти уникального поля (serial)

Таблица секционируется по модулям и остаткам, задаваемым для каждой секции: модуль – положительное число, определяющее количество требуемых секций; остаток – неотрицательное число (от 0), меньшее модуля, определяющее номер секции

Для каждой секции задается модуль и уникальное значение остатка. При вставке строки для нее рассчитывается хеш-значение, путем деления ключа разбиения на модуль.

В зависимости от полученного остатка определяется место сохранения записи

Remark 8.5. Важно

Изменение модуля (MODULUS) существующей таблицы не допускается

Секциям таблицы, разбиваемой по хешу, можно назначить разные модули: модули должны являться делителями следующих больших модулей. Это позволяет постепенно увеличивать число секций, не производя полное преемещение всех данных

Например: секционируемая таблица разбивается по хешу на 8 секций, для каждой из которых назначен модуль 8. Для увеличения числа секций до 16 необходимо:

- Отсоединить одну из секции по модулю 8
- Создать две новые секции по модулю 16, покрывающих ту же часть пространства ключа
- Одной секции определить в качестве остатка значение остатка отсоединенной секции
- Второй определить в качестве остатка значение равное тому же остатку плюс 8
- Заполнить полученные секции данными
- Повторить данную операцию (возможно, позже) для остальных секций по модулю 8, пока все они не будут заменены

Notation 8.18. Обслуживание секций

Набор секций, образованный изначально при создании таблиц, может изменяться

При необходимости можно: удалять секции со старыми (ненужными) данными, добавлять секции с новыми данными и отключать секции с архивными данными

Для удаления старых данных можно удалить таблицу-секцию, ставшую ненужной. Но это приведет к установлению блокировки ACCESS EXCLUSIVE

Notation 8.19. Отключение секций

Отключение секций: секция будет исключена из главной таблицы, но сохранится в БД в качестве самостоятельной таблицы. Можно продолжать работать с данными, пока таблица не будет удалена. При необходимости таблицу можно подключить заново. Данный вариант позволяет: сохранить данные; минимизировать уровень блокирования секционированной таблицы (блокировка ShareUpdateExclusiveLock, совместимая с AccessShareLock)

Notation 8.20. Подключение секций

Для подключения секции:

- Создать новую таблицу вне структуры секций, как копию секционированной таблицы
- Создать ограничение CHECK в присоединяемой таблице, соответствующее ожидаемому ограничению секции. Это позволит избежать операции сканирования, необходимого для проверки неявного ограничения секции при ее подключении
- Выполнить команду ATTACH PARTITION для присоединения секции
- Удалить ограничение CHECK, так как оно больше не нужно

Данный вариант позволяет:

- Загрузить данные в новую таблицу и выполнить все необходимые обработки (проверить и преобразовать) до того, как они появятся в секционированной таблице
- Минимизировать уровень блокирования секционированной таблицы (блокировка ShareUpdateExclusiveLock, совместимая с AccessShareLock)

Remark 8.6. Важно

Если у таблицы есть секции по умолчанию (DEFAULT) и к ней добавляется новая секция, требуется просканировать секцию по умолчанию и убедиться в том, что она не содержит строки, которые должны относиться к новой секции. Если секция по умолчанию содержит большое количество строк, это сканирование может быть длительным. Сканирование не будет выполняться, если секция по умолчанию является внешней таблицей или в ней есть ограничение, гарантирующее отсутствие в этой секции строк, подлежащих перемещению в новую секцию.

Notation 8.21. Получение информации

За декларативным синтаксисом по-прежнему скрываются наследуемые таблицы, поэтому распределение строк по секциям можно посмотреть запросом:

```
SELECT tableoid::regclass , count(*)  
FROM partition_tables.cities  
GROUP BY tableoid;
```

В родительской таблице данных нет

8.4 Внешние таблицы

Notation 8.22. Обертка внешних данных

В стандарте ISO/IEC 9075-9 (SQL/MED) определены спецификации взаимодействия баз данных SQL с внешними источниками данных

PostgreSQL реализует часть спецификации SQL/MED посредством использования обертки внешних данных – foreign data wrapper (FDW)

Обертка внешних данных – это библиотека, которая позволяет взаимодействовать с внешним источником данных, скрывая детали подключения и получения данных из него. Обертка определяет тип внешнего источника данных. При необходимости можно написать свою собственную обертку

Может быть полезна при миграции данных в PostgreSQL из других СУБД

Definition 8.4. Внешние таблицы

Внешняя таблица PostgreSQL – представление внешних данных на уровне БД. Основное отличие внешних таблиц от обычных – данные физически не хранятся в БД PostgreSQL. При каждом запросе PostgreSQL обращается к обертке сторонних данных, которая получает данные из внешнего источника или передает их ему

Поддерживается:

- Использование команд DML: INSERT, UPDATE, DELETE, SELECT
- Создание триггеров
- Управление разграничением прав с помощью команд GRANT и REVOKE
- Использование внешней таблицы в качестве секции основной таблицы – реализация шардинга

Notation 8.23. Создание внешней таблицы

1. Подключить обертку, соответствующую сторонним данным
2. Создать объект Сторонний сервер
3. Создать сопоставление пользователя для стороннего сервера
4. Создать Внешнюю таблицу, определив структуру внешних данных

Notation 8.24. Подключение обертки

В каталоге contrib дистрибутива PostgreSQL доступно несколько готовых обертков:

- postgres_fdw – доступ к базам данных внешнего сервера PostgreSQL
- file_fdw – доступ к файлам операционной системы

Notation 8.25. Создание стороннего сервера

Для создания стороннего сервера необходимо:

- Настроить подключение к внешнему источнику данных
- Определить параметры соответствующей обертки сторонних данных
- Имя сервера должно быть уникальным в базе данных
- Для каждого отдельного источника – нужно создать отдельный сервер!

Владельцем сервера становится создавший его пользователь. Для создания сервера требуется право USAGE для обертки сторонних данных

```
CREATE SERVER [IF NOT EXISTS] server_name [TYPE 'fdw_type']  
[VERSION 'fdw_version']  
FOREIGN DATA WRAPPER fdw_name  
[OPTIONS (option 'value' [, ... ])];
```

Notation 8.26. Создание сопоставления пользователя для стороннего сервера

Для доступа к данным внешнего источника, выполняющего аутентификацию пользователя при подключении, необходимо: определить, какие локальные роли могут подключаться к учетным записям на внешнем сервере; указать пароль в случае если используется аутентификация по паролю

Владелец стороннего сервера может создать сопоставление для любых пользователей на этом сервере. Если пользователь наделен правом USAGE на данном сервере он может создать сопоставление для своего собственного имени пользователя

```
CREATER USER MAPPING [IF NOT EXISTS]  
FOR {user_name|USER|CURRENT_USER|PUBLIC}  
SERVER server_name [OPTIONS (option 'value' [, ... ])];
```

Notation 8.27. Создание внешних таблиц

Для создания внешних таблиц можно использовать: явное создание таблицы – CREATE FOREIGN TABLE или импорт внешней схемы – IMPORT FOREIGN SCHEMA

Для внешних таблиц при необходимости можно определить ограничения NOT NULL и CHECK. Это поможет планировщику при построении плана выполнения запроса. При выполнении операций над данными ограничения учитываться не будут, так как PostgreSQL не может обеспечить соблюдение ограничений на внешнем источнике

```
CREATE FOREIGN TABLE [schema_name.] table_name
([table definition])
[INHERITS (parent_table [, ... ])]
SERVER server_name
[OPTIONS (option 'value' [, ... ])];
```

```
CREATE FOREIGN TABLE [schema_name.] table_name
PARTITION OF parent_table
[table definition]
{FOR VALUES bounds | DEFAULT}
SERVER server_name
[OPTIONS (option 'value' [, ... ])];
```

PARTITION OF – внешняя таблица создается как секция с указанными границами. Содержимое внешней таблицы должно отвечать правилу секционирования. Для обеспечения соблюдения правил секционирования рекомендуется установить соответствующее ограничение на удаленном сервере

Для создания внешней таблицы необходимо иметь право USAGE для стороннего сервера и для всех типов столбцов, содержащихся в таблице. Владелец таблицы становится пользователем, выполнивший эту команду

Example 8.2.

Определение столбцов внешней таблицы должно соответствовать определению столбцов исходной сторонней таблицы. В случае если определения столбцов не совпадают, необходимо указать названия области – OPTIONS (column_name 'foreign_column_name')

```
CREATE FOREIGN TABLE foreign_table (
    aircraft_code character(3)
        OPTIONS (column_name 'aircraft_code') NOT NULL,
    model text
        OPTIONS (column_name 'model') NOT NULL,
    reange integer NOT NULL,
    CONSTRAINT aircrafts_range_check CHECK (range > 0)
)
SERVER myserver
OPTIONS (schema_name 'bookings',
        table_name 'aircrafts');
```

Notation 8.28. Импорт определения таблиц со стороннего сервера

При необходимости импорта определения всех таблиц и представлений определенной схемы стороннего сервера используется команда `IMPORT FOREIGN SCHEMA`. Все создаваемые объекты будут содержать корректные определения столбцов и параметров. Список импортируемых объектов можно ограничить некоторым подмножеством (`LIMIT TO`), или исключить из него конкретные таблицы и представления (`EXCEPT`). Новые сторонние объекты создаются в целевой схеме, которая должна уже существовать

Необходимо иметь право `USAGE` для стороннего сервера, а также право `CREATE` в целевой схеме

```
IMPORT FOREIGN SCHEMA remote_schema
    [{LIMIT TO | EXCEPT} (table_name [, ... ])]
FROM SERVER server_name
INTO local_schema
[OPTIONS (option 'value' [, ... ])];
```

Notation 8.29. Чтение данных

Планировщик умеет распределять работу между серверами. В одном запросе можно использовать как внешние, так и локальные данные. Автоматически формируется распределенный план выполнения запроса

Notation 8.30. Управление соединениями

Расширение `postgres_fdw` автоматически открывает соединение к внешнему серверу при первом запросе, в котором участвует сторонняя таблица. Соединение сохраняется и повторно используется для последующих запросов в том же сеансе. Для каждого внешнего сервера открывается одно соединение для каждого сопоставления пользователей. Необходимо быть аккуратным, чтобы не исчерпать ограничение числа подключений

Notation 8.31. Управление транзакциями

Расширение `postgres_fdw` автоматически открывает удаленную транзакцию при обращении к внешней таблице. Удаленная транзакция автоматически завершается при завершении локальной транзакции (фиксируется или прерывается)

Режимы изоляции:

- Локальная транзакция – `READ COMMITTED` или `REPEATABLE READ`. Удаленная транзакция – `REPEATABLE READ`
- Локальная транзакция – `SERIALIZABLE`. Удаленная транзакция – `SERIALIZABLE`

Расширение `postgres_fdw` не поддерживает двухфазную фиксацию, поэтому согласованность не гарантируется. Например: локальная транзакция может быть зафиксирована, а удаленная – нет из-за сетевого сбоя. Локальная и удаленная транзакции – это разные транзакции, а не одна глобальная!

Definition 8.5. Обертка file_fdw

Предназначена для доступа к файлам в файловой системе сервера PostgreSQL

- Тип внешнего источника – текстовый файл с разделителями
- Параметры внешнего сервера – для подключения дополнительной информации не требуется
- Сопоставление ролей – не применяется, так как во внешнем источнике нет ролей
- Структура внешней таблицы – соответствует списку полей файла

Доступ к данным – только на чтение. Используется механизм SQL-команды COPY

Notation 8.32. Запросы к внешним таблицам

Для получения данных необходимо:

1. Открыть дескриптор внешнего файла
2. Скопировать данные в память или во временный файл
3. Вернуть результат выполнения запроса

При повторном выполнении того же запроса процесс остается аналогичным

9 Лекция 9. Модификация данных

9.1 Модификация данных

Notation 9.1. Работа с данными

- Добавление данных
- Удаление данных
- Обновление данных

Definition 9.1. Целостность данных

Целостность данных – это полнота, точность и единообразие данных (соответствие бизнес-требованиям)

Для поддержания целостности данных в реляционных БД используется ряд инструментов:

- Ограничения целостности, которые позволяют применять практические правила к данным в таблицах и гарантировать точность и надежность данных
- Триггера – интегрированный пользовательский код, который выполняется в ответ на определенные операции в БД

Notation 9.2. Добавление данных

```
INSERT INTO <table_name> [(<column_name>, ...)]  
{DEFAULT VALUES | VALUES (<column_value>, ...)}  
| <expression_query>
```

Столбец может быть не включен в список, если он удовлетворяет одному из условий:

- Является генерируемым (вычисляемый столбец на основе выражения, столбец идентификации, столбец SERIAL)
- Имеет заданное свойство DEFAULT
- Допускает возможность значения NULL

Notation 9.3. Добавление данных в столбец IDENTITY

GENERATED ALWAYS AS IDENTITY: PostgreSQL автоматически генерирует целочисленное значение для столбца идентификаторов. Пользователю не разрешено вставлять или обновлять значение в столбце – возникнет ошибка. Чтобы исправить эту ошибку, можно использовать OVERRIDING SYSTEM VALUE

GENERATED BY DEFAULT: PostgreSQL автоматически генерирует целочисленное значение для столбца идентификаторов. Пользователь может указать значение для вставки или обновления

Notation 9.4. Изменение и удаление IDENTITY

Изменение характеристик столбца идентификации – `ALTER TABLE ...ALTER COLUMN ...SET GENERATED {ALWAYS | BY DEFAULT}`

Удаление ограничения `GENERATED AS IDENTITY` (без удаления столбца) – `ALTER TABLE ...DROP IDENTITY`

Notation 9.5. Вставка значений в столбцы массива

Для вставки нескольких значений в один столбец используется синтаксис описания константы массива:

- Массив символьных строк
- Числовой массив
- Массив с помощью конструктора `ARRAY`

Столбец может быть определен как массив любого произвольного типа (включая типы `boolean`, `date` и `time`)

Remark 9.1. Внимание

При работе с массивом символьных строк требуются двойные кавычки

Если вы обычно используете одинарные кавычки для описания значения в контексте, отличном от массива (например, со строковой константой или значением метки времени), для этого значения в константе массива следует также использовать двойные кавычки

Notation 9.6. Последовательность добавления

Если между таблицами определена связь: сначала добавляются записи в таблицу `PK`, затем связанные записи могут быть добавлены в таблицу `FK`

Notation 9.7. Ошибки добавления

При нарушении ограничений:

- `PRIMARY KEY`
- `UNIQUE`
- `CHECK`
- `NOT NULL`
- `FOREIGN KEY`

Notation 9.8. Разрешение конфликта вставки

```
INSERT INTO table_name [(column_name, ...)]  
{DEFAULT VALUES | VALUES (<column_value>, ...)}  
| <expression_query>  
[ON CONFLICT [conflict_target] conflict_action];
```

ON CONFLICT позволяет задать действие, заменяющее возникновение ошибки при нарушении ограничения уникальности или ограничения-исключения. Проверка выполняется для каждой отдельной добавляемой строки

Возможные действия:

- DO NOTHING – не делать ничего
- DO UPDATE – произвести изменение. Необходимо указать точные детали операции UPDATE, выполняемой в случае конфликта

Example 9.1.

Добавить клиентов или изменить существующие данные должным образом
Для обращения к значениям, изначально предлагаемым для добавления, используется специальная таблица excluded

```
INSERT INTO public.client ("ClientID", "Lname")  
VALUES (5, 'Gizmo'), (6, 'Sergeev')  
ON CONFLICT ("ClientID")  
DO UPDATE SET "Lname" = EXCLUDED."Lname";
```

Notation 9.9. Последовательность удаления

Сначала удаляются связанные записи из таблицы FK
Затем могут быть удалены записи из таблицы PK. Если FK поддерживает каскадное удаление при удалении записи в таблице PK, связанные записи в таблице FK будут удалены автоматически

Notation 9.10. Опустошить таблицу

```
TRUNCATE [TABLE] [ONLY] table_name [*] [, ...]  
[RESTART IDENTITY | CONTINUE IDENTITY]  
[CASCADE | RESTRICT];
```

Команда TRUNCATE быстро удаляет все строки из набора таблиц: не сканирует таблицы, немедленно высвобождает дисковое пространство (не нужно выполнять операцию VACUUM). Наиболее полезна для больших таблиц

Notation 9.11. Обновление значений в столбцах массива

Значения в столбцах массива можно изменить одним из трех способов:

- Полная модификация – весь массив может быть заменен новой константой массива. В новом массиве не обязательно должно быть столько же значений, сколько в существующем
- Модификация среза – набор элементов массива (диапазон между двумя значениями) может быть заменен новой константой массива. Количество элементов новой константы массива должно совпадать с количеством обновляемых значений
- Модификация элемента – отдельный элемент в массиве может быть заменен новой константой базового типа массива. Необходимо использовать нижний индекс, чтобы указать, какое значение массива следует заменить

Notation 9.12. Ошибки обновления

При нарушении ограничений:

- UNIQUE
- CHECK
- NOT NULL
- FOREIGN KEY

При изменении значения РК: если FK не поддерживает каскадное обновление при изменении значения РК, в связанных записях значения соответствующих FK будут обновлены автоматически

Notation 9.13. Возврат данных из измененных строк

В процессе обработки записей бывает полезно получать данные из модифицируемых строк с помощью предложения RETURNING. В предложении RETURNING допускается то же содержимое, что и в выходном списке команды SELECT

При добавлении данных (INSERT) RETURNING возвращает строки в том виде, в каком они были вставлены. Это может быть полезно при использовании вычисляемых значений по умолчанию

При изменении данных (UPDATE) RETURNING возвращает новое содержимое измененных строк

При удалении данных (DELETE) RETURNING возвращает содержимое удаленных строк

Если для целевой таблицы заданы триггеры, RETURNING возвращает данные из строк, измененных триггерами

Notation 9.14. Вставка данных из внешних файлов

PostgreSQL предоставляет возможность вставки данных в таблицы БД из внешних файлов с помощью команды COPY FROM

Файлы, используемые для ввода с помощью COPY, должны быть:

- Либо в стандартном текстовом формате ASCII, поля которого разделены универсальным символом
- Либо в формате двоичной таблицы PostgreSQL

Команда COPY FROM работает намного быстрее, чем обычная команда INSERT: данные считываются как одна транзакция непосредственно в целевую таблицу. Вся процедура COPY завершится ошибкой, если хотя бы одна строка не будет соответствовать требованиям (типы данных, ограничения)

Definition 9.2. MERGE

Оператор MERGE позволяет добавить, изменить или удалить строки целевой таблицы на основе сравнения с источником записей

Действия оператора MERGE имеют тот же эффект, что и обычные одноименные команды UPDATE, INSERT или DELETE. Действия этих команд в MERGE отличается отсутствием предложения WHERE и имени таблицы

При указании DO NOTHING исходная строка пропускается

```
MERGE INTO target_table [[AS] target_alias]
USING source_table ON join_condition
{WHEN MATCHED [AND search_condition]
  THEN {join_update | join_delete | DO NOTHING}
  WHEN NOT MATCHED [AND search_condition]
  THEN {join_insert | DO NOTHING}}
```

9.2 Транзакции

Definition 9.3. Транзакция

Транзакция – это один или несколько операторов SQL, выполняемых как единая логическая единица работы (задача). Промежуточные состояния данных, изменяемых операторами внутри транзакции, не должны быть видны другим транзакциям

Транзакции являются одним из средств обеспечения целостности данных. Если какой-либо оператор внутри транзакции не может быть успешно завершен, изменения других операторов не должны сохраниться в базе данных

Notation 9.15. Соответствие требованиям ACID

Для соблюдения целостности данных транзакции должны соответствовать требованиям ACID:

- Атомарность (Atomicity) – это условие, при котором либо транзакция успешно выполняется целиком, либо, если какая-либо из ее частей не выполняется, вся транзакция отменяется
- Согласованность (Consistency) – это условие, при котором данные, записываемые в базу данных в рамках транзакции, должны соответствовать всем правилам и ограничениям, включая ограничения целостности
- Изоляция (Isolation) – необходима для контроля над согласованностью и гарантирует базовую независимость каждой транзакции
- Надежность (Durability) – подразумевает, что все внесенные в базу данных изменения на момент успешного завершения транзакции считаются постоянными

Definition 9.4. Транзакция

Транзакцией называется множество операций, выполняемое приложением, которое переводит базу данных из одного корректного состояния в другое корректное состояние (согласованность) при условии, что транзакция выполнена полностью (атомарность) и без помех со стороны других транзакций (изоляция)

Definition 9.5. Журнал предварительной записи (WAL)

WAL – механизм, который позволяет восстановить согласованность данных после сбоя

9.3 Режимы транзакций

Notation 9.16. Типы транзакций

- AUTOCOMMIT
- Явные транзакции
 - BEGIN
 - COMMIT
 - ROLLBACK
 - SAVEPOINT

Notation 9.17. Фиксация транзакции

У нас есть 2 заказа: 10875 и 10924. Клиент попросил перенести одну из позиций заказа 10875 в заказ 10924

Чтобы реализовать данный перенос необходимо:

1. Добавить в заказ 10924 детали выбранной позиции
2. Удалить выбранную позицию из заказа 10875
3. Необходимо быть внимательными и не удалить, например, все детали 10875 заказа!

Notation 9.18. Особенности

Поведение некоторых функций и типов данных PostgreSQL в транзакциях подчиняется особым правилам

Например, изменения последовательностей (и следовательно, счетчика в столбце, объявленном как `serial`) немедленно видны во всех остальных транзакциях, не откатываются назад, даже если выполнившая их транзакция прерывается – возможны дыры

9.4 Проблемы конкурентного доступа к данным

Notation 9.19. Одновременный доступ к данным

В один момент времени к одним и тем же данным могут обращаться различные сеансы. Возможны следующие ситуации:

- Две транзакции обращаются к одним и тем же данным с запросом на чтение
- Одна транзакция читает данные, а вторая в это время запрашивает модификацию этих данных
- Одна транзакция изменяет данные, а вторая в это время запрашивает эти данные на чтение
- Две транзакции обращаются к одним и тем же данным с запросом на модификацию этих данных

Если две и более транзакций обращаются к одним и тем же данным с запросом на чтение, проблем не возникает!

Notation 9.20. Проблемы конкурентного доступа

- Грязное чтение (Dirty Read) – транзакция читает данные, записанные параллельной незавершенной транзакцией
- Потерянное обновление (Lost Update) – выполняются два одновременных обновления; результат первого обновления потерян
- Неповторяемое чтение (Non-Repeatable Read) – при повторном чтении данных транзакция обнаруживает, что они были изменены и уже зафиксированы другой транзакцией
- Фантомное чтение (Phantom Read) – первая транзакция читает данные, удовлетворяющие некоторому условию. В это время вторая транзакция добавляет/удаляет/изменяет записи, удовлетворяющие этому условию
- Двойное чтение (Double Read)

9.5 Изоляция транзакций

Definition 9.6. Изоляция транзакций

Для реализации изоляции транзакций в современных СУБД используется:

- Протокол двухфазного блокирования: в процессе выполнения транзакция блокирует строки, с которыми работает, а при завершении – освобождает блокировки. Чем больше блокировок захватывает транзакция, тем лучше она изолирована от других транзакций
- Протокол изоляции на основе снимков: каждая транзакция работает с согласованным снимком данных на определенный момент времени, в который попадают только те изменения, которые были зафиксированы до момента создания снимка. Такая изоляция автоматически не допускает грязное чтение

Использование блокировок снижает производительность системы

Notation 9.21. Multiversion Concurrency Control

В PostgreSQL реализован многоверсионный вариант протокола изоляции на основе снимков (MVCC): PostgreSQL хранит несколько версий одной и той же строки. При этом пишущая транзакция работает со своей версией, а читающая видит свою

Преимущество использования MVCC:

- Блокировки MVCC для чтения данных, не конфликтуют с блокировками для записи, и поэтому читатели и писатели не мешают друг другу
- Снижается уровень конфликтов блокировок и, таким образом, обеспечивается более высокая производительность в многопользовательской среде

Единицей многоверсионности служат строки таблиц. Табличный блок содержит набор версий строк (tuples)

Для каждой версии хранятся номера двух транзакций: начальной (xmin) и конечной (xmax): когда строка создается, она помечается номером транзакции, выполнившей команду INSERT (xmin). Когда удаляется – версия помечается номером транзакции, выполнившей DELETE (xmax), но физически не удаляется! UPDATE состоит из двух операций DELETE и INSERT

Definition 9.7. Снимок данных

Транзакция всегда работает с определенным снимком данных

Снимок данных – это согласованный срез базы данных на определенный момент времени. Транзакция должна видеть согласованные данные, которые другие транзакции уже успели зафиксировать. Транзакция не должна видеть изменения, которые другие транзакции успели произвести, но не успели зафиксировать

Снимок основывается на номере транзакции и на списке активных транзакций в этот момент времени. Список транзакций нужен, чтобы рассматривать только зафиксированные транзакции в этот момент времени и отбрасывать не зафиксированные или начатые после текущей транзакции

Снимок – это не физическая копия данных БД!

9.6 Управление уровнем изоляции транзакций

Notation 9.22. Блокировка ядра СУБД

Многоверсионность позволяет обойтись только самым необходимым минимумом блокировок, тем самым увеличивая производительность системы

- Блокировки строк: чтение никогда не блокирует строки; изменение строк блокирует их для изменений, но не для чтений
- Блокировки таблиц: запрещают изменение или удаление таблицы, пока с ней идет работа; запрещают чтение таблицы при перестроении или перемещении
- Время жизни блокировок: блокировки устанавливаются автоматически по мере необходимости или вручную, снимаются автоматически при завершении транзакции

Notation 9.23. Уровни изоляции

- Read Uncommitted – не поддерживается в PostgreSQL, работает как Read Committed; не представляет практической ценности и не дает выигрыша в производительности
- Read Committed – используется по умолчанию; снимок строится на момент начала каждого оператора SQL; два одинаковых запроса, следующих один за другим, могут показать разные данные
- Repeatable Read – снимок строится в начале транзакции (при выполнении первого оператора); все запросы в одной транзакции видят одни и те же данные; транзакция может завершиться ошибкой сериализации
- Serializable – гарантирует полную изоляцию; транзакция может завершиться ошибкой сериализации; приложению должно уметь повторять такие транзакции

Notation 9.24. Управление уровнем изоляции

SET TRANSACTION ISOLATION LEVEL

{READ UNCOMMITTED | READ COMMITTED | REPEATABLE READ | SERIALIZABLE}

Уровень изоляции	Грязное чтение	Неповторяемое чтение	Фантомное чтение	Аномалия сериализации
READ UNCOMMITTED	Допускается, но не в PostgreSQL	Возможно	Возможно	Возможно
READ COMMITTED	Невозможно	Возможно	Возможно	Возможно
REPEATABLE READ	Невозможно	Невозможно	Допускается, но не в PostgreSQL	Возможно
SERIALIZABLE	Невозможно	Невозможно	Невозможно	Невозможно

В связи с архитектурой многоверсионного управления конкурентным доступом

9.7 Очистка

Notation 9.25. Проблема мертвых кортежей

По мере закрытия транзакций необходимость в использованных ими снимках отпадает. Все версии строк, относящиеся к этим снимкам – мертвые версии, необходимо удалить и освободить место. Мертвые кортежи могут снизить производительность БД, поскольку они продолжают занимать место и приводят к раздуванию файлов

Для решения данной проблемы используется: VACUUM – удаление мертвых кортежей; ANALYZE – для обновления статистики по таблице, чтобы оптимизатор мог выбрать оптимальный план выполнения для оператора SQL

В PostgreSQL за автоматическое выполнение как очистки, так и анализа таблиц отвечает Autovacuum: работает параллельно с другими процессами и ничего не блокирует. В файлах данных появляются дыры, которые могут быть использованы для новых строчек. Сами файлы не уменьшаются!

Notation 9.26. Задачи автоочистки

- Удаление мертвых кортежей (dead tuples)
 - Очищает ненужные версии строк на табличных страницах (пропуская страницы, уже отмеченные в карте видимости)
 - Очищает индексные записи, ссылающиеся на очищенные версии строк
 - Освобождает указатели
 - Обновляет статистику по таблице
- Замораживает старых txid
 - При необходимости замораживаются старые txid кортежей
 - Обновление информации, связанной с txid, в системном каталоге (pg_database и pg_class)
 - Удаляются старые файлы статусов транзакций (xact), поскольку все транзакции хранящиеся в этих файлах, могут рассматриваться как замороженные txids во всем кластере базы данных
- Другие
 - Обновление FSM и VM обработанных таблиц
 - Обновление статистических данных (pg_stat_all_tables итд)

Notation 9.27. Stats Collector

Для корректной работы автоочистки необходима статистическая информация. Фоновый процесс Stats Collector – отслеживает информацию об изменении табличных данных:

- track_activities – включает stats collector
- track_counts – сбор статистики по текущему состоянию всех таблиц и индексов (какие активности по таблицам и индексам в последнее время осуществлялись)

Notation 9.28. Автоочистка

Выполняется периодически для таблиц с определенным количеством изменений, в том числе для toast-таблиц

Процесс `autovacuum launcher` постоянно запущен, использует информацию, собранную `stats collector` для определения списка таблиц-кандидатов для автоочистки, планирует запуск рабочих процессов

Процессы `autovacuum worker` запускаются процессом `postmaster` по просьбе `autovacuum launcher`, подключаются к заданной БД, перебирают и очищают таблицы

Notation 9.29. Мониторинг Autovacuum worker

Параметр `log_autovacuum_min_duration` – задает время (в миллисекундах) выполнения действия автоочистки, при превышении которого информация об этом действии записывается в журнал сообщений сервера

Представление `pg_stat_progress_vacuum` – содержит по одной строке для каждого обслуживаемого процесса (включая рабочие процессы автоочистки)

Представление `pg_stat_all_tables` – содержит по одной строке на каждую таблицу в текущей базе данных со статистикой по обращениям к этой таблице (в том числе процессов автоочистки)

Notation 9.30. Процесс автоочистки (autovacuum и vacuum)

VACUUM не может уменьшить размер таблицы, даже если удалить много мертвых кортежей

Только в случае полного освобождения страниц в конце файла – они возвращаются файловой системе

Это приводит к пустой трате места на диске и отрицательно влияет на производительность баз данных

Например, в приведенном примере при чтении трех кортежей в таблице необходимо загрузить с диска три страницы

Definition 9.8. Vacuum Full

VACUUM FULL перестраивает всю таблицу и освобождает место на диске

При использовании команды VACUUM FULL следует учитывать два момента:

- Никто не может получить доступ (чтение/запись) к таблице во время обработки VACUUM FULL
- Временно используется не более чем вдвое больше дискового пространства таблицы; поэтому необходимо проверять наличие свободного пространства на диске

Notation 9.31. Когда необходимо выполнить VACUUM FULL?

К сожалению, не существует наилучшей практики, когда необходимо выполнять VACUUM FULL

Для принятия решения следует руководствоваться информацией о свободном пространстве для конкретной таблицы

- Средний коэффициент свободного пространства для таблицы:

```
CREATE EXTENSION pg_freespacemap;  
SELECT count(*) as pages_total,  
       pg_size_pretty(cast(avg(avail) as bigint)) as avg_free_space,  
       round(100 * avg(avail)/8192, 2) as pct_free_space  
FROM pg_freespacemap('"Sales"."Orders"');
```

- Коэффициент свободного пространства на каждой странице указанной таблицы:

```
SELECT *, round(100 * avail/8192, 2) as pct_free_space  
FROM pg_freespacemap('"Sales"."Orders"');
```

Notation 9.32. Карта заморозки

Идентификаторы транзакций имеют ограниченный размер (32 бита)

Кластер, который работает в течение длительного времени (более 4 миллиардов транзакций), может столкнуться с проблемой циклического переноса идентификаторов транзакций:

- При достижении максимально возможного значения счетчик XID обнуляется
- Транзакции, которые были в прошлом, оказываются в будущем – а это значит, что их вывод становится невидимым
- Это может привести к потере данных – данные будут недоступны из-за некорректного снимка

Решение:

- Помечать строки, вставленные транзакцией в далеком прошлом, как замороженные, чтобы они наверняка были видны для всех текущих и будущих транзакций
- Это необходимо выполнять для каждой таблицы в каждой БД по крайней мере один раз каждые 2 миллиарда транзакций

Notation 9.33. Процесс заморозки (Lazy Mode)

При выполнении команды VACUUM

- Определяется OldestXmin – txid самой старой среди текущих транзакций
- Вычисляется freezeLimit_txid
- Замораживаются кортежи, t_xmin которых меньше, чем freezeLimit_txid

Vacuum_Freeze_min_age – параметр конфигурации (по умолчанию 50млн)

Ленивый режим не может полностью заморозить кортежи, поскольку он может пропускать страницы

Notation 9.34. Процесс заморозки (Eager Mode)

Сканирует все страницы, за исключением тех, которые содержат только замороженные кортежи: обновляет соответствующие системные каталоги; по возможности удаляет ненужные файлы и страницы

Активный режим выполняется, когда выполняется следующее условие:

$\text{pg_database.datfrozenxid} < (\text{OldestXmin} - \text{vacuum_freeze_table_age})$

Где $\text{pg_database.datfrozenxid}$ – самый старый замороженный txid для каждой БД (relfrozenxid), $\text{vacuum_freeze_table_age}$ – параметр конфигурации (по умолчанию 150млн)