Лекция 10.

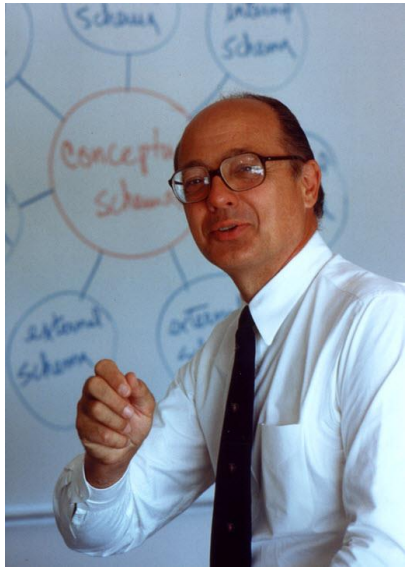
Реляционные и нереляционные СУБД

Эволюция моделей данных

Связь - ключевое слово, отличающее базу данных от простого файла или набора файлов. Как представить эту связь в базе данных?
В разное время применялись различные подходы (**модели данных**).

Годы	Используемые модели данных
1960-е	Сетевая и иерархическая (*навигационный подход, императивное программирование*)
1970-е	1. Сетевая и иерархическая 2. **Реляционная** (*математическая база, декларативное программирование*)
1980-е	1. Реляционная 2. Сетевая и иерархическая
1990-е	Реляционная
2000-е	1. Реляционная 2. NoSQL

Первые СУБД



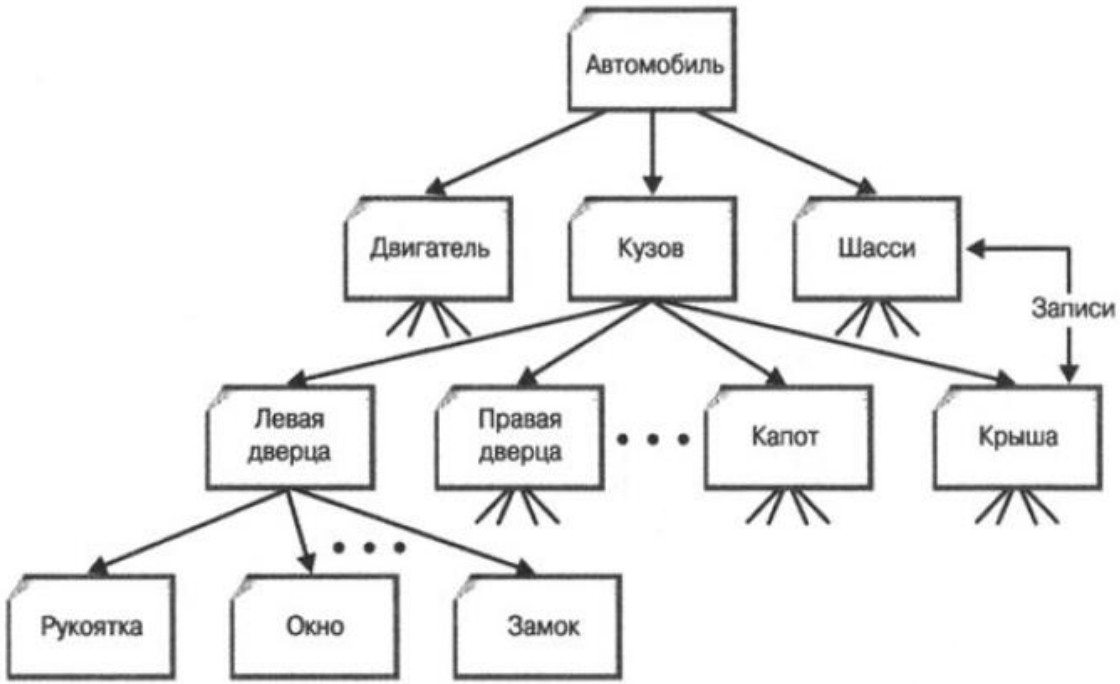
- Начало 1960-х годов
- Чарльз Бахман (1924-2017), работал в General Electrics
- СУБД Integrated Data Store (затем IDMS, работавшая на мейнфреймах IBM).
- Получил за нее премию Тьюринга в 1973 году.

Впервые доступ к данным осуществлялся не непосредственно, как в файловой системе, а через описание данных в виде иерархической системы «указателей», помогающих осуществить доступ к конкретной ячейке памяти.

Первые СУБД

- СУБД Бахмана строились с использованием иерархических и сетевых моделей и были названы им **навигационными**, поскольку для перемещения по записям использовались «указатели» или «пути».
- **IBM IMS** (Information Management System). Первая коммерческая СУБД, 1968 год.
- Около 10 лет все программы, работающие с данными, писали в основном с использованием навигационного подхода на языке COBOL, в который были интегрированы команды для работы с БД.

Иерархическая модель



Задачи планирования производства

- Простая структура
- Отношения «предок-потомок»
- Скорость
- Жесткость наборов отношений

Схема иерархической базы данных

Дерево, вершинами которого являются типы сегментов.

Иерархическая база данных – это совокупность деревьев, корнями которых являются экземпляры корневого типа сегмента.

Каждое такое дерево называется **набором** и образует **физическую запись** иерархической базы данных.

От записи к записи можно перемещаться, только если они объединены набором.

Типичные операторы для манипулирования данными

- Найти указанное дерево БД (например, аналитический отдел);
- Перейти от одного дерева к другому;
- Перейти от одной записи к другой внутри дерева (например, от отдела - к первому сотруднику);
- Перейти от одной записи к другой в порядке обхода иерархии;
- Вставить новую запись в указанную позицию;
- Удалить текущую запись.

Иерархическая модель данных: резюме

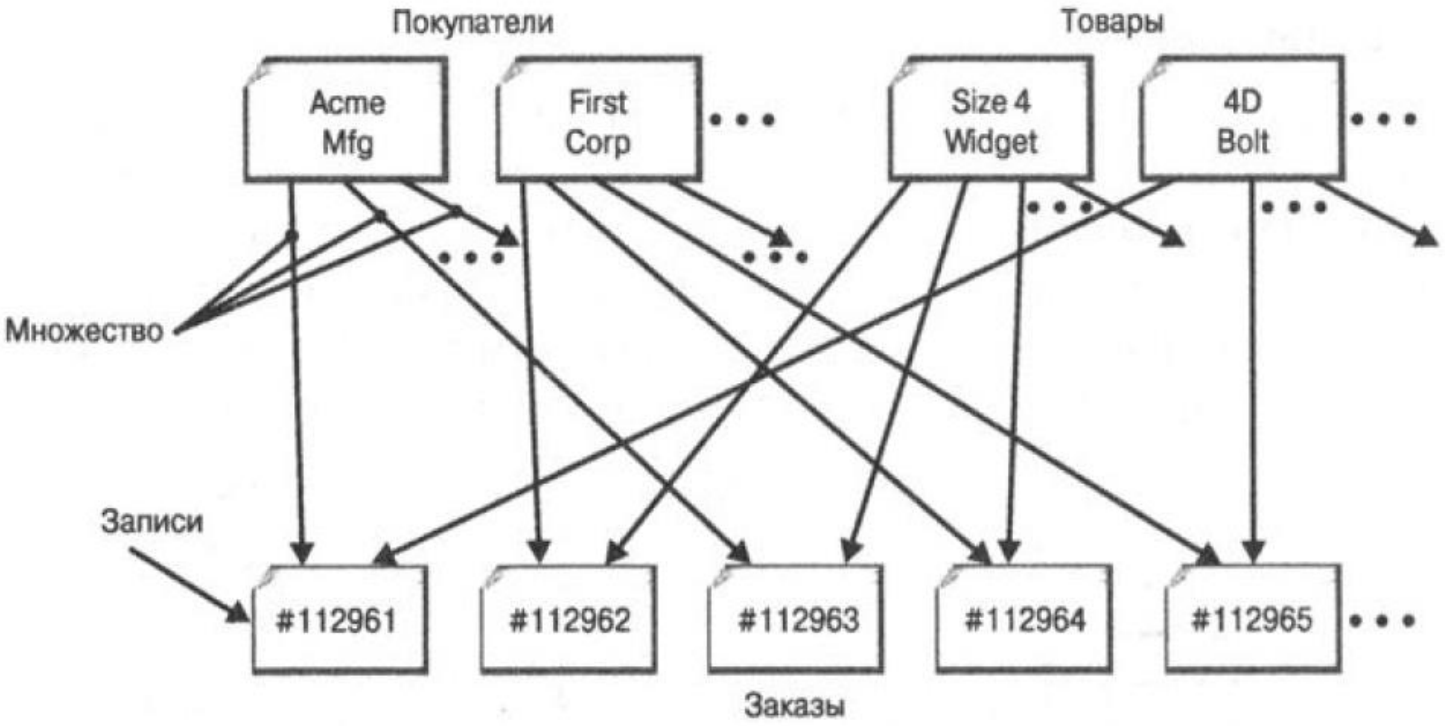
- Данные в иерархической БД упорядочены: всегда есть первая запись и список следующих и предыдущих.
- В БД хранятся не только данные, но и связи между ними (наборы). Наборы – существенный и обязательный объект, т.к. от записи к записи можно перемещаться, только если они объединены набором.
- Навигационная БД предполагает исключительно процедурный стиль программирования – разработчик сам определяет алгоритм получения интересующих его данных в рамках существующих в БД связей; изменятся связи – перестанут работать программы.

Сетевая модель

Задачи учета заказов

Множественные отношения «предок-потомок»

Сетевая модель

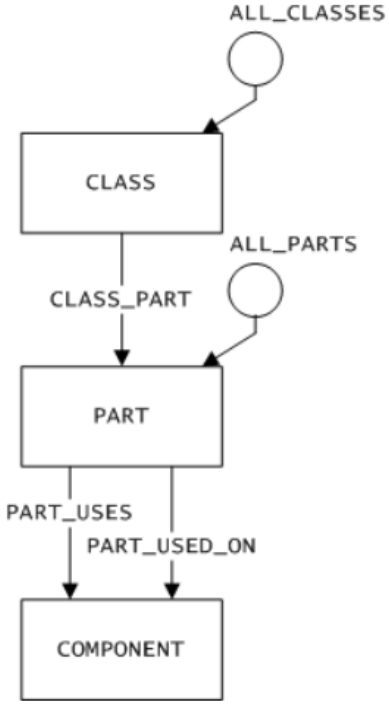


- Гибкость (по сравнению с иерахической)
- Стандартизация (CODASYL)
- Производительность
- Жесткость наборов отношений

Иерархическая модель: пример программы

Есть ассортимент деталей, каждая из которых принадлежит определенному классу. Некоторые детали могут собираться из других деталей.

Диаграмма Бахмана



Задача: по заданному классу вывести все детали этого класса (COBOL)

```
...
SET DONE TO FAILURE.
DISPLAY "Class number: >" NO ADVANCING.
ACCEPT CLASS_ID.
FETCH FIRST CLASS WITHIN ALL_CLASSES USING CLASS_ID
AT END
        DISPLAY "Class not found"
        SET DONE TO SUCCESS.
IF DONE IS FAILURE
        DISPLAY "Parts for class number ", CLASS_ID, ":".
PERFORM UNTIL DONE IS SUCCESS
        FETCH NEXT PART WITHIN CLASS_PART
        AT END
                SET DONE TO SUCCESS
        END-FIND
        IF DONE IS FAILURE
                DISPLAY PART_ID
        END-IF
END-PERFORM.
 ...
```

Иерархическая модель данных: плюсы и минусы

Сильные места ранних СУБД:

- Развитые средства управления данными во внешней памяти на низком уровне;
- Возможность построения вручную эффективных прикладных систем;
- Возможность экономии памяти за счет разделения подобъектов (в сетевых системах).

Недостатки:

- Слишком сложно пользоваться (требуется написание большого количества кода, возрастает вероятность допустить ошибку);
- Фактически необходимы знания о физической организации данных;
- Прикладные системы зависят от этой организации, их логика перегружена деталями организации доступа к БД.

Иерархические БД сегодня

https://www.intersystems.com/ru/products/cache/

InterSystems
Health I Business I Government

Попробовать | Партнерам | Разработчикам | Контакты | Россия | Поиск

ОТРАСЛИ | РЕШЕНИЯ | ПОДДЕРЖКА & ОБУЧЕНИЕ | НОВОСТИ | РЕСУРСЫ | О НАС

Caché
Высокопроизводительная база данных

РЕШЕНИЯ > Caché

База данных для критически важных приложений

InterSystems Caché® — это высокопроизводительная база данных, обеспечивающая поддержку транзакционных приложений по всему миру. Она используется для решения любых задач, будь то создание карты Млечного Пути с миллиардами звезд, обработка миллиардов трейдинговых операций ежедневно или управление интеллектуальными энергетическими сетями.

https://www.ibm.com/it-infrastructure/z/ims

IBM IT Infrastructure

IBM Z | Hardware | OS | Software | Resources

It infrastructure > Z >

IBM Information Management System (IMS)

The most secure, highest performing and lowest cost hierarchical database management software integrated with a high throughput online transaction and batch processing environment

Watch the customer video (01:48) | Join the IMS GOLD program

Products | Tools | Complementary software | Resources

IBM Information Management System (IMS)™ and the IMS tools portfolio provide industrial strength capabilities for both managing and distributing data. IMS delivers the highest levels of availability, performance, security and scalability for OLTP in the industry.

IMS is used by many of the Fortune 1000 companies worldwide. Collectively these companies process more than **265 billion transactions per day** in IMS – securely.

Навигационная модель vs реляционной

Проблемы **навигационной** модели:

- БД – инструмент программиста (трудно использовать, долгая реализация запросов пользователей).
- БД смешивают логическую и физическую реализацию данных.

Основные идеи **реляционной** модели:

- Представлять и сущности, и связи единообразно, с помощью простых таблиц (строки и столбцы).
- Разработать простой, похожий на естественный, декларативный язык обращения к данным.

Реляционная модель: начало

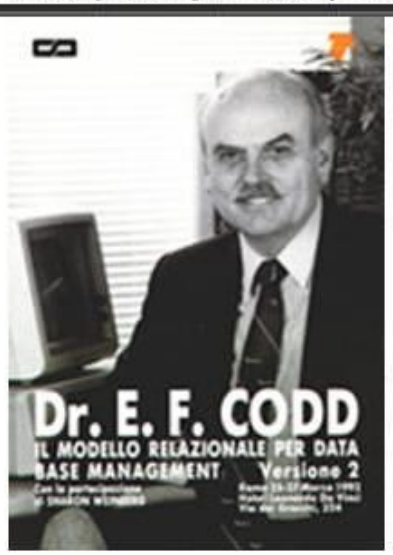
A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks

E. F. Codd
IBM Research Laboratory, San Jose, California

Future users of large data banks must be protected from having to know how the data is organized in the machine (the internal representation). A prompting service which supplies such information is not a satisfactory solution. Activities of users at terminals and most application programs should remain unaffected when the internal representation of data is changed and even when some aspects of the external representation are changed. Changes in data representation will often be

The relational view (or model) of data described in Section 1 appears to be superior in several respects to the graph or network model [3, 4] presently in vogue for non-inferential systems. It provides a means of describing data with its natural structure only—that is, without superimposing any additional structure for machine representation purposes. Accordingly, it provides a basis for a high level data language which will yield maximal independence between programs on the one hand and machine representation and organization of data on the other.

A further advantage of the relational view is that it forms a sound basis for treating derivability, redundancy, and consistency of relations—these are discussed in Section 2. The network model, on the other hand, has spawned a number of confusions, not the least of which is mistaking the derivation of connections for the derivation of relations (see remarks in Section 2 on the "connection trap").



Relational Model

Activity Code	Activity Name
23	Patching
24	Overlay
25	Crack Sealing

Key = 24

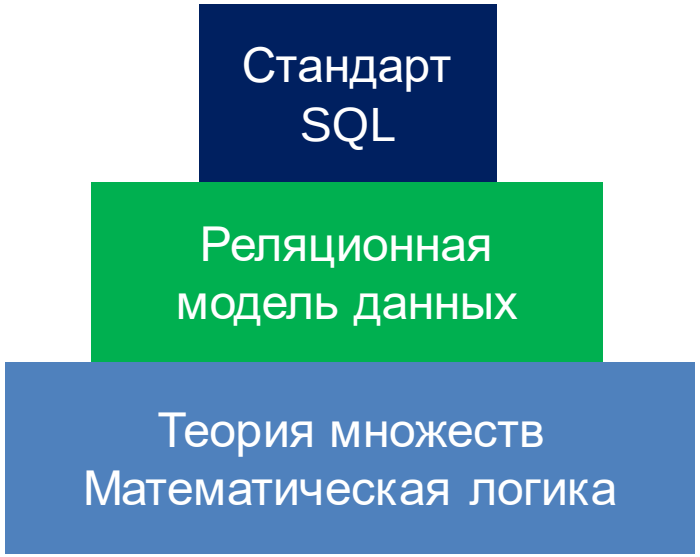
Activity Code	Date	Route No.
24	01/12/01	I-95
24	02/08/01	I-66

Date	Activity Code	Route No.
01/12/01	24	I-95
01/15/01	23	I-495
02/08/01	24	I-66

Классическая статья Эдгара Кодда.

Association of Computer Machinery journal (1970 год)

Теоретические основы реляционной модели



тип данных, таблица, строка таблицы

домен, отношение, кортеж

множество, декартово произведение, кортеж

Математические основы реляционной модели

a_1^1	a_2^1	...	a_n^1	a_1^1	a_2^1	...	a_n^1	...	a_1^1	a_2^1	...	a_n^1
a_1^2	a_2^2	...	a_n^2	a_1^2	a_2^2	...	a_n^2		a_1^2	a_2^2	...	a_n^2
...	...	...	...	...	...	...	...		...	...	...	...
a_1^m	a_2^m	...	a_n^m	a_1^m	a_2^m	...	a_n^m		a_1^m	a_2^m	...	a_n^m
a_1^1	a_2^1	...	a_n^1	a_1^1	a_2^1	...	a_n^1	...	a_1^1	a_2^1	...	a_n^1
a_1^2	a_2^2	...	a_n^2	a_1^2	a_2^2	...	a_n^2		a_1^2	a_2^2	...	a_n^2
...	...	...	...	...	...	...	...		...	...	...	...
a_1^m	a_2^m	...	a_n^m	a_1^m	a_2^m	...	a_n^m		a_1^m	a_2^m	...	a_n^m
...				...				...	...			
a_1^1	a_2^1	...	a_n^1	a_1^1	a_2^1	...	a_n^1	...	a_1^1	a_2^1	...	a_n^1
a_1^2	a_2^2	...	a_n^2	a_1^2	a_2^2	...	a_n^2		a_1^2	a_2^2	...	a_n^2
...	...	...	...	...	...	...	...		...	...	...	...
a_1^m	a_2^m	...	a_n^m	a_1^m	a_2^m	...	a_n^m		a_1^m	a_2^m	...	a_n^m

Отношение степени *n* - подмножество *R* декартового произведения множеств $A_1 x A_2 x \ldots x A_n$.

- Все элементы отношения есть <u>однотипные</u> кортежи. Поэтому кортежи можно считать аналогами строк в простой таблице.

- Отношение включает в себя <u>не все возможные</u> кортежи (есть критерий, задающий семантику отношения).

Пример бинарного отношения

Множество A={Вова, Петя, Маша, Лена}. Известно:

1. Вова любит только себя (эгоист).
2. Петя любит Машу (взаимно).
3. Маша любит Петю (взаимно).
4. Маша любит себя.
5. Лена любит Петю (несчастная любовь).

Это бинарное отношение **"любить"**, заданное на множестве A^2.

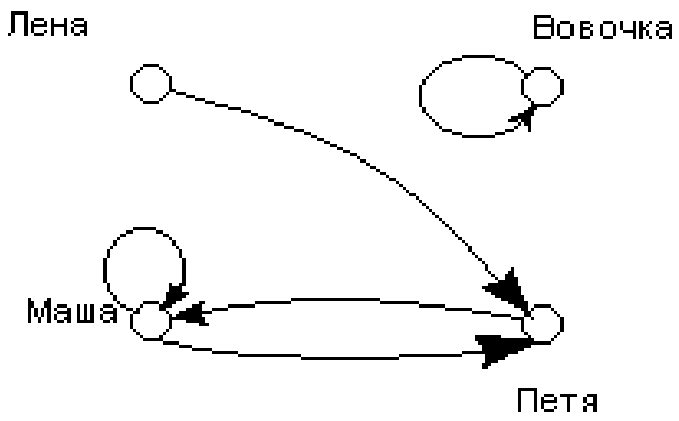
Как представить это отношение, чтобы с ним удобно было работать на компьютере?

Способ 1. Произвольный текст. *Тяжело обрабатывать алгоритмами.*

1. Вова любит только себя (эгоист).
2. Петя любит Машу (взаимно).
3. Маша любит Петю (взаимно).
4. Маша любит себя.
5. Лена любит Петю (несчастная любовь).

Способ 1. Произвольный текст. *Тяжело обрабатывать алгоритмами.*

Способ 2. Граф взаимоотношений. *Наглядно, но хранить данные в компьютере в графическом виде неудобно.*



Пример бинарного отношения

Способ 3. Матрица взаимоотношений.

Кого Кто	Вова	Петя	Маша	Лена
Вова	Любит			
Петя			Любит	
Маша		Любит	Любит	
Лена		Любит		

Пример бинарного отношения

Способ 3. Матрица взаимоотношений.

Кого Кто	Вова	Петя	Маша	Лена
Вова	Любит			
Петя			Любит	
Маша		Любит	Любит	
Лена		Любит		

Негибко – при появлении нового человека придется изменять и строки, и столбцы.

Пример бинарного отношения

Способ 3. Матрица взаимоотношений.

Кого Кто	Вова	Петя	Маша	Лена
Вова	Любит			
Петя			Любит	
Маша		Любит	Любит	
Лена		Любит		

Негибко – при появлении нового человека придется изменять и с троки, и столбцы.

Способ 4. Таблица фактов.

Кто любит	Кого любят
Вовочка	Вовочка
Петя	Маша
Маша	Петя
Маша	Маша
Лена	Петя

Пример бинарного отношения

Способ 3. Матрица взаимоотношений.

Кого Кто	Вова	Петя	Маша	Лена
Вова	Любит			
Петя			Любит	
Маша		Любит	Любит	
Лена		Любит		

Негибко – при появлении нового человека придется изменять и с троки, и столбцы.

Способ 4. Таблица фактов.

Кто любит	Кого любят
Вовочка	Вовочка
Петя	Маша
Маша	Петя
Маша	Маша
Лена	Петя

При появлении новых лиц в таблицу добавляются только строки.

Основные понятия реляционной модели

Номер	Фамилия	Должность	Адрес
1	Иванов	Ведущий инженер	Москва
2	Петров	Старший инженер	С-Петербург
3	Федоров	Бухгалтер	Самара
4	Николаев	Экономист	Липецк

Рис. 2.1. Наглядное представление основных понятий реляционной модели

- Данные хранятся в **отношениях**, воспринимаемых как таблицы. Отношением R, определенном на множествах D_1, D_2 , …, D_n, называется подмножество из $D_1 \times D_2 \times \ldots \times D_n$.
- Множества D_1, D_2 , …, D_n – **домены** отношения. Каждый атрибут отношения определяется на некотором домене. Домен имеет уникальное имя, определен на простом типе данных или на другом домене.
- Элементы декартова произведения $\{d_1 , d_2 , \ldots , d_n\}$ – **кортежи**.
- Число n – **степень** отношения.

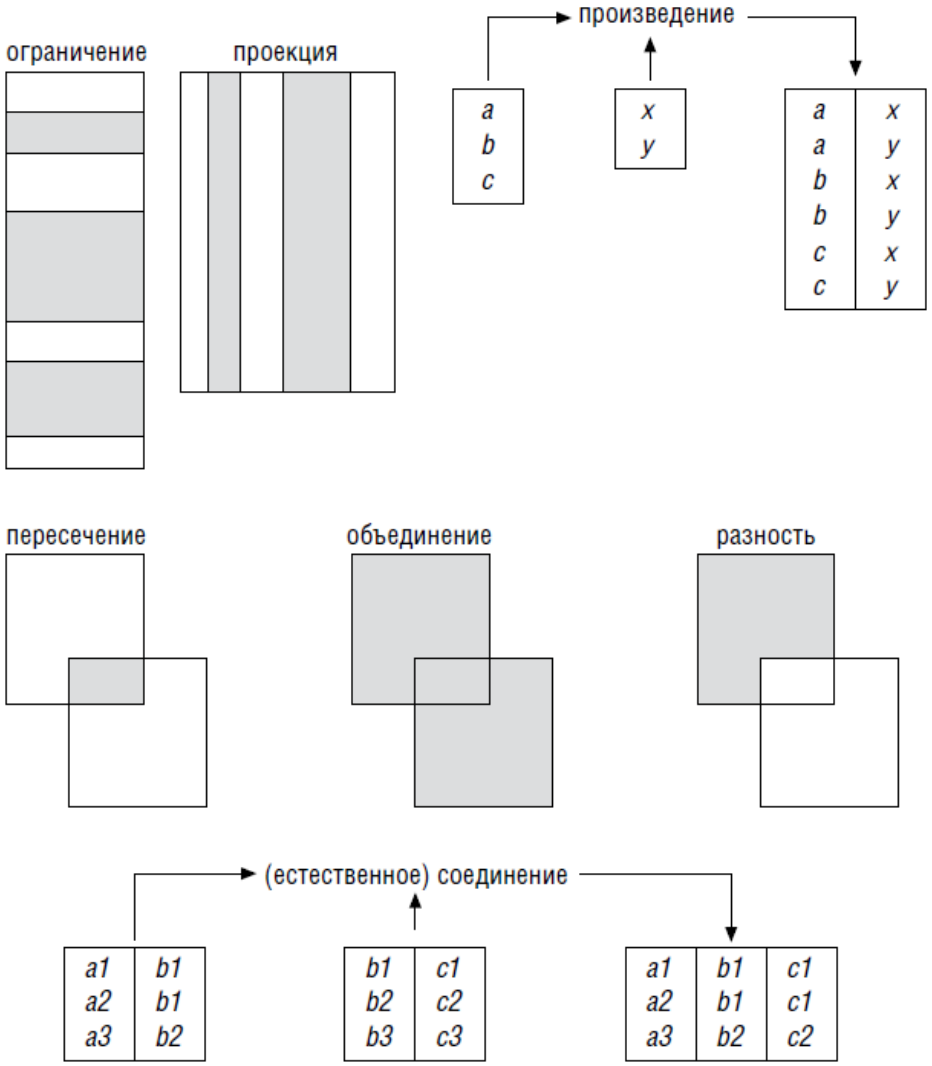
Основные понятия реляционной модели

Номер	Фамилия	Должность	Адрес
1	Иванов	Ведущий инженер	Москва
2	Петров	Старший инженер	С-Петербург
3	Федоров	Бухгалтер	Самара
4	Николаев	Экономист	Липецк

Рис. 2.1. Наглядное представление основных понятий реляционной модели

- Количество кортежей – **мощность** (**кардинальность**) отношения.
- **Атрибут** отношения – пара вида <*Имя_атрибута*:*Имя_домена*>
- **Заголовок** отношения – набор {<A_1:D_1>, <A_2:D_2>, …, <A_n:D_n>}. Заголовок статичен.
- **Тело** отношения – множество кортежей отношения. Каждый кортеж – множество пар вида <*Имя_атрибута:Значение*>. Тело отношения изменяется.
- **Первичный ключ** отношения – однозначно идентифицирует кортеж в теле отношения.

Реляционная алгебра – способ работы с отношениями



Реляционная алгебра – способ работы с отношениями

Язык SQL – создан специально для представлений операций реляционной алгебры в простом и доступном для всех виде.

- Традиционные теоретико-множественные операции (**объединение**, **пересечение**, **разность**). Для этих операций отношения должны иметь одинаковый набор атрибутов.

Реляционная алгебра – способ работы с отношениями

Язык SQL – создан специально для представлений операций реляционной алгебры в простом и доступном для всех виде.

- Традиционные теоретико-множественные операции (**объединение**, **пересечение**, **разность**). Для этих операций отношения должны иметь одинаковый набор атрибутов.
- **Проекция** – оставляет из всего набора атрибутов некоторое их подмножество. Пример: A[2,5] – проекция отношения A на 2 и 5 атрибуты. В SQL: SELECT DISTINCT

Реляционная алгебра – способ работы с отношениями

Язык SQL – создан специально для представлений операций реляционной алгебры в простом и доступном для всех виде.

- Традиционные теоретико-множественные операции (**объединение**, **пересечение**, **разность**). Для этих операций отношения должны иметь одинаковый набор атрибутов.
- **Проекция** – оставляет из всего набора атрибутов некоторое их подмножество. Пример: A[2,5] – проекция отношения A на 2 и 5 атрибуты. В SQL: SELECT DISTINCT
- **Соединение** двух отношений по условию равенства общих атрибутов – новое отношение, кортежи которого являются конкатенациями всевозможных пар кортежей исходных отношений, для которых выполняется это условие. Пример: A[1=3]B – соединение отношений A и B по общим атрубутам A[1] и B[3]. В SQL условия соединения формулируются в разделе FROM.

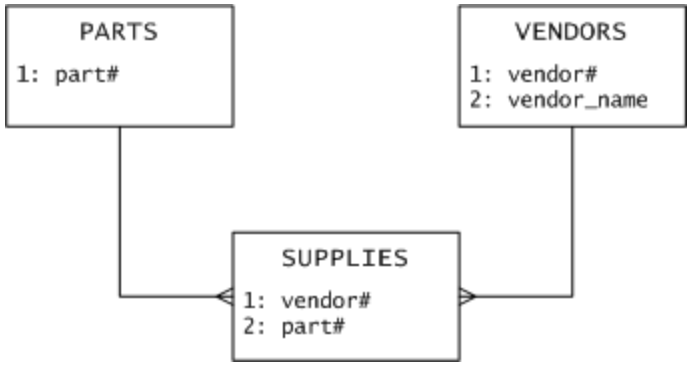
Реляционная алгебра – способ работы с отношениями

Язык SQL – создан специально для представлений операций реляционной алгебры в простом и доступном для всех виде.

- Традиционные теоретико-множественные операции (**объединение**, **пересечение**, **разность**). Для этих операций отношения должны иметь одинаковый набор атрибутов.
- **Проекция** – оставляет из всего набора атрибутов некоторое их подмножество. Пример: A[2,5] – проекция отношения A на 2 и 5 атрибуты. В SQL: SELECT DISTINCT
- **Соединение** двух отношений по условию равенства общих атрибутов – новое отношение, кортежи которого являются конкатенациями всевозможных пар кортежей исходных отношений, для которых выполняется это условие. Пример: A[1=3]B – соединение отношений A и B по общим атрубутам A[1] и B[3]. В SQL условия соединения формулируются в разделе FROM.
- **Ограничение** – оставляет лишь те кортежи, которые удовлетворяют определенному условию на атрибуты. Пример: A[1 > 2] – ограничение отношения A по условию, что атрибут 1 больше, чем атрибут 2.
  В SQL условия ограничения формулируются в разделе WHERE.

Пример использования операций реляционной алгебры

Имеются поставщики (V — VENDORS) и детали (P — PARTS), связанные многие-ко-многим поставками (S — SUPPLIES).



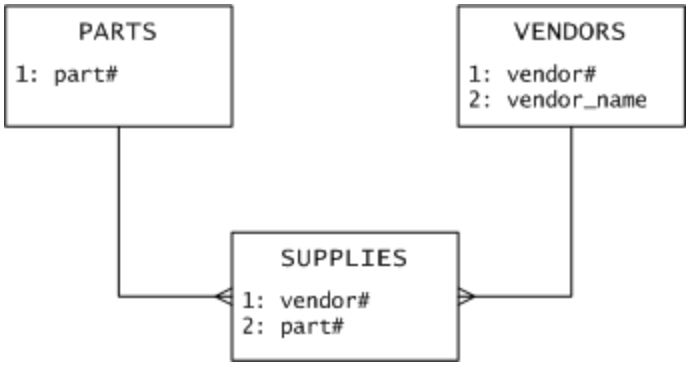
Пример использования операций реляционной алгебры

Имеются поставщики (V — VENDORS) и детали (P — PARTS), связанные многие-ко-многим поставками (S — SUPPLIES).

1. Номер поставщика, поставляющего хоть что-нибудь:

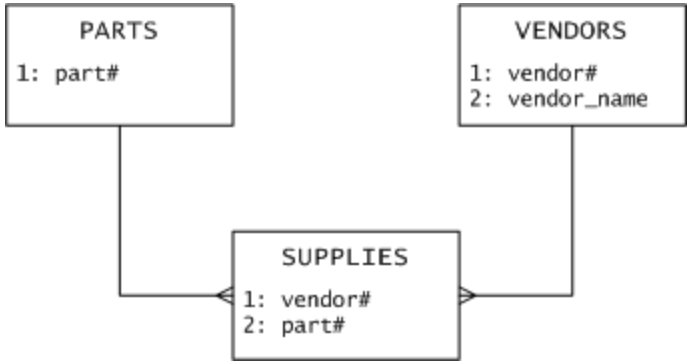
S[1]

SELECT DISTINCT vendor# FROM S



Пример использования операций реляционной алгебры

Имеются поставщики (V — VENDORS) и детали (P — PARTS), связанные многие-ко-многим поставками (S — SUPPLIES).



1. Номер поставщика, поставляющего хоть что-нибудь:

S[1]

SELECT DISTINCT vendor# FROM S

2. Имя поставщика, не поставившего ни одной детали:

(V[1=1](V[1]-S[1]))[2]

```
SELECT vendor_name
FROM  V, (SELECT vendor# FROM V EXCEPT SELECT vendor# FROM S) V2
WHERE  V.vendor# = V2.vendor#
```

Практические принципы реляционной модели

- Каждое значение, содержащееся на пересечении строки и колонки, должно быть **атомарным** (неразделяемым на несколько значений).
- Значения данных в одной и той же колонке должны принадлежать к одному **типу**, доступному для исполнения в данной СУБД.
- Каждая запись в таблице **уникальна**, т. е. в таблице не существует двух записей с полностью совпадающим набором значений ее полей.
- Каждое поле имеет **уникальное имя**.

Навигационный и реляционный подходы

Основное достоинство реляционной модели – применение принципов **нечисловой (ассоциативной) обработки данных**.

- В реляционной модели запросы к БД не ограничены физическими указателями, поэтому для их реализации не нужно писать программы.
- Запросы будут продолжать работать даже после логической реорганизации базы данных.
- Реляционные приложения намного проще навигационных.

Реляционный подход: практическая реализация

Проект System R – начат в исследовательской лаборатории IBM в Сан-Хосе в 1973 году.

- **Язык SQL** для формулирования запросов (Чемберлен, Бойс) как интерфейс для пользователя БД. Декларативный, близок к естественному, простой синтаксис.
- **Оптимизатор** – автоматически транслировал высокоуровневый запрос в эффективный план его выполнения.
- **Компилятор** запросов – сохранял планы запросов для дальнейшего использования.

СУБД DB2 от IBM – 1983 год.

Другие пионеры реляционных баз данных:

- Майк Стоунбрейкер, университет Беркли. СУБД Ingres
- Ларри Эллисон, фирма Relational Software Inc. Первая коммерческая реляционная СУБД в 1979 году. В 1985 году компания переименована в Oracle.

Реляционный подход: дополнительные преимущества

Кроме повышения продуктивности программистов и простоты использования:

- Реляционная модель хорошо подходит к использованию в архитектуре клиент-сервер. Обмен высокоуровневыми запросами и ответами.
- Декларативный язык SQL позволяет компиляторам организовать параллельную обработку данных.
- Реляционные данные хорошо приспособлены к графическим пользовательским интерфейсам (электронные таблицы).

Реляционные СУБД

- Жесткая структура данных в таблицах.
- Нормализация данных (разделение по нескольким таблицам).
- Поддержка ACID-транзакций (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability).
- Стандартный язык SQL для выборки и манипуляции с данными.
- Вертикальная масштабируемость (увеличение производительности сервера).

Firebird

PostgreSQL

Microsoft SQL Server

MySQL

ORACLE DATABASE

Чем могут не устраивать реляционные СУБД?

- Семантический разрыв - необходимо поддерживать две разнородные модели: реляционную в базе и объектную в коде.
- Любые изменения в схеме сущностей нужно отражать в структуре таблиц + менять SQL-запросы и проекции таблиц на объекты.

- При больших объемах данных возникает порог вертикального масштабирования. Необходима параллельная обработка в кластере серверов .
- Падение производительности в больших распределенных системах из-за необходимости поддерживать согласованность данных + проблемы с устойчивостью к физическому разделению узлов.

Объектно-реляционные проекции

ORM (Object-Relational Mapping) — технология программирования, позволяющая связать реляционные БД с объектно-ориентированными языками программирования, создавая «виртуальную объектную базу данных».

Задача ORM — избавиться от необходимости писать SQL-код:

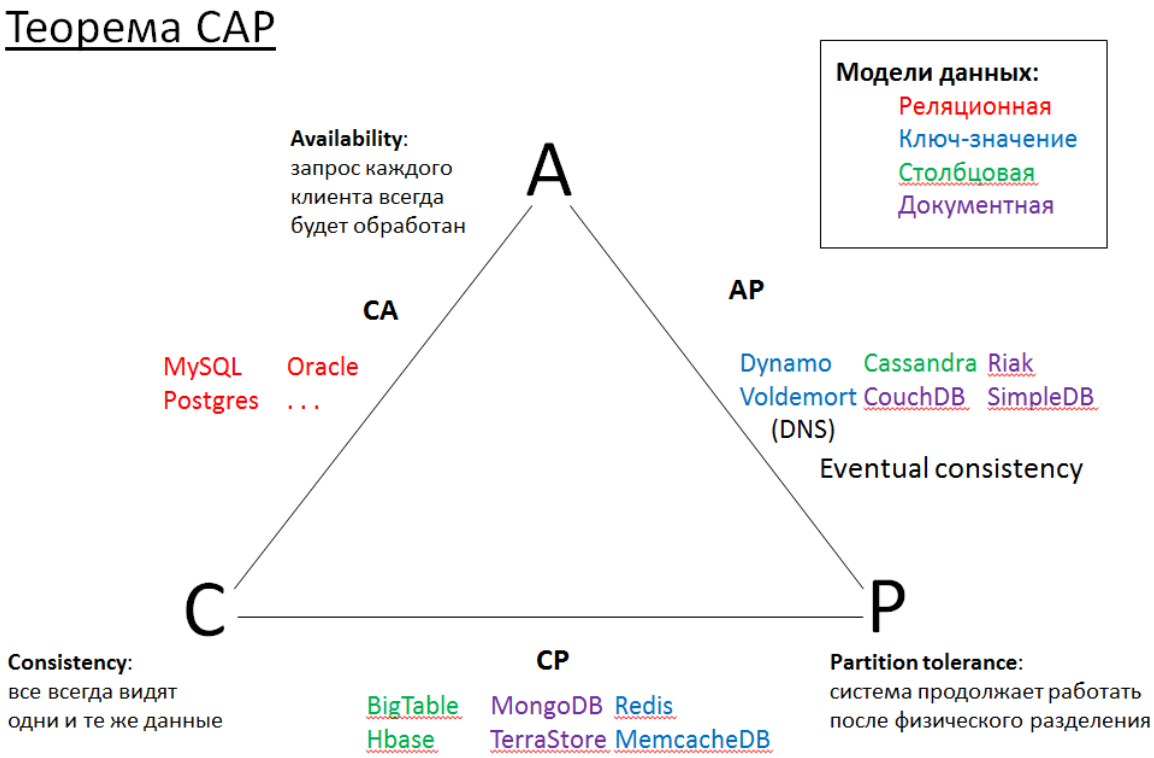
1. Обеспечить работу с данными в терминах классов и объектов, а не таблиц.

2. Предоставить простой API для CRUD.

NoSQL СУБД

Основные причины появления – распределенность систем:

- Потребность в горизонтальной масштабируемости БД (путем добавления новых узлов).
- Сложность эффективной реализации транзакций в распределенной среде.



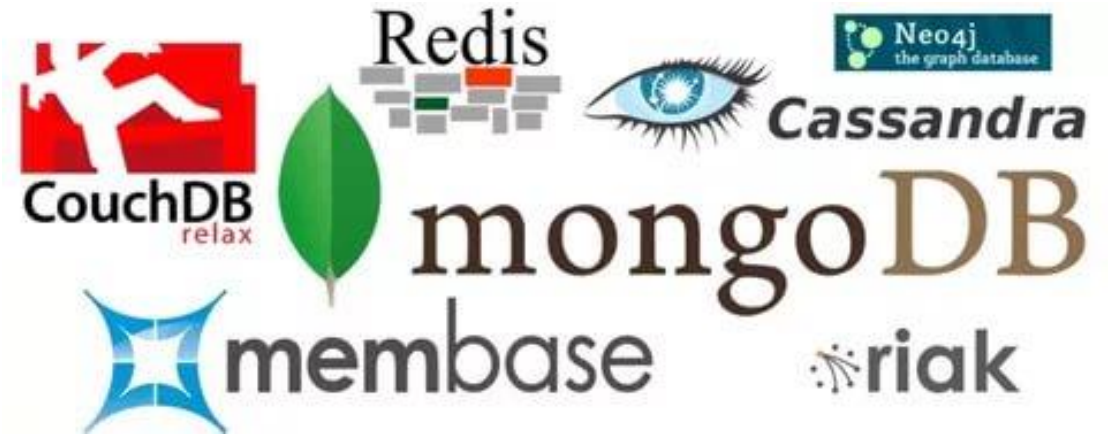
NoSQL СУБД

Основные особенности:

- Отказ от реляционной модели и языка SQL
- Использование распределенной архитектуры
- Отсутствие полноценной поддержки ACID-транзакций

Преимущества:

- Большая производительность
- Хорошая масштабируемость при возрастающих нагрузках и огромных объемах данных



Лекции для просмотра

1. ORM (https://youtu.be/V_DQUTZ4h7A)
2. Базы данных NoSQL (https://youtu.be/PfOFArFxKz8)