

БАЗЫ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Ст.преп. каф. ИТ Кеберле Наталья Геннадьевна

**Лекция 12. Нормальные формы высших порядков.
Нормальная форма Бойса-Кодда. 4НФ. 5НФ.**



На прошлых лекциях

- ▶ Мы узнали о основной проблеме реляционной модели – избыточности хранения данных
- ▶ Мы узнали о том, что избыточности можно избежать, если разбить отношения БД на более мелкие
- ▶ Мы также узнали, что для этого можно использовать F-зависимости
- ▶ На этой лекции мы узнаем, какие ещё зависимости могут быть,
- ▶ и узнаем о том, как связаны нормальные формы с реляционной алгеброй.

Нормализация

- ▶ Напомним, что процедура нормализации состоит в постепенном формировании отношений, находящихся в так называемых **«нормальных формах»**
- ▶ Мы уже рассмотрели 1НФ, 2НФ, 3НФ и узнали, как выполняется нормализация до 3НФ
- ▶ Однако, нормальных форм – больше трёх:
1НФ \supset 2НФ \supset 3НФ \supset НФБК \supset 4НФ \supset 5НФ

Значит, есть какие-то иные, причины избыточности данных в реляционной модели



Потенциальные ключи

- ▶ При определении ЗНФ было сделано допущение, что ни один непервичный атрибут не является транзитивно зависимым от первичного ключа, причем предполагалось, что такой ключ – всего один.
- ▶ Однако, реляционное отношение имеет несколько потенциальных ключей, что чаще всего и происходит на практике.



Нормальная форма Бойса-Кодда

Схема отношения R находится в НФБК тогда и только тогда когда

R находится в 1НФ

и каждая неприводимая слева F -зависимость имеет левую часть, равную некоторому потенциальному ключу

Т.е. все первичные атрибуты полностью зависят от **всех** потенциальных ключей схемы R .

Неприводимая слева F -зависимость – минимальна в том смысле, что убрав один из атрибутов в левой части, зависимость выполняться не будет



Нормальная форма Бойса-Кодда

- ▶ НФБК – результат работы алгоритма нормализации **синтезом**
 - (см. упоминание в лекции 9, и подробности – в книге Д. Мейера «Теория реляционных баз данных», гл. 5,6).
- ▶ НФБК – более сильная, по сравнению с 3НФ.
- ▶ Однако, отношение, находящееся в НФБК, также может быть избыточным.
- ▶ Для анализа нам потребуются критерий «хорошей» декомпозиции – разложение без потерь



Разложение без потерь

Пусть $r(R)$ – реляционное отношение, X, Y, Z – попарно непересекающиеся подмножества атрибутов из схемы R .

Пусть

$r1(XY) = \pi_{XY}(r)$, $r2(XZ) = \pi_{XZ}(r)$ – проекции отношения r на схемы XY и XZ .

Если отношение r можно получить естественным соединением этих двух проекций,

$$r(R) = \pi_{XY}(r) \bowtie \pi_{XZ}(r)$$

то говорят, что r **разлагается без потерь** на отношения со схемами XY и XZ .



Проблемы с отношением в НФБК

<i>назначение</i> (	рейс	тип_самолёта	день_недели)
	106	747	пнд	
	106	747	чтв	
	106	1011	пнд	
	106	1011	чтв	
	204	707	срд	
	204	727	срд	

Отношение *назначение* (рейс, тип_самолёта, день_недели) избыточно, хотя и находится в НФБК, и не имеет никаких F-зависимостей



Проблемы с отношением в НФБК

<i>назначение (</i>	рейс	тип_самолёта	день_недели	<i>)</i>
	106	747	пнд	
	106	747	чтв	
	106	1011	пнд	
	106	1011	чтв	
	204	707	срд	
	204	727	срд	

Однако, отношение *назначение()* можно **разложить без потерь** на два отношения, тоже в НФБК:

<i>день назначения (</i>	рейс	день_недели	<i>)</i>
	106	пнд	
	106	чтв	
	204	срд	

<i>тип самолёта назначения (</i>	рейс	тип_самолёта	<i>)</i>
	106	747	
	106	1011	
	204	707	
	204	707	

Проблемы с отношением в НФБК

<i>назначение</i> (	рейс	тип_самолёта	день_недели)
	106	747	пнд	
	106	747	чтв	
-----	106	1011	пнд	-----
	106	1011	чтв	
	204	707	срд	
	204	727	срд	

Если теперь убрать всего один кортеж, то декомпозиция на два отношения **не даёт разложения без потерь**

<i>день назначения</i> (	рейс	день_недели)
	106	пнд	
	106	чтв	
	204	срд	

<i>тип самолёта назначения</i> (	рейс	тип_самолёта)
	106	747	
	106	1011	
	204	707	
	204	707	

Проблемы с отношением в НФБК

день назначения (рейс день_недели)

рейс	день_недели
106	пнд
106	чтв
204	срд



тип самолёта назначения (

рейс	тип_самолёта
106	747
106	1011
204	707
204	707



назначение (рейс тип_самолёта день_недели)

рейс	тип_самолёта	день_недели
106	747	пнд
106	747	чтв
106	1011	пнд
106	1011	чтв
204	707	срд
204	727	срд



назначение (рейс тип_самолёта день_недели)

рейс	тип_самолёта	день_недели
106	747	пнд
106	747	чтв
106	1011	пнд
106	1011	чтв
204	707	срд
204	727	срд

Многозначные зависимости

Пусть

R - схема отношения,

$X, Y \subseteq R, X \cap Y = \emptyset$

$Z = R \setminus (X \cup Y),$

Отношение $r(R)$ удовлетворяет многозначной (MV-) зависимости $X \twoheadrightarrow Y$, если для любого значения атрибута X существует множество (т.е. несколько) значений атрибута Y .

Многозначные зависимости = multivalued dependencies = MV-зависимости



Многозначные зависимости

Другими словами, пусть в отношении r со схемой $R(ABC)$ кортежи t имеют вид

$\langle a, b, c \rangle$

Тогда, отношение $r(R)$ удовлетворяет MV-зависимости $A \twoheadrightarrow B$ только в таком случае: если в отношении есть кортежи

$\langle a1, b1, c1 \rangle$ и $\langle a1, b2, c2 \rangle$,

r	A	B	C
	a1	b1	c1
	a1	b2	c2

то обязательно должны быть и кортежи

$\langle a1, b2, c1 \rangle$ и $\langle a1, b1, c2 \rangle$

a1	b1	c2
a1	b2	c1

Многозначные зависимости

- ▶ **MV-зависимости всегда образуют пары:**
Для любых подмножеств $A \subseteq R$, $B \subseteq R$, $A \cap B = \emptyset$,
 $C = R \setminus (A \cup B)$ схемы R верно:

MV-зависимость $A \twoheadrightarrow B$ выполняется
тогда и только тогда когда
выполняется MV-зависимость $A \twoheadrightarrow C$
(в силу симметрии при переобозначении),

поэтому обычно MV-зависимости записываются так:

$$A \twoheadrightarrow B/C$$

MV-зависимости: аксиомы вывода

M1. Рефлексивность: $X \rightarrow X$

M2. Пополнение: $X \rightarrow Y \Rightarrow XZ \rightarrow Y$

M3. Аддитивность: $X \rightarrow Y$ и $X \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow YZ$

M4. Проективность: $X \rightarrow Y$ и $X \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow Y \cap Z$ и $X \rightarrow Y \setminus Z$

M5. Транзитивность: $X \rightarrow Y$ и $Y \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow Z \setminus Y$

M6. Псевдотранзитивность:

$$X \rightarrow Y \text{ и } YW \rightarrow Z (!) \Rightarrow XW \rightarrow Z \setminus (Y \cup W)$$

M7. Дополнение: $X \rightarrow Y$ и $Z = R \setminus (X \cup Y) \Rightarrow X \rightarrow Z$,

или

$$X \rightarrow Y / Z$$

Аксиома M7 является следствием определения MV-зависимости, остальные – аналоги аксиом для F-зависимостей

Свойства MV-зависимостей

Для любых подмножеств $A \subseteq R$, $B \subseteq R$, $A \cap B = \emptyset$, $C = R \setminus (A \cup B)$ схемы R верно:

- ▶ Если отношение $r(R)$ удовлетворяет F-зависимости $A \rightarrow B$, то $r(R)$ удовлетворяет и MV-зависимости $A \twoheadrightarrow B$
- ▶ Если отношение $r(R)$ удовлетворяет нетривиальной MV-зависимости $A \twoheadrightarrow B$, отношение разлагается без потерь на отношения со схемами $R_1 = AB$, $R_2 = AC$



Четвёртая нормальная форма

Отношение $r(R)$ находится в четвертой нормальной форме (4НФ), если оно находится в 1НФ и все MV-зависимости, которым оно удовлетворяет, являются F-зависимостями от потенциальных ключей (F-зависимостями с левой частью в виде потенциального ключа).



Четвёртая нормальная форма

<i>назначение</i> (	рейс	тип_самолёта	день_недели)
	106	747	пнд	
	106	747	чтв	
	106	1011	пнд	
	106	1011	чтв	
	204	707	срд	
	204	727	срд	

Отношение *назначение* (рейс, тип_самолёта, день_недели) не находится в 4НФ, т.к. в нём присутствует MV-зависимость

рейс ->> тип_самолёта / день_недели

Зависимости соединения

- ▶ До сих пор предполагалось, что при декомпозиции без потерь вплоть до 4НФ нужно разбивать исходное отношение на две его проекции.
- ▶ Однако существуют отношения, для которых **нельзя** выполнить декомпозицию без потерь на **две** проекции, но **можно** нормализовать без потерь на **три или более** проекций. Такое отношение называют **n-декомпозируемым** ($n > 2$).
- ▶ Выясним, каким должно быть отношение, чтобы оно было 3-декомпозируемым.



3-декомпозируемые отношения

r	A	B	C
	a1	b1	c1
	a1	b1	c2
	a1	b2	c1
	a2	b1	c1

Отношение r нельзя декомпонировать на две проекции без потерь, но на три проекции это отношение декомпозируется

$r1$	A	B
	a1	b1
	a1	b2
	a2	b1

$r2$	B	C
	b1	c1
	b1	c2
	b2	c1

$r3$	C	A
	c1	a1
	c1	a2
	c2	a1

Следовательно, отношение r является 3-декомпозируемым без потерь на $r1, r2, r3$
$$r = r1 \bowtie r2 \bowtie r3$$

3-декомпозируемые отношения

Данное отношение удовлетворяет некоторому ограничению на значения, такому, что это отношение является 3-декомпозируемым в любой момент времени (!). Это ограничение можно записать в виде:

Если $\langle a1, b1, c2 \rangle$, $\langle a1, b2, c1 \rangle$, $\langle a2, b1, c1 \rangle$ находятся в отношении r

то $\langle a1, b1, c2 \rangle$ также находится в отношении r

Ограничение это имеет **циклическую структуру**, т.е. если $a1$ связано с $b1$, $b1$ связано с $c2$, $c2$ связано с $a1$, то $a1, b1, c1$ должны находиться в одном кортеже.



3-декомпозируемые отношения

Отношение будет **3-декомпозируемым**, если оно удовлетворяет этому циклическому ограничению (3д-ограничению)

3д-ограничение выполняется тогда и только тогда, когда отношение равносильно соединению 3-х проекций.

В общем виде, такое ограничение называется **зависимостью соединения** (Join-dependency, J-зависимость)



Зависимости соединения

Пусть $r(R)$ – реляционное отношение.

Пусть $\{R_1, \dots, R_n\}$ – набор его проекций,

$$R = R_1 \cup \dots \cup R_n$$

Отношение $r(R)$ удовлетворяет **зависимости соединения (join-dependency, J-зависимости)**

$$*[R_1, \dots, R_n]$$

тогда и только тогда, когда
соединение всех его указанных проекций дает
отношение r

$$r = \pi_{R_1} \bowtie \pi_{R_2} \bowtie \dots \bowtie \pi_{R_n}$$



Свойства J-зависимостей

- ▶ Из определения зависимости соединения ясно, что отношение с J-зависимостью можно декомпозировать на соответствующие проекции.
- ▶ Оказывается, что J-зависимость – это обобщение MV-зависимости:

Любая MV-зависимость является J-зависимостью.

- ▶ Обратное утверждение неверно.



Связь между J- и MV-зависимостями

Сформулируем **теорему Фейгина** (Fagin):

«Отношение $r(ABC)$ удовлетворяет зависимости соединения $*[AB, AC]$ тогда и только тогда, когда r удовлетворяет многозначной зависимости $A \twoheadrightarrow B / C$ »

J-зависимость – наиболее общая форма зависимости по отношению к операциям проекции и соединения.



Отношения с J-зависимостями

Имеют много аномалий

r	A	B	C
	a1	b1	c2
	a1	b2	c1

Известно, что в $r(ABC)$ выполняется J-зависимость $*[AB, BC, AC]$

Можем разложить на три проекции

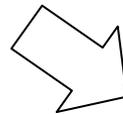
$r1$	A	B
	a1	b1
	a1	b2

$r2$	B	C
	b1	c2
	b2	c1

$r3$	C	A
	c1	a1
	c2	a1

Отношения с J-зависимостями

r	A	B	C
	a1	b1	c2
	a1	b2	c1
+	a1	b1	c1



$r1$	A	B
	a1	b1
	a1	b2

$r2$	B	C
	b1	c2
	b2	c1
+	b1	c1

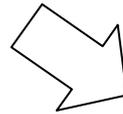
$r3$	C	A
	c1	a1
	c2	a1

При добавлении кортежа $\langle a1, b1, c1 \rangle$ в отношение r кортеж $\langle b1, c1 \rangle$ будет добавлен в $r2$.

Соединение 3-х полученных проекций даст в точности r

Отношения с J-зависимостями

r	A	B	C
	a1	b1	c2
	a1	b2	c1
+	a2	b1	c1



$r1$	A	B
	a1	b1
	a1	c2
+	a2	b1

$r2$	B	C
	b1	c2
	b2	c1
+	b1	c1

$r3$	C	A
	c1	a1
	c2	a1
+	c1	a2

Однако, при добавлении кортежа $\langle a2, b1, c1 \rangle$ в отношение r соответствующие кортежи будут добавлены и в $r1$, и в $r2$, и в $r3$.

Соединение 3-х полученных проекций уже не даст в точности r , а будет содержать лишний кортеж

Отношения с J-зависимостями

r	A	B	C
	a1	b1	c2
	a1	b2	c1
+	a2	b1	c1

Наблюдается аномалия добавления:
если мы используем не само отношение r , а собираем его из 3-х проекций, то собрав – получим другое отношение

$r \neq r1 \bowtie r2 \bowtie r3$	A	B	C
	a1	b1	c2
	a1	b2	c1
+	a2	b1	c1
?+	a1	b1	c1

Пятая нормальная форма

Отношение $r(R)$ находится в 5-й нормальной форме (5НФ, нормальная форма «проекция-соединение») тогда и только тогда, когда все зависимости соединения, которым оно удовлетворяет, является F-зависимостями с левыми частями в виде потенциальных ключей.



Пятая нормальная форма

- ▶ Для того, чтобы утверждать, что $r(R)$ находится в 5НФ, нужно знать **все** потенциальные ключи и **все** J-зависимости отношения r .
- ▶ 5НФ является высшей нормальной формой, которая может быть получена по отношению к операциям проекции и соединения.
- ▶ 5НФ всегда достижима.
- ▶ Отношение в 5НФ не содержит аномалий, которые могут быть исключены разбиением на проекции.



Пятая нормальная форма

Как проверить 5НФ, если не все ключи и J-зависимости известны?

- ▶ Если отношение $r(R)$ находится в 3НФ и все потенциальные ключи в r – одноатрибутные (т.е. состоят из одного атрибута), то $r(R)$ автоматически находится в 5НФ.
- ▶ Если отношение $r(R)$ находится в НФБК и хотя бы один потенциальный ключ в r – одноатрибутный, то $r(R)$ находится в 4НФ, но не обязательно в 5НФ.

Процесс декомпозиции (полный)

- ▶ Получить 1НФ.
- ▶ Разбить отношения, находящиеся в 1НФ на проекции, чтобы исключить частичные зависимости. Получена 2НФ.
- ▶ Разбить отношения, находящиеся в 2НФ на проекции, чтобы исключить транзитивные зависимости. Получена 3НФ.
- ▶ Исключить из отношений, находящихся в 3НФ, те F-зависимости, левые части которых не являются потенциальными ключами. Получена НФБК.
- ▶ Отношения в НФБК разбить на проекции, лишенные MV-зависимостей, которые не являются F-зависимостями. Получена 4НФ.
- ▶ Отношения в 4НФ разбить на проекции, лишенные J-зависимостей, которые не обусловлены потенциальными ключами(если J-зависимости вообще можно выявить). Получена 5НФ.

Всегда ли надо нормализовывать?

- ▶ Чем отличаются схемы БД от нормализованных схем?
 - Более дробные, мелкие таблицы
 - Запросы по нескольким таблицам требуют много операций соединения, а значит, времени на проведение этих операций
- ▶ Поэтому бывают ситуации, когда ненормализованная таблица лучше подходит на практике, чем 5НФ (!), и даже 3НФ.
 - Как решить, нормализовать или нет?
 - Опыт, умение вычислять план запроса, оценка частоты выполнения запроса, ...
- ▶ Добро пожаловать на следующую лекцию



Что узнали сегодня?

- ▶ В реляционной модели данных 5НФ – наивысшая нормальная форма, которая может быть получена относительно операций проекции и соединения
- ▶ 5НФ всегда достижима

