
Проектирование РБД: дальнейшая нормализация

С.Д. Кузнецов. Базы данных. Тема 6

План (1)

- Введение
- Многозначные зависимости и четвертая нормальная форма
 - Аномалии обновлений при наличии многозначных зависимостей и возможная декомпозиция
 - Многозначные зависимости. Теорема Фейджина. Четвертая нормальная форма

План (2)

- Зависимости проекции/соединения и пятая нормальная форма
 - N-декомпозируемые отношения
 - Зависимость проекции/соединения
 - Аномалии, вызываемые наличием зависимости проекции/соединения
 - Устранение аномалий обновления в 3-декомпозиции
 - Пятая нормальная форма
- Заключение

Введение (1)

- Функциональные зависимости и нормальные формы, основанные на учете «аномальных» функциональных зависимостей, являются естественными и легко понимаемыми, поскольку в их основе лежит интуитивно понятное понятие функционального отображения
- Было бы замечательно, если бы ликвидация в ходе нормализации аномальных функциональных зависимостей гарантировала отсутствие аномалий обновления отношений
- К сожалению, эта гарантия в общем случае не обеспечивается
- Иногда в переменных отношениях требуется поддержка более сложных ограничений целостности, для выражения которых понятие функции оказывается недостаточным

Введение (2)

- Класс зависимостей, опирающихся на понятие *функционала* – обобщение понятия функции, обнаружил в 1970-е гг. Рональд Фейджин
- Он назвал такие зависимости *многозначными*, поскольку в них одному значению детерминанта соответствует множество значений зависимого атрибута
- Наличие в переменной отношения многозначных зависимостей, не являющихся функциональными зависимостями от возможного ключа, приводит к аномалиям обновления таких отношений
- Фейджин показал, что и в этом случае возможна декомпозиция данных отношений на две проекции, для которых подобные аномалии обновления не проявляются
- Такие проекции находятся в *четвертой нормальной форме*

Введение (3)

- Позже было установлено, что при наличии некоторых естественных ограничений, являющихся обобщением ограничений многозначных зависимостей, и в отношениях, которые находятся в четвертой нормальной форме, проявляются аномалии обновления
- Более того, эти аномалии невозможно устранить путем проецирования отношения на две проекции, требуется декомпозиция на три или большее число отношений
- Такие ограничения получили название зависимостей *проекции/соединения*.

Введение (4)

- Отношение, в котором существует нетривиальная зависимость проекции/соединения, может быть декомпозировано на три или большее число проекций, в которых зависимости проекции/соединения следуют из возможного ключа
- Такие проекции находятся в *пятой нормальной форме*, или *нормальной форме проекции/соединения*
- В отношениях, находящихся в пятой нормальной форме, отсутствуют аномалии обновления, которые можно было бы устранить путем декомпозиции, и поэтому
 - при достижении пятой нормальной формы процесс проектирования реляционной базы данных на основе нормализации естественным образом завершается

MVD и 4NF (1)

- Рассмотрим еще одну возможную интерпретацию переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН
- Предположим, что каждый сотрудник может участвовать в нескольких проектах, но в каждом проекте, в котором он участвует, им должны выполняться одни и те же задания

Возможное значение переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН (еще один вариант)

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	1	A
2934	1	B
2934	2	A
2934	2	B
....
2941	1	A
2941	1	D

MVD и 4NF (2)

Аномалии обновлений при наличии MVD (1)

- В новом варианте переменной отношения единственно возможным ключом является заголовок отношения
{СЛУ_НОМ, ПРО_НОМ, СЛУ_ЗАДАН}
- Кортеж
{<СЛУ_НОМ, *сн*>, <ПРО_НОМ, *пн*>, <СЛУ_ЗАДАН, *сз*>}
входит в тело отношения в том и только в том случае,
 - когда служащий с номером *сн* выполняет в проекте *пн* задание *сз*

MVD и 4NF (3)

Аномалии обновлений при наличии MVD (2)

- Поскольку для каждого служащего указываются все проекты, в которых он участвует, и все задания, которые он должен выполнять в этих проектах, для каждого допустимого значения переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН должно выполняться следующее ограничение ($V_{СПЗ}$ обозначает тело значения переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН):

IF

$\{ \langle \text{СЛУ_НОМ}, sn \rangle, \langle \text{ПРО_НОМ}, pn1 \rangle, \langle \text{СЛУ_ЗАДАН}, cz1 \rangle \} \in V_{СПЗ}$

AND

$\{ \langle \text{СЛУ_НОМ}, sn \rangle, \langle \text{ПРО_НОМ}, pn2 \rangle, \langle \text{СЛУ_ЗАДАН}, cz2 \rangle \} \in V_{СПЗ}$)

THEN

$\{ \langle \text{СЛУ_НОМ}, sn \rangle, \langle \text{ПРО_НОМ}, pn1 \rangle, \langle \text{СЛУ_ЗАДАН}, cz2 \rangle \} \in V_{СПЗ}$

AND

$\{ \langle \text{СЛУ_НОМ}, sn \rangle, \langle \text{ПРО_НОМ}, pn2 \rangle, \langle \text{СЛУ_ЗАДАН}, cz1 \rangle \} \in V_{СПЗ}$)

MVD и 4NF (4)

Аномалии обновлений при наличии MVD (3)

- Наличие такого ограничения (оно порождается наличием многозначной зависимости) приводит к тому, что при работе с отношением СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН проявляются следующие аномалии обновления:
 - *Добавление кортежа.* Если уже участвующий в проектах служащий присоединяется к новому проекту, то к телу значения переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН требуется добавить столько кортежей, сколько заданий выполняет этот служащий
 - *Удаление кортежей.* Если служащий прекращает участие в проектах, то отсутствует возможность сохранить данные о заданиях, которые он может выполнять
 - *Модификация кортежей.* При изменении одного из заданий служащего необходимо изменить значение атрибута СЛУ_ЗАДАН в стольких кортежах, в скольких проектах участвует служащий

MVD и 4NF (5)

Аномалии обновлений при наличии MVD (4)

➤ Трудности, связанные с обновлением переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН, решаются путем его декомпозиции на две переменных отношений:

- ✓ СЛУЖ_ПРО_НОМ {СЛУ_НОМ, ПРО_НОМ} и
- ✓ СЛУЖ_ЗАДАНИЕ {СЛУ_НОМ, СЛУ_ЗАДАН}

СЛУЖ_ПРО_НОМ

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ
2934	1
2934	2
....
2941	1

СЛУЖ_ЗАДАНИЕ

СЛУ_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	A
2934	B
....
2941	A
2941	D

MVD и 4NF (6)

Аномалии обновлений при наличии MVD (5)

- Легко видеть, что эта декомпозиция является декомпозицией без потерь и что она решает перечисленные выше проблемы с обновлением переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН:
 - *Добавление кортежа.* Если некоторый уже участвующий в проектах служащий присоединяется к новому проекту, то к телу значения переменной отношения СЛУЖ_ПРО_НОМ требуется добавить один кортеж, соответствующий новому проекту
 - *Удаление кортежей.* Если служащий прекращает участие в проектах, то данные о заданиях, которые он может выполнять, остаются в отношении СЛУЖ_ЗАДАНИЕ
 - *Модификация кортежей.* При изменении одного из заданий сотрудника достаточно изменить значение атрибута СЛУ_ЗАДАН в одном кортеже отношения СЛУЖ_ЗАДАНИЕ

MVD и 4NF (7)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (1)

- Заметим, что последний вариант переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН находится в BCNF, поскольку все атрибуты заголовка отношения входят в состав единственно возможного ключа
- В этом отношении вообще отсутствуют нетривиальные FD
- Поэтому ранее обсуждавшиеся принципы нормализации здесь неприменимы, но, тем не менее, мы получили полезную декомпозицию.
- В случае этого варианта отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН мы имеем дело с новым видом зависимости, впервые обнаруженным Роном Фейджином в 1971 г.
- Фейджин назвал зависимости этого вида многозначными (multi-valued dependency – MVD)
- Многозначная зависимость атрибута A от атрибута B обозначается, как $A \twoheadrightarrow B$
- Как мы увидим немного позже, MVD является обобщением понятия FD

MVD и 4NF (8)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (2)

- В отношении СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН выполняются две MVD:
 - СЛУ_НОМ \twoheadrightarrow ПРО_НОМ и
 - СЛУ_НОМ \twoheadrightarrow СЛУ_ЗАДАН
- Первая MVD означает, что каждому значению атрибута СЛУ_НОМ соответствует определяемое только этим значением множество значений атрибута ПРО_НОМ
- Другими словами, в результате вычисления алгебраического выражения
(СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН
WHERE (СЛУ_НОМ = *сн* AND СЛУ_ЗАДАН = *сз*))
PROJECT {ПРО_НОМ}
для фиксированного допустимого значения *сн* и любого допустимого значения *сз* мы всегда получим одно и то же множество значений атрибута ПРО_НОМ
- Аналогично трактуется вторая MVD

MVD и 4NF (9)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (3)

■ Определение 6.1. Многозначная зависимость

В переменной отношении r с атрибутами A , B , C (в общем случае, составными) имеется многозначная зависимость B от A ($MVD A \twoheadrightarrow B$) в том и только в том случае, когда множество значений атрибута B , соответствующее паре значений атрибутов A и C , зависит от значения A и не зависит от значения C

- Многозначные зависимости обладают интересным свойством «двойственности», которое демонстрирует следующая лемма

MVD и 4NF (10)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (4)

■ Лемма Фейджина

В отношении $r \{A, B, C\}$ выполняется MVD $A \twoheadrightarrow B$ в том и только в том случае, когда выполняется MVD $A \twoheadrightarrow C$

■ Докажем достаточность условия леммы

- Пусть выполняется MVD $A \twoheadrightarrow B$
- Пусть R – некоторое значение переменной отношения r , удовлетворяющее этой зависимости
- Пусть a обозначает значение атрибута A в некотором кортеже BR , $\{b\}$ и $\{c\}$ – множества значений атрибутов B и C соответственно, взятых из всех кортежей тела BR , в которых значением атрибута A является a
- Предположим, что для этого значения a MVD $A \twoheadrightarrow C$ не выполняется
- Это означает, что существует значение $c \in \{c\}$, что для него найдется такое значение $b \in \{b\}$, что кортеж $\{A, a, B, b, C, c\} \notin BR$
- Но это противоречит наличию MVD $A \twoheadrightarrow B$ ($\{b\}$ зависит только от a)
- Следовательно, если выполняется MVD $A \twoheadrightarrow B$, то выполняется и MVD $A \twoheadrightarrow C$

■ Аналогично можно доказать необходимость условия леммы

MVD и 4NF (11)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (5)

- Таким образом, MVD $A \twoheadrightarrow B$ и $A \twoheadrightarrow C$ всегда составляют пару
 - Поэтому обычно их представляют вместе в форме $A \twoheadrightarrow B \mid C$
- FD является частным случаем MVD, когда множество значений зависимого атрибута обязательно состоит из одного элемента
 - Таким образом, если выполняется FD $A \rightarrow B$, то выполняется и MVD $A \twoheadrightarrow B$.
- Мы видим, что отношения СЛУЖ_ПРО_НОМ и СЛУЖ_ЗАДАНИЕ не содержат MVD, отличных от FD, и именно в этом выигрывает показанная раньше декомпозиция
- Правомочность этой декомпозиции доказывается приведенной ниже теоремой Фейджина, которая является уточнением и обобщением теоремы Хита

MVD и 4NF (12)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (6)

■ Теорема Фейджина

Пусть имеется переменная отношения r с атрибутами A, B, C (в общем случае, составными). Тогда $r = (r \text{ PROJECT } \{A, B\}) \text{ NATURAL JOIN } (r \text{ PROJECT } \{A, C\})$ в том и только в том случае, когда любого значения r выполняется MVD $A \twoheadrightarrow B \mid C$

■ Сначала докажем достаточность условия теоремы,

- т.е., что если для любого значения r выполняется MVD $A \twoheadrightarrow B \mid C$, то $r = (r \text{ PROJECT } \{A, B\}) \text{ NATURAL JOIN } (r \text{ PROJECT } \{A, C\})$
- Пусть R является некоторым допустимым значением переменной отношений r
- Обозначим результат операции $R \text{ PROJECT } \{A, B\}$ через R_1 , результат операции $R \text{ PROJECT } \{A, C\}$ через R_2 , а результат естественного соединения $R_1 \text{ NATURAL JOIN } R_2$ через R_3

MVD и 4NF (13)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (7)

- Пусть a обозначает значение атрибута A в некотором кортеже B_R , $\{b\}$ и $\{c\}$ – множества значений атрибутов B и C соответственно, взятых из всех кортежей тела B_R , в которых значением атрибута A является a
- Тогда очевидно, что в B_{R_1} будут входить все кортежи вида $\langle A, a \rangle, \langle B, b \rangle$, где $b \in \{b\}$, и если некоторый кортеж $\langle A, a \rangle, \langle B, b \rangle$ входит в B_{R_1} , то $b \in \{b\}$
- Аналогичные рассуждения применимы к B_{R_2}
- Следовательно, для данного значения a в B_{R_3} будут входить те и только те кортежи $\langle A, a \rangle, \langle B, b \rangle, \langle C, c \rangle$, для которых $b \in \{b\}$ и $c \in \{c\}$
- Но по определению MVD и в B_R для данного значения входят те и только те кортежи $\langle A, a \rangle, \langle B, b \rangle, \langle C, c \rangle$, для которых $b \in \{b\}$ и $c \in \{c\}$
- ~~➤ Следовательно, $R = R_3$ и достаточность условия теоремы доказана~~

MVD и 4NF (14)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (8)

- Докажем необходимость условия теоремы, т.е. что если для произвольного значения R переменной отношения r выполняется соотношение
 $r = (r \text{ PROJECT } \{A, B\}) \text{ NATURAL JOIN } (r \text{ PROJECT } \{A, C\})$,
то в нем существует MVD $A \twoheadrightarrow B \mid C$
 - Другими словами, нам требуется показать, что в B_R поддерживается следующее ограничение:
IF
($\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b1 \rangle, \langle C, c1 \rangle \} \in B_R$ AND
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b2 \rangle, \langle C, c2 \rangle \} \in B_R$)
THEN
($\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b1 \rangle, \langle C, c2 \rangle \} \in B_R$ AND
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b2 \rangle, \langle C, c1 \rangle \} \in B_R$)

MVD и 4NF (15)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (9)

- Действительно, пусть
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b1 \rangle, \langle C, c1 \rangle \} \in V_R$ и
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b2 \rangle, \langle C, c2 \rangle \} \in V_R$
- Предположим, что
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b1 \rangle, \langle C, c2 \rangle \} \notin V_R$ или
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b2 \rangle, \langle C, c1 \rangle \} \notin V_R$
- Если воспользоваться ранее введенными обозначениями, то, очевидно, что
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b1 \rangle \} \in V_{R1}$ и
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b2 \rangle \} \in V_{R1}$, а также
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle C, c1 \rangle \} \in V_{R2}$ и
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle C, c2 \rangle \} \in V_{R2}$
- По свойствам операции естественного соединения
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b1 \rangle, \langle C, c2 \rangle \} \in V_{R3}$ и
 $\{ \langle A, a \rangle, \langle B, b2 \rangle, \langle C, c1 \rangle \} \in V_{R3}$
- Поскольку по условию теоремы $R = R_3$, это противоречит предположению об отсутствии, по крайней мере, одного из этих кортежей в VR
- Тем самым, теорема Фейджина полностью доказана

MVD и 4NF (16)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (10)

- Обсудим теперь, почему и в каком отношении теорема Фейджина является обобщением теоремы Хита
- В соответствии с теоремой Хита, достаточным условием декомпозиции без потерь переменной отношения $r \{A, B, C\}$ на проекции $r \text{ PROJECT } \{A, B\}$ и $r \text{ PROJECT } \{A, C\}$ является наличие функциональной зависимости $A \rightarrow B$
- Но поскольку функциональная зависимость является частным случаем многозначной зависимости, то
 - по лемме Фейджина в переменной отношения, удовлетворяющей условию теоремы Хита, имеется MVD $A \twoheadrightarrow B \mid C$, и, следовательно,
 - теорема Хита является следствием теоремы Фейджина

MVD и 4NF (17)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (11)

- Из теоремы же Фейджина следует, что теорема Хита задает только достаточное условие декомпозиции без потерь, потому что
 - из того, что для произвольного значения R переменной отношения r выполняется соотношение
$$r = (r \text{ PROJECT } \{A, B\}) \text{ NATURAL JOIN } (r \text{ PROJECT } \{A, C\}),$$
выводится наличие MVD $A \twoheadrightarrow B \mid C$, но совсем не обязательно FD $A \rightarrow B$
- Теорема Фейджина обеспечивает основу для декомпозиции отношений, удаляющей «аномальные» многозначные зависимости, с приведением отношений в *четвертую нормальную форму*

MVD и 4NF (18)

MVD, теорема Фейджина, 4NF (12)

■ **Определение 6.2. Четвертая нормальная форма**

Переменная отношения r находится в четвертой нормальной форме (4NF) в том и только в том случае, когда она находится в BCNF, и все MVD r являются FD с детерминантами – возможными ключами отношения r

- В сущности, 4NF является BCNF, в которой многозначные зависимости вырождаются в функциональные
- Понятно, что отношение СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН не находится в 4NF, поскольку детерминант MVD СЛУ_НОМ \twoheadrightarrow ПРО_НОМ и СЛУ_НОМ \twoheadrightarrow СЛУ_ЗАДАН не является возможным ключом, и эти MVD не являются функциональными
- С другой стороны, отношения СЛУЖ_ПРО_НОМ и СЛУЖ_ЗАДАНИЕ находятся в BCNF и не содержат MVD, отличных от FD с детерминантом – возможным ключом
- Поэтому они находятся в 4NF

Зависимости проекции/соединения 5NF (1)

- Приведение отношения к 4NF предполагает его декомпозицию без потерь на две проекции (как и в случае 2NF, 3NF и BCNF)
- Однако бывают (хотя и нечасто) случаи, когда декомпозиция без потерь на две проекции невозможна, но можно произвести декомпозицию без потерь на большее число проекций
- Будем называть n -декомпозируемым отношением отношение, которое может быть декомпозировано без потерь на n проекций
- До сих пор мы имели дело с 2-декомпозируемыми отношениями

Зависимости проекции/соединения и 5NF (2)

N-декомпозируемые отношения (1)

■ **Определение 6.3. Тривиальная многозначная зависимость**

В переменной отношения r с атрибутами (возможно, составными) A и B MVD $A \twoheadrightarrow B$ называется *тривиальной*, если либо $A \subseteq B$, либо $A \text{ UNION } B$ совпадает с заголовком отношения r

- Тривиальная MVD всегда удовлетворяется
 - При $A \subseteq B$ она вырождается в тривиальную FD
 - В случае $A \text{ UNION } B = H_r$ требования многозначной зависимости соблюдаются очевидным образом

Зависимости проекции/соединения и 5NF (3)

N-декомпозируемые отношения (2)

$R_{слз}$

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	1	А
2934	1	В
2934	2	А
2941	1	А

$R_{сл}$ NATURAL JOIN $R_{лс}$

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	1	А
2934	1	В
2934	2	А
2941	1	А
2941	1	В

← Лишний кортеж

$R_{сл} = (R_{слз} \text{ ПРОЕКТ } \{СЛУ_НОМ, ПРО_НОМ\})$

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ
2934	1
2934	2
2941	1

$R_{лс} = (R_{слз} \text{ ПРОЕКТ } \{ПРО_НОМ, СЛУ_ЗАДАН\})$

ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
1	А
1	В
2	А

$\pi = (R_{слз} \text{ ПРОЕКТ } \{СЛУ_НОМ, СЛУ_ЗАДАН\})$

СЛУ_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	А
2934	В
2941	А

- В отношении СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН имеется единственный возможный ключ {СЛУ_НОМ, ПРО_НОМ, СЛУ_ЗАДАН} и отсутствуют нетривиальные MVD

Зависимости проекции/соединения и 5NF (4)

N-декомпозируемые отношения (3)

$R_{СПС}$

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	1	А
2934	1	В
2934	2	А
2941	1	А

$R_{СП}$ NATURAL JOIN $R_{ПС}$

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	1	А
2934	1	В
2934	2	А
2941	1	А
2941	1	В

← Лишний кортеж

$R_{СП} = (R_{СПЗ} \text{ ПРОЕКТ } \{\text{СЛУ_НОМ, ПРО_НОМ}\})$

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ
2934	1
2934	2
2941	1

$R_{ПС} = (R_{СПЗ} \text{ ПРОЕКТ } \{\text{ПРО_НОМ, СЛУ_ЗАДАН}\})$

ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
1	А
1	В
2	А

$R_{СС} = (R_{СПЗ} \text{ ПРОЕКТ } \{\text{СЛУ_НОМ, СЛУ_ЗАДАН}\})$

СЛУ_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	А
2934	В
2941	А

- Тело результата естественного соединения проекций $R_{СП}$ и $R_{ПС}$ почти совпадает с телом исходного значения-отношения $R_{СПС}$, но в нем присутствует один лишний кортеж, который исчезнет после выполнения заключительного естественного соединения с проекцией $R_{СС}$
- Легко убедиться, что исходное отношение будет восстановлено при любом порядке естественного соединения трех проекций

Зависимости проекции/соединения и 5NF (4)

Зависимость проекции/соединения (1)

- Утверждение о том, что значение-отношение $R_{СПС}$ восстанавливается без потерь путем естественного соединения его проекций $R_{СП}$, $R_{ПС}$ и $R_{СС}$ эквивалентно следующему утверждению:

IF

$\{ \langle \text{СЛУ_НОМ}, \text{сн} \rangle, \langle \text{ПРО_НОМ}, \text{пн} \rangle \} \in V_{R_{СП}}$ AND
 $\{ \langle \text{ПРО_НОМ}, \text{пн} \rangle, \langle \text{СЛУ_ЗАДАН}, \text{сз} \rangle \} \in V_{R_{ПС}}$ AND
 $\{ \langle \text{СЛУ_НОМ}, \text{сн} \rangle, \langle \text{СЛУ_ЗАДАН}, \text{сз} \rangle \} \in V_{R_{СС}}$

THEN

$\{ \langle \text{СЛУ_НОМ}, \text{сн} \rangle, \langle \text{ПРО_НОМ}, \text{пн} \rangle, \langle \text{СЛУ_ЗАДАН}, \text{сз} \rangle \} \in V_{R_{СПС}}$

Зависимости проекции/соединения и 5NF (5)

Зависимость проекции/соединения (2)

- Чтобы возможность восстановления без потерь значения $R_{СПС}$ переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН путем естественного соединения значений ее проекций $R_{СП}$, $R_{ПС}$ и $R_{СС}$ существовала при *любом допустимом* $R_{СПС}$, для значений переменной СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН должно поддерживаться следующее ограничение:

IF

{<СЛУ_НОМ, $сн1$ >, <ПРО_НОМ, $пн1$ >, <СЛУ_ЗАДАН, $сз2$ >} $\in B_{R_{СПС}}$

AND

{<СЛУ_НОМ, $сн2$ >, <ПРО_НОМ, $пн1$ >, <СЛУ_ЗАДАН, $сз1$ >} $\in B_{R_{СПС}}$ AND

{<СЛУ_НОМ, $сн1$ >, <ПРО_НОМ, $пн1$ >, <СЛУ_ЗАДАН, $сз1$ >} $\in B_{R_{СПС}}$)

THEN

{<СЛУ_НОМ, $сн1$ >, <ПРО_НОМ, $пн1$ >, <СЛУ_ЗАДАН, $сз1$ >} $\in B_{R_{СПС}}$

Зависимости проекции/соединения и 5NF (6)

Зависимость проекции/соединения (3)

- Это обычное ограничение реального мира, которое для переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН может быть сформулировано на естественном языке следующим образом:

***Если** служащий с номером сн участвует в проекте пн, и в проекте пн выполняется задание сз, и служащий с номером сн выполняет задание сз, **то** служащий с номером сн выполняет задание сз в проекте пн*

- В общем виде такое ограничение называется *зависимостью проекции/соединения*

Зависимости проекции/соединения и 5NF (7)

Зависимость проекции/соединения (4)

- Определение 6.4. Зависимость проекции/соединения

Пусть задана переменная отношения r , и A, B, \dots, Z являются произвольными подмножествами заголовка r (составными, перекрывающимися атрибутами).

В переменной отношения r удовлетворяется зависимость проекции/соединения (Project-Join Dependency – PJD) $*(A, B, \dots, Z)$ тогда и только тогда, когда любое допустимое значение r можно получить путем естественного соединения проекций этого значения на атрибуты A, B, \dots, Z

Зависимости проекции/соединения и 5NF (8)

Аномалии, вызываемые наличием PJD (1)

- Предположим, что для переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН выполняется PJD $*(\{СЛУ_НОМ, ПРО_НОМ\}, \{ПРО_НОМ, СЛУ_ЗАДАН\}, \{СЛУ_НОМ, СЛУ_ЗАДАН\})$
- Наличие такой PJD обеспечивает возможность декомпозиции этой переменной отношения на три проекции, но возникает вопрос, зачем это нужно?
- Чем плохо исходное отношение СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН?
- Ответ обычный: этому отношению свойственны аномалии обновления

Зависимости проекции/соединения и 5NF (8)

Аномалии, вызываемые наличием PJD (2)

➤ **Добавление кортежей.** Если к переменной со значением $R_{спис1}$ добавляется кортеж $\{<СЛУ_НОМ, 2941>, <ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>\}$, то в новом значении переменной должен быть добавлен и кортеж $\{<СЛУ_НОМ, 2934>, <ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>\}$

Возможное значение переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН $R_{спис1}$

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	1	В
2934	2	А

Значение СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН после добавления к $R_{спис1}$ кортежа

$\{< СЛУ_НОМ, 2941>, < ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>\}$ ($R_{спис2}$)

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	1	В
2934	2	А
2941	1	А
2934	1	А

- После вставки в значении переменной отношения появятся кортежи $\{<СЛУ_НОМ, 2934>, <ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, В>\}$, $\{<СЛУ_НОМ, 2941>, <ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>\}$ и $\{<СЛУ_НОМ, 2934>, <ПРО_НОМ, 2>, <СЛУ_ЗАДАН, А>\}$
- Ограничение целостности требует включения и кортежа $\{<СЛУ_НОМ, 2934>, <ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>\}$
- Добавление кортежа $\{<СЛУ_НОМ, 2934>, <ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>\}$ не нарушает ограничение целостности и, тем самым, не требует добавления кортежа $\{<СЛУ_НОМ, 2941>, <ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>\}$

Зависимости проекции/соединения и 5NF (9)

Аномалии, вызываемые наличием PJD (3)

➤ *Удаление кортежей.* Если из переменной со значением R_{cnc2} удаляется кортеж {<СЛУ_НОМ, 2934>, <ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>}, то должен быть удален и кортеж {<СЛУ_НОМ, 2941>, <ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>}, поскольку в соответствии с ограничением целостности наличие второго кортежа означает наличие первого

➤ Интересно, что удаление кортежа {<СЛУ_НОМ, 2941>, <ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>} не нарушает ограничения целостности и не требует дополнительных удалений

Возможное значение переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН R_{cnc1}

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	1	В
2934	2	А

Значение СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН после добавления к R_{cnc1} кортежа

{< СЛУ_НОМ, 2941>, < ПРО_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>} (R_{cnc2})

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	1	В
2934	2	А
2941	1	А
2934	1	А

Зависимости проекции/соединения и 5NF (10)

Устранение аномалий обновления в 3-деком

Декомпозируем переменную отношения
СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН на три переменных
отношения:

- ✓ СЛУЖ_ПРО_НОМ {СЛУ_НОМ, ПРО_НОМ},
- ✓ СЛУЖ_ЗАДАНИЕ {СЛУ_НОМ, СЛУ_ЗАДАН} и
- ✓ ПРО_НОМ_ЗАДАН {ПРО_НОМ, СЛУ_ЗАДАН}

СЛУЖ_ПРО_НОМ ($R_{сп1}$)

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ
2934	1
2934	2

СЛУЖ_ЗАДАНИЕ ($R_{сст1}$)

СЛУ_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	В
2934	А

ПРО_НОМ_ЗАДАН ($R_{пст1}$)

ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
1	В
2	А

Зависимости проекции/соединения и 5NF

(11)

Устранение аномалий обновления в 3-деком

➤ Если мы хотим добавить данные о сотруднике с номером 2941, выполняющем задание А в проекте 1, то, естественно, вставим кортеж {<СЛУ_НОМ, 2941>, <ПРО_НОМ, 1>} в отношение СЛУЖ_ПРО_НОМ, кортеж {<СЛУ_НОМ, 2941>, <СЛУ_ЗАДАН, А>} в отношение СЛУЖ_ЗАДАНИЕ и кортеж {<СЛУ_НОМ, 1>, <СЛУ_ЗАДАН, А>} в отношение ПРО_НОМ_ЗАДАН

➤ Но если выполнить естественное соединение значений декомпозированных переменных с телами, полученными после добавления данных о сотруднике с номером 2941, выполняющем задание А в проекте 1, то будет получено значение-отношение с заголовком отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН и телом $R_{спс2}$

➤ Проведенная декомпозиция позволила избежать сложностей при выполнении добавления кортежей с получением корректных результатов

СЛУЖ_ПРО_НОМ ($R_{спс2}$)

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ
2934	1
2934	2
2941	1

СЛУЖ_ЗАДАНИЕ ($R_{сц2}$)

СЛУ_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	В
2934	А
2941	А

ПРО_НОМ_ЗАДАН ($R_{пс2}$)

ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
1	В
2	А
1	А

$R_{спс2}$ NATURAL JOIN $R_{сц2}$ NATURAL JOIN $R_{пс2}$

СЛУ_НОМ	ПРО_НОМ	СЛУ_ЗАДАН
2934	1	В
2934	2	А
2941	1	А
2934	1	А

Зависимости проекции/соединения и 5NF

(11)

Пятая нормальная форма (1)

- **Определение 6.5. Зависимость проекции/соединения, подразумеваемая возможными ключами**

В переменной отношения r $PJD^*(A, B, \dots, Z)$ называется подразумеваемой возможными ключами в том и только в том случае, когда каждый составной атрибут A, B, \dots, Z является суперключом r , т. е. включает хотя бы один возможный ключ r

- **Определение 6.6. Тривиальная зависимость проекции/соединения**

В переменной отношения r $PJD^*(A, B, \dots, Z)$ называется тривиальной, если хотя бы один из составных атрибутов A, B, \dots, Z совпадает с заголовком r

Зависимости проекции/соединения и 5NF

(12)

Пятая нормальная форма (2)

- Легко убедиться, что нетривиальные PJD, подразумеваемые возможными ключами, существуют во всех отношениях с арностью, большей двух, первичный ключ которых не совпадает с заголовком отношения
- Например, если в переменной отношения СЛУЖ_ПРО_ЗАДАН атрибут СЛУ_НОМ является первичным ключом, то, очевидно, имеется PJD $\ast(\{СЛУ_НОМ, ПРО_НОМ\}, \{СЛУ_НОМ, СЛУ_ЗАДАН\})$ (это следует из теоремы Хита)
- Но такие зависимости проекции/соединения неинтересны с точки зрения проектирования базы данных, поскольку не порождают аномалий обновления
- Поэтому общепринятое определение пятой нормальной формы выглядит следующим образом

Зависимости проекции/соединения и 5NF

(13)

Пятая нормальная форма (3)

■ **Определение 6.7. Пятая нормальная форма**

Переменная отношения r находится в пятой нормальной форме, или в нормальной форме проекции/соединения (5NF, или PJ/NF – Project-Join Normal Form) в том и только в том случае, когда каждая нетривиальная PJD в r подразумевается возможными ключами r

- Таким образом, чтобы распознать, что данная переменная отношения r находится в 5NF, необходимо знать все возможные ключи r и все PJD этой переменной отношения
- Обнаружение всех зависимостей соединения является нетривиальной задачей, и для ее решения нет общих методов
- Поэтому на практике проектирование реляционных баз методом нормализации обычно завершается после достижения 4NF, и отношения, находящиеся в 4NF, как правило, находятся и в 5NF
- Зачем же тогда была введена эта туманная и труднодостижимая пятая нормальная форма?

Зависимости проекции/соединения и 5NF (14)

Пятая нормальная форма (4)

- Ответ на этот естественный вопрос состоит в том, что 5NF является «окончательной» нормальной формой, которой можно достичь в процессе нормализации на основе проекций
- «Окончателность» понимается в том смысле, что у отношения, находящегося в 5NF, отсутствуют аномалии обновлений, которые можно было бы устранить путем его декомпозиции
- Другими словами, такие отношения далее нормализовать бессмысленно

Заключение (1)

- Процесс проектирования реляционной базы на основе метода нормализации преследует две основных цели:
 - избежать избыточности хранения данных;
 - устранить аномалии обновления отношений
- Рассмотрим, насколько эти цели актуальны в современных условиях, когда объемы доступных носителей внешней памяти непрерывно возрастают, стоимость их падает, а современные серверы реляционных (точнее, SQL-ориентированных) баз данных способны автоматически поддерживать целостность баз данных

Заключение (2)

- Начнем с того, что теория реляционных баз данных и методы их проектирования на основе нормализации разрабатывались в расчете на реляционную модель данных
- Подавляющее большинство существующих в настоящее время баз данных и средств управления ими опирается на модель данных SQL
- Поэтому, прежде всего, следует обсудить, насколько применимы методы нормализации при проектировании баз данных, основанных на модели данных SQL

Заключение (3)

- Основным отличием модели данных SQL от реляционной модели данных является то, что таблица модели SQL может содержать мультимножества строк, и поэтому для таблицы, вообще говоря, может быть не определен никакой возможный ключ
- Если потребовать от проектируемой SQL-базы данных наличия хотя бы одного возможного ключа для каждой таблицы целевой базы данных, то практически все методы нормализации остаются пригодными

Заключение (4)

- Здесь требуется сделать два уточнения:
 - Для применимости методов нормализации требуется, чтобы в составе значений любого возможного ключа не допускалось присутствие неопределенных значений (в модели данных SQL это не является обязательным)
 - Для любого определяемого пользователями типа данных необходимо наличие операции сравнения значений этого типа по равенству
- Другими словами, SQL-ориентированную базу данных можно проектировать как реляционную базу данных, если должным образом ограничить используемые средства модели данных SQL
- Далее здесь и в следующей теме под «реляционными» базами данных будут пониматься SQL-ориентированные базы данных, не противоречащие требованиям реляционной модели данных

Заключение (5)

- С учетом этого замечания следует отметить два важных обстоятельства
- Во-первых, теория реляционных баз данных и методы их проектирования активно развивались уже более 20 лет тому назад
- Ситуация в области технологии аппаратуры и программного обеспечения тогда была совсем иной, чем сегодня, и хорошо нормализованные реляционные базы данных в значительной степени способствовали росту эффективности приложений.
- Во-вторых, в то время реляционные базы преимущественно использовались в информационных системах оперативной обработки транзакций (On-Line Transaction Processing – OLTP)
- Характерные примеры таких систем – банковские системы, системы резервирования билетов и мест в гостиницах
- Системам категории OLTP свойственны частые обновления базы данных, поэтому аномалии обновлений, даже если их корректировка производится СУБД автоматически, могут заметно снижать эффективность приложения

Заключение (6)

- Сегодня на переднем крае приложений баз данных находятся системы категории оперативной аналитической обработки (On-Line Analytical Processing – OLAP)
- В подобных системах, в частности, системах поддержки принятия решений, базы данных в основном используются для выборки данных, поэтому аномалиями обновлений можно пренебречь, а объем этих баз настолько огромен, что можно пренебречь и избыточностью хранения.
- Значит ли это, что подход к проектированию реляционных баз данных методом нормализации утратил свою роль?
- Нет!

Заключение (7)

- Мир приложений баз данных в настоящее время огромен
- Сегодня любое мало-мальски приличное предприятие использует хотя бы одно приложение баз данных – бухгалтерские, складские, кадровые системы
- Это системы категории OLTP с частым обновлением данных и умеренными запросами к базе данных, не вызывающими соединений многих отношений
- Для небольших компаний равно важны как эффективность информационных систем, так и стоимость используемых аппаратно-программных средств
- Правильно спроектированные, хорошо нормализованные реляционные базы данных помогают решению корпоративных проблем

Заключение (8)

- Да, любое правильно развивающееся предприятие рано или поздно приходит к использованию систем категории OLAP, например, некоторой разновидности систем поддержки принятия решений (Decision Support System – DSS)
- В базах данных таких систем обновления очень редки, а запросы могут иметь произвольную сложность, включая соединения многих отношений
- Но, во-первых, технологически правильно для системы OLAP поддерживать отдельную базу данных (обычно подобные базы данных называют *хранилищами данных* – *DataWarehouse*), а во-вторых, основными источниками данных для построения таких хранилищ данных являются базы данных систем OLTP
- Так что актуальность правильно спроектированных баз данных OLTP-систем не уменьшается, а постоянно возрастает

Заключение (9)

- Следует ли из этого, что принципы нормализации непригодны для проектирования баз данных OLAP-приложений?
- И снова в ответ категорическое НЕТ!
- Возможно, окончательная схема такой базы данных должна быть денормализована из соображений повышения эффективности выполнения запросов
- Но чтобы получить правильную денормализованную схему, нужно сначала понять, как выглядит нормализованная схема
- Основной вывод этой и предыдущей тем можно сформулировать следующим образом
- Пока мы остаемся в мире реляционных баз данных, для правильного проектирования базы данных необходимо понимать принципы нормализации, воспринимая их не как догму, а как руководство к действию