

На правах рукописи

Бабанов Алексей Михайлович

**ТЕОРИЯ СЕМАНТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ
И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ**

Специальность 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2004

Работа выполнена в Томском государственном университете

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Ю.Л. Костюк

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор А.Ю. Матросова,

кандидат технических наук А.Н. Моисеев

Ведущая организация:

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Защита состоится 7 октября 2004 года в 10.30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.08 при Томском государственном университете (г. Томск, пр. Ленина, 36).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета.

Отзывы на автореферат просьба высылать по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Томский государственный университет, ученому секретарю ТГУ Буровой Н.Ю.

Автореферат разослан 27 августа 2004 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

доктор технических наук, доцент

А.В. Скворцов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Одна из наиболее широко распространенных в настоящее время информационных технологий – технология баз данных (БД), не достигла пока такого уровня развития, при котором ее можно использовать без помощи профессионалов. Основная проблема этой, несомненно, востребованной технологии заключается в непривычности для человека формальных моделей представления информации, которые используют современные системы управления базами данных (СУБД). Технология БД станет более доступна пользователям, когда будет реализована СУБД, эффективно поддерживающая естественную для человека модель данных, и манипулирование БД будет не сложнее общения на естественном языке.

Для достижения этой цели необходимо:

- разработать формальную, но естественную для человека модель данных;
- реализовать ее на ЭВМ:
 - либо в виде надстройки над имеющимися коммерческими СУБД,
 - либо в виде полноценной СУБД, поддерживающей эту модель.

Причем упомянутая надстройка может решать как все задачи ведения БД, так и только задачу проектирования схемы БД – первую и по порядку, и по важности. В последнем случае можно говорить о разработке так называемой CASE-системы, класс которых получил в последнее время бурное развитие и широкое распространение. Именно в них пока нашли свою коммерческую реализацию семантические модели данных. CASE-система предлагает пользователю удобные формы диалога по вводу более-менее естественных для человека описаний семантики предметной области с автоматической трансляцией этих описаний на язык определения данных конкретной СУБД.

В случае отсутствия подобных инструментов задачу проектирования схемы БД для конкретной СУБД вынужден решать от начала и до конца человек. В этом ему призваны помочь методологии проектирования. Разработка удобных и естественных для человека методологий проектирования является как самоцелью, так и необходимым условием для появления соответствующей CASE-системы (по сути, последняя – лишь программная реализация «бумажной» методологии).

Целью настоящей работы является разработка методологии проектирования реляционных схем БД, сочетающей необходимую полноту описаний предметной области с естественностью этих описаний для человека. Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

- построение естественной для человека модели описания предметной области,
- разработка методологии проектирования описаний в этой модели,
- разработка метода трансформации полученных описаний предметной области в реляционную схему.

Научная новизна

1. Построена теория семантически значимых отображений, расширяющая возможности представления семантики данных.
2. Доказаны теоремы, являющиеся формальным основанием для предлагаемой методологии проектирования реляционных схем БД.
3. Построена семантическая модель «Объект-Отображение», отличающаяся полнотой представления свойств данных и естественностью представлений для человека.
4. Предложена относительно простая и достаточно полная методология построения описаний предметной области.
5. Предложены правила трансляции описаний предметной области в реляционные схемы, отличающиеся улучшенным качеством результата.

Практическая ценность результатов работы заключается в возможности широкого использования разработанного теоретического и методологического аппарата моделирования данных:

- для собственно проектирования реляционных схем БД,
- для разработки CASE-средств проектирования реляционных схем БД,
- для разработки методологий проектирования схем БД для других моделей данных коммерческих СУБД,
- для разработки СУБД, непосредственно поддерживающих модель «Объект-Отображение».

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях.

- Международная конференция «Опыт и применение GIS-технологий для создания кадастровых систем» (Ялта, 1997).
- Всероссийская конференция «УРБИС-97» (Москва, 1997).
- Региональная конференция «Проблемы управления земельными ресурсами» (Красноярск, 2000).
- Всероссийский симпозиум «Информационные технологии и математическое моделирование» (Анжеро-Судженск, 2003).

Объем работы

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений, включающих аксиомы теории, доказательства теорем, документы о внедрении и использовании результатов и список сокращений. Общий объем работы составляет 179 страниц, из них 22 страницы – приложения, 6 страниц – список литературы (77 названий). Текст работы иллюстрируется 17 рисунками и 1 таблицей.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ теории и методологий проектирования реляционных баз данных. Основные выводы этого анализа заключаются в следующем. Между представлениями человека о предметной области и формальными концепциями реляционной модели существует трудно преодолимый непрофессионалами семантический разрыв, затрудняющий использование технологии БД. Классическая методология проектирования реляционных БД даже профессионалам не гарантирует однозначного результата, оставляя широкие возможности для проявления интуиции проектировщика. Семантическое моделирование, как предварительный этап проектирования реляционных БД, расширяет применимость классической методологии. Модель «Сущность-Связь», как основное средство семантического моделирования, несмотря на свои очевидные достоинства, иногда не позволяет в необходимой степени определить семантику данных.

Во второй главе предлагается теория семантически значимых отображений. Основными понятиями теории являются объекты и отображения. Всякий **объект** есть уникальная целостность, которую человек в процессе мировосприятия и мышления способен отличить от всего того, что не является данной целостностью. Взаимосвязи объектов определяются через отображения. **Семантически значимое отображение** (в дальнейшем - отображение) – это некоторый семантически значимый закон φ , по которому каждому объекту моделируемого мира x может быть поставлен в соответствие (а может быть, и нет) один или более объектов. Каждый факт соответствия φ одному объекту одного другого объекта представляет **экземпляр отображения φ** (или **экземпляр φ -отображения**).

Будем называть **образом объекта x при отображении φ** (или кратко, **φ -образом объекта x**) объект y , поставленный в соответствие объекту x одним из экземпляров отображения φ (краткая запись $y = \varphi(x)$). Объект x в таком случае будем рассматривать как **прообраз объекта y при отображении φ** (или кратко, **φ -прообразом объекта y**) (обозначение - $x = \varphi^{-1}(y)$). φ -отображение объекта x характеризует **кардинальное число объекта x при отображении φ** (обозначение - $K\varphi(x)$) - мощность его области образов при этом отображении.

Совокупность всех объектов, имеющих ненулевые кардинальные числа при отображении φ , назовем **реальной областью определения отображения (РООО)** φ , а совокупность всех φ -образов этих объектов - **реальной областью значений отображения (РОЗО)** φ . Одним из самых главных отличий отображений объектов реального мира от функций в математике является динамичный характер экземпляров отображений. Семантика же отображений стабильна и в любой момент времени отражает тот закон, который справедлив для всех возможных состояний их экземпляров. По этой причине наряду с динамичными реальными областями для отображений необходимо рассматривать «потенциальные» области определения и области значений. **Область определения отображения (ООО)** φ - это совокупность объектов, которые в силу смысла закона φ могли иметь в прошлом или имеют в настоящем, или смогут иметь в будущем хотя бы один φ -образ. **Область значений отображения (ОЗО)** φ - это совокупность объектов, которые в силу смысла закона φ могли быть в прошлом или являются в настоящем, или смогут стать в будущем φ -образами некоторых объектов.

Для представления взаимоотношений между классами отображений в теории семантически значимых отображений предлагается алгебра отображений и формальная система, построенная на базе исчисления предикатов первого порядка.

Определим интерпретацию символов этого исчисления. Предметные переменные (например, x, y, z, \dots) служат для подстановки объектов. Функциональные символы (например, $\varphi, \varphi^{-1}, \psi, \gamma, \dots$) представляют классы отображений. Будем использовать следующие предикаты:

- предикат вида $x = y$ истинен тогда и только тогда, когда предметные переменные x и y указывают на один и тот же объект;

- предикат вида $y = \varphi(x)$ истинен тогда и только тогда, когда y является образом x при отображении φ ;

- предикат вида $R(x_1, \dots, x_n)$, где R – отображение $R: X_1 \times \dots \times X_n \rightarrow \{0,1\}$.

Отображение φ^{-1} является **инверсией** отображения φ тогда и только тогда, когда $\forall x \forall y (y = \varphi(x) \leftrightarrow x = \varphi^{-1}(y))$.

Отображение $\psi(\varphi)$ является **композицией** отображений φ и ψ тогда и только тогда, когда $\forall x \forall z (z = \psi(\varphi(x)) \leftrightarrow \exists y (y = \varphi(x) \wedge z = \psi(y)))$.

Отображение $\varphi \cup \psi$ является **объединением** отображений φ и ψ тогда и только тогда, когда $\forall x \forall y (y = (\varphi \cup \psi)(x) \leftrightarrow y = \varphi(x) \vee y = \psi(x))$.

Отображение $\varphi \cap \psi$ является **пересечением** отображений φ и ψ тогда и только тогда, когда $\forall x \forall y (y = (\varphi \cap \psi)(x) \leftrightarrow y = \varphi(x) \wedge y = \psi(x))$.

Отображение $\varphi - \psi$ является **разностью** отображений φ и ψ тогда и только тогда, когда $\forall x \forall y (y = (\varphi - \psi)(x) \leftrightarrow y = \varphi(x) \wedge \neg y = \psi(x))$.

Отображение $\varphi[Y]$ является **проекцией** отображения φ со сложным объектом-образом на роль Y тогда и только тогда, когда $\forall x \forall y (y = \varphi[Y](x) \leftrightarrow \exists z (< y, z > = \varphi(x))$.

Важную роль при описании семантики играют введенные количественные характеристики отображений – минимальные и максимальные кардинальные числа.

Глобальное минимальное кардинальное число отображения φ - это наименьшее из кардинальных чисел $K\mathcal{C}_\varphi(x)$ объектов x , являющихся экземплярами ООО φ : $ГМК\mathcal{C}_\varphi =$

$$\min_{x=\text{экземпляр}(ООО(\varphi))} K\mathcal{C}_\varphi(x).$$

Реальное минимальное кардинальное число отображения φ - это наименьшее из кардинальных чисел $K\mathcal{C}_\varphi(x)$ объектов x , которые реально имеют φ -образы (являются экземплярами РООО φ):

$$РМК\mathcal{C}_\varphi = \min_{x=\text{экземпляр}(РООО(\varphi))} K\mathcal{C}_\varphi(x).$$

Максимальное кардинальное число отображения φ - это наибольшее из кардинальных чисел $K\varphi(x)$ объектов x , являющихся экземплярами ООО φ : $MK\varphi = \max_{x=\text{экземпляр}(OOO(\varphi))} K\varphi(x)$.

Количественные характеристики отображений позволяют выделить полезные для многих приложений теории типы отображений.

Отображение φ называется:

- **неограниченным**, если $ГМК\varphi = 0$, $РМК\varphi = 1$, $МК\varphi = \infty$;
- **полностью определенным**, если $ГМК\varphi \neq 0$;
- **функциональным**, если $МК\varphi = 1$, в том числе:
 - **частичным функциональным**, если $ГМК\varphi = 0$, $МК\varphi = 1$;
 - **полным функциональным**, если $ГМК\varphi = 1$, $МК\varphi = 1$.

Отображение γ полностью определено тогда и только тогда, когда $\forall x(x = \text{экземпляр}(OOO(\gamma)) \rightarrow \exists y(y = \gamma(x)))$.

Отображение γ функционально тогда и только тогда, когда $\forall x\forall y\forall w(y = \gamma(x) \wedge w = \gamma(x) \rightarrow y = w)$.

Отображение ψ является **следствием** отображения φ , если для любого экземпляра отображения φ найдется экземпляр отображения ψ , такой, что их образы и прообразы совпадают. В таком случае $\forall x\forall y(y = \varphi(x) \rightarrow y = \psi(x))$ истинно.

Отображения φ и ψ **эквивалентны** тогда и только тогда, когда они являются следствием друг друга. В таком случае $\forall x\forall y(y = \varphi(x) \leftrightarrow y = \psi(x))$ истинно.

Выводы теории получаются из рассмотрения тернарного случая, при котором имеется три класса объектов (X, Y, Z), четыре отношения (одно тернарное – $R(X, Y, Z)$ и три бинарных – $R_{XY}(X, Y)$, $R_{YZ}(Y, Z)$, $R_{XZ}(X, Z)$) и двадцать отображений (восемь из них определяет отношение R и по четыре – каждое из бинарных):

$$\begin{aligned} \psi_1 : X \rightarrow Y \times Z, \psi_1^{-1} : Y \times Z \rightarrow X, \psi_2 : Y \rightarrow X \times Z, \psi_2^{-1} : X \times Z \rightarrow Y, \\ \psi_3 : Z \rightarrow X \times Y, \psi_3^{-1} : X \times Y \rightarrow Z, R : X \times Y \times Z \rightarrow \{0,1\}, R^{-1} : \{0,1\} \rightarrow X \times Y \times Z, \\ \varphi_1 : X \rightarrow Y, \varphi_1^{-1} : Y \rightarrow X, R_{XY} : X \times Y \rightarrow \{0,1\}, R_{XY}^{-1} : \{0,1\} \rightarrow X \times Y, \\ \varphi_2 : Y \rightarrow Z, \varphi_2^{-1} : Z \rightarrow Y, R_{YZ} : Y \times Z \rightarrow \{0,1\}, R_{YZ}^{-1} : \{0,1\} \rightarrow Y \times Z, \\ \varphi_3 : Z \rightarrow X, \varphi_3^{-1} : X \rightarrow Z, R_{XZ} : X \times Z \rightarrow \{0,1\}, R_{XZ}^{-1} : \{0,1\} \rightarrow X \times Z. \end{aligned}$$

В теории проектирования реляционных БД устранение аномалий, связанных с избыточным дублированием данных, осуществляется в процессе декомпозиции исходного «аномального» отношения. В нашей методологии проектирования эта же задача решается за счет исключения избыточных отношений, поскольку изначально строятся и тернарное и, все «семантически близкие ему» бинарные отношения.

Право осуществления подобных действий нам дает истинность следующих выражений:

$$\begin{aligned} \forall x\forall y\forall z(R(x, y, z) \leftrightarrow R_{XY}(x, y) \wedge R_{XZ}(x, z)) \text{ и} \\ \forall x\forall y\forall z(R(x, y, z) \leftrightarrow R_{XY}(x, y) \wedge R_{YZ}(y, z) \wedge R_{XZ}(x, z)). \end{aligned}$$

Введем эквивалентные аналоги этих выражений в теории семантически значимых отображений.

Теорема 1. Следующие формулы являются логическими следствиями друг друга:

$$\begin{aligned} \forall x\forall y\forall z(R(x, y, z) \leftrightarrow R_{XY}(x, y) \wedge R_{XZ}(x, z)) \text{ и} \\ \forall x\forall y\forall z(\langle y, z \rangle = \psi_1(x) \leftrightarrow y = \varphi_1(x) \wedge z = \varphi_3^{-1}(x)). \end{aligned}$$

Теорема 2. Следующие формулы являются логическими следствиями друг друга:

$$\begin{aligned} \forall x\forall y\forall z(R(x, y, z) \leftrightarrow R_{XY}(x, y) \wedge R_{YZ}(y, z) \wedge R_{XZ}(x, z)) \text{ и} \\ \forall x\forall y\forall z(\langle y, z \rangle = \psi_1(x) \leftrightarrow y = \varphi_1(x) \wedge z = \varphi_2(y) \wedge x = \varphi_3(z)). \end{aligned}$$

Следующие две теоремы служат основанием для декомпозиции без потерь функциональных зависимостей.

Теорема 3. Отображение ψ_1 функционально тогда и только тогда, когда функциональны обе его проекции $\psi_1[Y]$ и $\psi_1[Z]$.

Теорема 4. Если отображения φ_1 и φ_3^{-1} функциональны и являются следствиями проекций $\psi_1[Y]$ и $\psi_1[Z]$ соответственно, то функциональны и проекции $\psi_1[Y]$ и $\psi_1[Z]$.

Следствие теорем 3 и 4. Если отображения φ_1 и φ_3^{-1} функциональны и являются следствиями проекций $\psi_1[Y]$ и $\psi_1[Z]$ соответственно, то функционально отображение ψ_1 .

Это следствие гарантирует функциональность отображения ψ_1 при декомпозиции отношения $R(x, y, z)$ на отношения $R_{XY}(x, y)$ и $R_{XZ}(x, z)$, в которых отображения φ_1 и φ_3^{-1} функциональны.

Следующая теорема обеспечивает условия декомпозиции отношения $R(x, y, z)$ на отношения $R_{XY}(x, y)$ и $R_{XZ}(x, z)$ без потерь информации при наличии функциональных отображений.

Теорема 5. Если одна из проекций отображения ψ_1 функциональна, и обе проекции эквивалентны соответствующим бинарным отображениям, то выполняется условие эквивалентности схемы отношения $R(x, y, z)$ схеме с отношениями $R_{XY}(x, y)$ и $R_{XZ}(x, z)$.

Следующая теорема обеспечивает условия декомпозиции отношения $R(x, y, z)$ на отношения $R_{XY}(x, y)$ и $R_{XZ}(x, z)$ без потерь информации.

Теорема 6. Условие эквивалентности схемы отношения $R(x, y, z)$ схеме с отношениями $R_{XY}(x, y)$ и $R_{XZ}(x, z)$ выполняется тогда и только тогда, когда отображения φ_1 и φ_3^{-1} являются следствиями проекций $\psi_1[Y]$ и $\psi_1[Z]$ соответственно, и истинно следующее высказывание

$$\forall x \forall y \forall z (y = \varphi_1(x) \wedge z = \varphi_3^{-1}(x) \rightarrow \langle y, z \rangle = \psi_1(x)).$$

Предлагаемая теория семантически значимых отображений позволяет описывать семантику данных на более детальном уровне по сравнению с теорией реляционных БД за счет декомпозиции понятия «отношение» и введения более элементарного базового понятия «отображение». Наличие отображения декартова произведения классов объектов в множество истинностных значений наряду с отображениями между классами объектов позволяет формально учитывать взаимосвязи между понятиями реляционной теории и теории семантически значимых отображений. Таким образом обеспечивается обоснованность предлагаемого метода трансляции описаний предметной области из одной формальной системы в другую. Введенные в теории семантически значимых отображений характеристики отображений, их типизация, формальная система и алгебра отображений позволяют определить как новые представления традиционных зависимостей между данными, так и выявить новые закономерности в данных, что расширяет возможности представления семантики данных.

В третьей главе описывается модель данных «Объект-Отображение» (далее, кратко - ОМ-модель, от английского перевода – Object-Mapping), основанная на теории семантически значимых отображений. Основное назначение модели – описание семантики предметной области для целей проектирования схемы БД.

На основании анализа повсеместно используемой человеком знаковой системы – естественного языка – сформулированы основные семантические концепции ОМ-моделирования – объекты и отображения. В результате развития функционального логического подхода введены функциональные формы простых единичных высказываний, позволяющие формализовать семантические концепции ОМ-модели.

Функциональная форма высказывания о соответствии объекта a понятию об индивидах $xA(x)$ вводится определением

$$a = \text{Экземпляр}(A) \equiv_{Df} a \text{ есть } xA(x).$$

Функциональная форма высказывания о присущности объекту a класса $\forall xA(x)$ свойства P вводится определением

$Истина = P_f(a) \equiv_{Df} a \text{ есть } \forall xA(x) \ \& \ P(a)$ или эквивалентным ему –
 $a = P_f^{-1}(Истина) \equiv_{Df} a \text{ есть } \forall xA(x) \ \& \ P(a).$

Функциональная форма высказывания о том, что объект a является образом объекта b при отображении S_1 , определяемом отношением S_1-S_2 , вводится следующим образом: $a = S_1(b) \equiv_{Df} \langle a, b \rangle \text{ есть } \langle x, y \rangle S_1-S_2(x, y).$

Эквивалентно ему утверждение об обратном отображении:

$b = S_2(a) \equiv_{Df} \langle a, b \rangle \text{ есть } \langle x, y \rangle S_1-S_2(x, y).$

Для модели «Объект-Отображение» предложена простая и в то же время достаточно полная методология построения описаний предметной области.

Исходными для методологии являются следующие сведения:

- универсальное понятие «Объект», объем которого составляют все интересующие нас объекты предметной области;
- набор типичных для предметной области единичных высказываний, представленных в функциональной форме $a = \varphi(\alpha)$.

Всю методологию можно представить в виде последовательности следующих шагов.

1. Формально определяем каждое использованное в высказываниях вида « $a = \text{Экземпляр}(A)$ » понятие A кроме универсального.
2. Формально определяем использованные в исходных высказываниях функторы отображений.
3. Строим для предметной области граф классов. Вершины графа представляют классы объектов, являющиеся объемами понятий, определенных на шаге 1. Дополнительной вершиной представляется универсальное понятие. Каждая специализация представляется в графе классов специальным ребром, концами которого являются классы специализации, включая родовое. Для представления отношения степени n используем ребро с n концами.
4. Оставшиеся нерассмотренными на шаге 3 функторы представляют отображения, в которых объект того или иного понятия определяется на основании наличия или отсутствия у него некоторого свойства или на основании значения некоторой предметной функции. Такие отображения (точнее – обратные) задаются в традиционной алфавитно-цифровой знаковой форме $\langle \text{имя класса} \rangle (\langle \text{список характеристик} \rangle)$, где $\langle \text{список характеристик} \rangle$ - последовательность имен обратных отображений (отображений-характеристик), указанных в определениях рассматриваемых функторов.

На этом завершается структурная фаза методологии, определяющая понятия предметной области и их взаимосвязи. Далее следует фаза, определяющая ограничения целостности, которые представляют собой дополнительные условия на используемые множества, классы и отображения.

5. Первую группу ограничений целостности составляют правила, определяющие области значений отображений-характеристик: определение синтаксиса составляющих их знаков, перечисление допустимых знаков (экстенционал), логическое выражение.
6. Вторая группа ограничений целостности определяет количественные характеристики и тип каждого отображения-характеристики и обратного ему отображения.
7. Третья группа ограничений целостности определяет количественные характеристики и тип отображений между классами объектов.
8. Четвертая группа ограничений целостности связана со специализациями. Для каждой из них необходимо указать является она полной или частичной, пересекающейся или непересекающейся.
9. Последняя группа ограничений целостности определяет взаимоотношения отображений между классами объектов типа следствие и эквивалентность.

Семантическая модель данных «Объект-Отображение» сочетает в себе естественность представлений для человека (сравнимую с моделью «Сущность-Связь») и полноту представления свойств данных (сравнимую с реляционной моделью). В частности в ней нашли отражение ограничения на сложные отображения, многозначные зависимости и зависимости соединения. В отличие от семантической модели данных «Сущность-Связь» модель данных «Объект-Отображение» базируется на теории семантически значимых отображений, обеспечивающей формальные обоснования концепций модели и методологий проектирования схем БД. Для модели «Объект-Отображение» предложена простая и в то же время достаточно полная методология построения описаний предметной области, не имеющая аналогов в семантическом моделировании.

В четвертой главе описывается метод трансформации схемы БД из ОМ-модели в реляционную модель. Предложены основные критерии качества проекта схемы БД: информационная полнота, информационная корректность и информационная неизбыточность. Удовлетворение всех указанных критериев приведет к «хорошему» совокупному качеству схемы БД: первый критерий гарантирует полное удовлетворение потребностей пользователей, второй – высокую степень достоверности информации, третий – эффективность работы системы. Метод трансформации строится в виде совокупности шагов применения предлагаемых правил и рекомендаций, последовательно удовлетворяющих указанные критерии.

Информационная полнота БД обеспечивается применением следующих правил:

1. Каждому ОМ-классу соответствует свое отношение, включающее суррогатный первичный ключ и немногочисленные характеристики объектов класса.
2. Каждой многозначной характеристике каждого класса соответствует свое бинарное отношение с атрибутами – внешний ключ, представляющий собой дубликат первичного ключа класса, и атрибут для значения характеристики.
3. Для каждого ОМ-отношения степени n (представленному в графе классов ребром с n концами) строим отношение реляционной модели с n атрибутами, каждый из которых представляет собой внешний ключ – дубликат соответствующего первичного ключа класса.
4. Если группа классов образует независимую иерархию специализаций для идентификации объектов всех классов этой группы используется один суррогатный ключ.
5. Для представления фактов множественного наследования (класс принадлежит одновременно специализациям различных родительских классов) создается одно дополнительное отношение с четырьмя атрибутами: имя отношения суперкласса, значение первичного ключа объекта в отношении суперкласса, имя отношения подкласса, значение первичного ключа объекта в отношении подкласса.

На этапе удовлетворения критерия информационной корректности предлагаемые правила и рекомендации определяют, как декларативными средствами реляционной модели можно выразить ограничения целостности, построенные в ходе выполнения методологии ОМ-моделирования.

1. Ограничения целостности на области значений отображений-характеристик (шаг 5). В реляционной модели их иногда называют ограничениями целостности на значения атрибутов. К ним относятся: обязательное указание типа данных для каждого атрибута отношения и конструкция CHECK.
2. Ограничения целостности на отображения-характеристики и обратные им отображения (шаг 6). В реляционной модели их иногда называют ограничениями уникальности. Если отображение-характеристика – полное функциональное, соответствующий ей атрибут принадлежит отношению класса и снабжается описателем NOT NULL (в случае частичного функционального отображения – описателем NULL). Если отображение-характеристика многозначно, соответствующий ей атрибут расположен в специальном дополнительном отношении. Оба атрибута этого отношения всегда объявляются NOT NULL. Факт полного определения многозначного отображения-характеристики выразить декларативными средствами реляционной модели невозможно. Если отображение, обратное многозначному отображению-характеристике, функционально, соответствующий

атрибут отношения класса объявляется возможным ключом (UNIQUE). Если отображение, обратное многозначному отображению-характеристике, функционально, первичным ключом (PRIMARY KEY) дополнительного отношения объявляется атрибут со значениями характеристики, в противном случае – оба атрибута этого отношения.

3. Ограничения целостности на отображения между классами (шаг 7). Эти ограничения целостности воплощаются в реляционной модели в виде так называемых ограничений ссылочной целостности, связанных с определением внешних ключей отношений-связей, образованных из ОМ-отношений. Каждое определение внешнего ключа неявно подразумевает функциональность отображения между отношением, в котором он определен, и отношением, первичный или возможный ключ которого задает область допустимых значений внешнего ключа. Если это отображение к тому же полностью определено, внешний ключ снабжается описателем NOT NULL. Если отображение, определяемое ролью (группой ролей), функционально, внешний ключ (группа внешних ключей), соответствующий этой роли, является возможным ключом (UNIQUE) отношения.
4. Ограничения целостности на специализации (шаг 8). Возможности представления ограничений целостности этого типа в реляционной модели весьма ограничены. В случае независимых иерархий специализаций полная функциональность отображения «подкласс-суперкласс» представляется ограничением ссылочной целостности и описателем NOT NULL для внешнего ключа отношения, представляющего подкласс. Функциональность обратного отображения гарантируется объявлением одновременно этого внешнего ключа первичным ключом отношения для подкласса. Тот факт, что это отображение полностью или не полностью определено, выразить декларативными средствами реляционной модели не удастся. В случае же реализации множественных наследований одним универсальным дополнительным отношением невозможно определить вообще никаких ограничений целостности, даже ссылочных.

На последнем этапе метода трансформации удалением некоторых отношений удовлетворяется критерий информационной избыточности. Все избыточные отношения делятся на классы. Для каждого класса предлагается набор правил и рекомендаций, позволяющих определить, относится ли конкретное отношение к данному классу, и какие действия следует предпринять при его исключении из реляционной схемы.

1. Полностью избыточные отношения-связи, удаление которых не приводит к изменению остальных отношений. Отношение степени большей двух избыточно, если для него и соответствующих бинарных отношений выполняются условия эквивалентности схем. Эти условия обеспечивают теоремы 1-2, 5-6. В случае, когда при этом выполняется и условие следствия теорем 3 и 4, не происходит даже потери функциональной зависимости. Полностью избыточными являются также отношения, все отображения которых эквивалентны отображениям, определяемым другими отношениями проекта (возможно полученным с помощью операций над отображениями). В частности, если в отношении есть функциональное отображение, определяемое ролью, и его проекции эквивалентны соответствующим отображениям бинарных отношений, можно смело избавляться от первого отношения.
2. Избыточные отношения-связи, удаление которых приводит к изменению других отношений. Если хотя бы одно из определяемых бинарным отношением отображений функционально, это отношение может быть исключено с одновременным добавлением дополнительного внешнего ключа в отношение класса, являющегося множеством прообразов функционального отображения. Это правило следует безусловно применять в случае полной функциональности отображения. При этом добавленный внешний ключ имеет описатель NOT NULL. В случае частичной функциональности применение этого правила оправдано, если СУБД эффективно хранит пропущенные значения на диске (внешний ключ в таком случае имеет описатель NULL).
3. Полностью избыточные отношения-классы, удаление которых не приводит к изменению остальных отношений. Если отношение класса можно получить в результате выполнения

операций над другими отношениями, и этот класс не участвует ни в каких отображениях, его можно удалить из схемы. Другими словами, в таком отношении нет атрибутов кроме первичного суррогатного ключа, и последний не участвует в определениях внешних ключей. К тому же, текущее множество значений этого ключа может быть автоматически получено по запросу с участием других отношений.

4. Избыточные отношения-классы, удаление которых приводит к изменению других отношений. Если отношение класса можно получить в результате выполнения операций над другими отношениями, и этот класс участвует в отображениях между классами, его можно удалить из схемы, переопределив внешние ключи, ссылающиеся на первичный ключ этого отношения, и переместив однозначные характеристики и внешние ключи отношения в отношение суперкласса. С многозначными характеристиками проблем не будет. Надо лишь поменять ссылки на первичные ключи во внешних ключах соответствующих отношений для многозначных характеристик.

Построение методологии проектирования реляционных БД как последовательности шагов, удовлетворяющих очевидные критерии полноты, корректности и неизбыточности, придает процессу проектирования более естественный характер по сравнению с классической методологией нормализации отношений, что облегчает ее применение на практике. Использование модели данных «Объект-Отображение» на этапе семантического моделирования позволяет представить свойства данных намного полнее реляционной модели. За счет исчерпывающего описания семантики данных в модели «Объект-Отображение» и простоты правил трансформации схемы в реляционную модель предлагаемая методология освобождает проектировщика БД от знаний непростых концепций теории реляционных БД и классической методологии нормализации отношений. Использование результатов, полученных в теории семантически значимых отображений, обеспечивает качество построенной с помощью предлагаемой методологии реляционной схемы БД.

Пятая глава посвящена описанию муниципальной информационной системы «МОНИТОР», при разработке которой использовались предлагаемые в работе теория семантически значимых отображений, ОМ-модель и методология проектирования реляционных схем БД. С одной стороны, непосредственное использование методологий позволило создать качественный проект схемы БД этой системы, включающей 731 таблицу с 9528 столбцами. С другой стороны, ОМ-модель послужила основой для декларативной реализации диалога системы с пользователями, обеспечившей гибкость, адаптируемость системы к организационной структуре, составу задач и их распределению по исполнителям; мобильность, технологичность сопровождения, администрирования; простоту развития системы при расширении предметной области.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Построена теория семантически значимых отображений, позволяющая определить как традиционные зависимости между данными, так и выявить новые закономерности в данных, что расширяет возможности представления семантики данных.
2. Доказаны теоремы, являющиеся формальным основанием для предлагаемой методологии проектирования реляционных схем БД.
3. Построена семантическая модель «Объект-Отображение», отличающаяся от семантической модели «Сущность-Связь» большей полнотой представления свойств данных, а от реляционной модели – естественностью представлений для человека.
4. Предложена относительно простая и достаточно полная методология построения описаний предметной области, не имеющая аналогов в семантическом моделировании.
5. Предложены правила трансляции описаний предметной области в реляционные схемы, отличающиеся от аналогов повышенным учетом семантики данных и, как следствие, улучшенным качеством результата.

ПУБЛИКАЦИИ ПО РАБОТЕ

1. Бабанов А.М. Теория семантически значимых отображений // Вестник ТГУ. 2003. № 280. С. 239-248.
2. Бабанов А.М. Применение теории семантически значимых отображений для проектирования реляционных баз данных // Вестник ТГУ. 2003. № 280. С. 249-257.
3. Бабанов А.М. Объекты и отображения – атомарный уровень семантического моделирования // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Наука и практика: диалоги нового века». Часть 3. Информационные технологии и математическое моделирование. – Томск: «Твердыня», 2003. С. 25-27.
4. Бабанов А.М. Использование отображений для определения традиционных зависимостей данных // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Наука и практика: диалоги нового века». Часть 3. Информационные технологии и математическое моделирование. – Томск: «Твердыня», 2003. С. 28-31.
5. Андрущенко П.П., Бабанов А.М., Вотяков М.В., Скрыльников А.А., Суходолин Е.В. Концепция построения муниципальной информационной системы «МОНИТОР» // Геоинформатика: Теория и практика. Выпуск 1. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1998. С. 153-168.
6. Бабанов А.М., Рюмкин А.И. Геоинформационные технологии в управлении развитием города // ArcReview. – 1997. – № 2. – С. 12.
7. Бабанов А.М., Рюмкин А.И., Шахторин Н.В. Особенности геоинформационного обеспечения кадастровых задач на переходном этапе рыночных преобразований // Материалы международной конференции «Опыт и применение GIS-технологий для создания кадастровых систем». – Ялта, 1997. С. 30-31.
8. Андрущенко П.П., Бабанов А.М., Вотяков М.В. Информационная система управления городской недвижимостью // УРБИС-97 (материалы Всероссийской конференции). – М., 1997. С. 7-8.
9. Бабанов А.М., Скруберт В.С. Земельный кадастр – основа территориального кадастра // Материалы региональной конференции «Проблемы управления земельными ресурсами». – Красноярск, 2000. С. 22-26.