

УДК 004.652

ЧАПЛАНОВА Е.Б., кандидат технічних наук,
ФИЛАТОВ В.А., доктор технічних наук, професор,
СПИВАК Н.О., магістрант (Харьковский національний університет радіоелектроніки)

Компонента ограничений целостности как элемент объектно-реляционной модели данных

В статье рассмотрены предпосылки и необходимость исследования и разработки формальной основы для объектно-реляционного подхода проектирования баз данных. Представлена терминология и определения базовых понятий, необходимых для формализации компонент объектно-реляционной модели данных (ОРМД) в соответствии с общей методологией построения модели данных как метода математической абстракции. Сохраняя общность с традиционным реляционным подходом, разработана компонента ограничений целостности объектно-реляционной модели данных, приведены примеры использования ограничений, которые обеспечивают целостность сущности и ссылочную целостность объектно-реляционных отношений. Разработка, исследование и формализация объектно-реляционной модели данных позволит разработчикам баз данных эффективно и рационально использовать объектные возможности, реализованные в объектно-реляционных системах управления базами данных.

Ключевые слова: объектно-реляционная модель данных, «непервая» нормальная форма (Н1НФ), ссылочная целостность, целостность сущности, первичный ключ, внешний ключ.

Постановка проблемы исследования

Современные промышленные системы управления базами данных (СУБД), такие как Oracle, MS SQL Server, декларируют о возможностях использования отдельных элементов объектного подхода при реализации баз данных. Тем не менее, все объектные возможности этих СУБД являются лишь программной надстройкой. Следовательно, не определено единого обобщенного подхода к проектированию систем на основе объектно-реляционной модели, которая сочетает в себе преимущества традиционной реляционной модели данных и ее объектных расширений. Такая разрозненность описания компонент породило ряд противоречий о целесообразности использования, ограничений предметной области и т.д.

Согласно общим принципам построения моделей данных и основываясь на принципах построения отношений с использованием (Н1НФ), объектно-реляционная модель является самостоятельной, независимой моделью данных, отвечает всем требованиям, предъявляемым к модели данных, и может быть выделена в отдельный подкласс, дополняя теоретико-множественные модели данных [1].

Определение отдельных компонент модели данных, как и ее обобщение, является неотъемлемой и важной составляющей для ее эффективного использования в процессе проектирования и реализации баз данных.

Анализ последних исследований и публикаций

Синтез различных моделей определил целый ряд постреляционных моделей, которые являются предметом обсуждения многих исследователей [2, 3, 4, 5, 6]. Такой подход предполагал использование «непервой» нормальной формы (Н1НФ) [2] отношений для решения таких проблем как обработка текста, проектирование автоматизированных систем документооборота, обработку составных пользовательских типов данных и многих других. Преимущества такой нормализации отношений позволяет преодолеть ряд ограничений, которые присутствуют в первой нормальной форме. Использование Н1НФ позволяет представить данные об объекте в одном отношении, а не распределять по нескольким. Одним из главных преимуществ данного подхода является минимальное использование операции соединения отношений, на которую приходится большие временные затраты при выполнении запросов.

Модели Н1НФ были разработаны и разделены на две категории. Модели первой категории назывались нерекурсивными моделями, а модели второй категории – рекурсивными моделями [7, 8, 9, 10]. Основным отличием является рекурсивный и нерекурсивный характер операторов модели

Объектно-реляционная модель данных относится к моделям, которые поддерживают вложенность или рекурсию имеют ряд преимуществ по сравнению с нерекурсивными, так как являются универсальными для реляционной модели и объектно-реляционной

модели. Этот вывод основан на следующих утверждениях:

- для модели, которая содержит вложенные отношения, основным принципом является сокращение числа обрабатываемых кортежей при выполнении операций;

- традиционные методы оптимизации запросов могут использоваться в операциях рекурсивной алгебры. Кроме того, такие методы могут применяться к запросам, которые выражены с помощью рекурсивной алгебры с рекурсивными операциями на любом уровне вложенности;

- в операциях нерекурсивной алгебры действия производятся только на всем кортеже. Рекурсивная алгебра разрешает прямые манипуляции с кортежем, как на верхнем уровне, так и на нижнем уровне вложенных отношений. [11].

К таким моделям относятся объектно-ориентированные и объектно-реляционные модели.

Объектно-реляционная модель данных состоит из нескольких компонент: структурной [11, 12], компоненты операционной спецификации [13, 14, 15] и ограничений целостности [16].

Цель проводимых исследований

Статья посвящена исследованию компоненты ограничений целостности объектно-реляционной модели данных. Определены виды целостности для данной модели, формально представлены и исследованы свойства зависимостей для вложенных атрибутов на основе аксиоматики функциональных зависимостей реляционной модели данных.

Компонента ограничений целостности объектно-реляционной модели данных

Фундаментальной основой описания процессов и правил предметной области для большинства моделей данных является компонента ограничений целостности.

Для объектно-реляционных отношений на уровне атомарных атрибутов и реляционных подсхем отношений используются правила ограничений целостности реляционной модели данных. Например, ограничения, определяющие целостность сущности или ссылочную целостность. Аппарат функциональных зависимостей с соответствующими аксиомами и их свойствами также может быть применен в объектно-реляционной модели к атрибутам с максимальным уровнем вложенности, т.е. к подсхемам отношений, которые соответствуют реляционной структуре с атомарными атрибутами.

Особенностью компоненты ограничений целостности для объектно-реляционной модели данных являются ограничения, которые накладываются на вложенные структуры отношения. Для отношений такого рода вводится понятие N -

зависимости [16], которое описывает связь атрибутов для разных уровней вложенности. При этом, детерминантом N -зависимости могут выступать только атрибуты, которые имеют более низкий уровень вложенности по отношению к корневому атрибуту отношения, чем атрибуты зависимой части данного правила.

$$(A_{1(L_N)}, \dots, A_{k(L_N)}) \mapsto (A_{m(L_{N+1})}, \dots, A_{n(L_{N+1})}), \quad (1)$$

где L_N – уровень вложенности атрибута. При задании N -зависимости уровень вложенности L_N опускается.

Если уровни вложенности атрибутов левой и правой части зависимости равны, при этом, у каждого атрибута зависимой части явно задан домен, такие зависимости относятся к функциональным зависимостям реляционной модели данных. В противном случае, когда уровень вложенности атрибутов обеих частей зависимости различен, она будет носить характер N -зависимости. Сохраняя общность с подходом аксиом вывода функциональных зависимостей для реляционных отношений, определим свойства N -зависимостей для объектно-реляционных отношений [15]:

1. Свойство вложенной транзитивности.

Если атрибут детерминанта и атрибут зависимой части имеют равные уровни вложенности, при этом у атрибута зависимой части явно не задан домен (является искусственным атрибутом), тогда детерминант определяет полный список атрибутов, которые являются подмножеством данного искусственного атрибута.

Если атрибуты $A_1, A_2, A_3 \subseteq A$ и для отношения R задана зависимость $A_1 \mapsto A_2$, при этом $d_{A_2} = \{d_{A_3}\}$, тогда $A_1 \mapsto A_3$. Также допустима запись со списком пути атрибутов: $A_1 \mapsto A_2(A_3)$.

2. Свойство вложенной проективности.

Если для атрибутов $A_1, A_2, A_3 \subseteq A$ отношения R задана N -зависимость $A_1 \mapsto A_2 A_3$, тогда справедливо утверждение $A_1 \mapsto A_2$ и $A_1 \mapsto A_3$.

3. Свойство вложенной аддитивности.

Это свойство противоположно проективности. Если для атрибутов $A_1, A_2, A_3 \subseteq A$ отношения R заданы N -зависимости вида $A_1 \mapsto A_2$ и $A_1 \mapsto A_3$, то выполняется такая зависимость $A_1 \mapsto A_2 A_3$.

4. Свойство вложенного пополнения для N -зависимостей.

Для N -зависимости $A_1 \mapsto A_2$ для объектно-реляционного отношения R с атрибутами

$A_1, A_2, A_3 \subseteq A$ верно $A_1 A_3 \mapsto A_2$, если уровень вложенности атрибутов A_1 и A_3 совпадает. То есть $A_{1L_N} A_{3L_N} \mapsto A_{2L_{N+1}}$, где L_N – уровень вложенности атрибутов.

5. Свойство вложенной рефлексивности.

Сохраняя общность с аксиомой рефлексивности для реляционных отношений, на объектно-реляционном отношении R с атрибутами $A_1, A_2, A_3 \subseteq A$ выполняется N -зависимость $A_1 \mapsto A_1$.

Если $A_2 \subseteq A_1$ и уровень вложенности $L_N(A_2) > L_N(A_1)$, то имеет место N -зависимость вида $A_1 \mapsto A_2$.

На основе аппарата функциональных зависимостей и N -зависимостей объектно-реляционной модели данных определяется не менее важная составляющая ограничений целостности базы данных – целостности сущности и ссылочная целостность. Наличие таких двух видов целостности обеспечивает непротиворечивость данных в базе данных в любой момент времени.

Сохраняя общность с реляционной моделью данных, для вложенных структур отношений целостность сущности обеспечивает первичный ключ.

В объектно-реляционной модели данных множеством сущностей являются вложенные отношения и, как следствие, определение ключа должно быть расширено для корректной поддержки вложенных атрибутов.

Вложенные отношения, которые содержат атомарные или вложенные атрибуты, либо комбинацию атомарных и вложенных атрибутов, в общем случае могут быть представлены ключом.

Атрибут является ключом вложенного отношения, когда каждое множество значений вложенного атрибута принадлежит одному и тому же кортежу (набору) и уникально идентифицирует этот кортеж. Следовательно, каждое из множеств значений вложенных атрибутов отличает исключительно кортеж, которому они принадлежат.

Следовательно, ключом вложенного отношения r со схемой отношения R , может быть множество K , которое состоит из атомарных и/или вложенных атрибутов схемы R таких, что для любых двух кортежей t_i и t_j в отношении выполняются одновременно следующие ограничения:

1) $t_i[K] \neq t_j[K]$, где $i \neq j$;

2) удаление любых атрибутов из множества K , которые являются ключом или частью ключа вложенного отношения r возможно тогда и только тогда, когда ни один из этих атрибутов не является ключом или его частью отношения со схемой R .

Согласно определению N -зависимости (1), подмножество атрибутов, которое потенциально может являться первичным ключом отношения, должно иметь одинаковый для всех входящих в него атрибутов минимальный уровень вложенности.

Первичный ключ вложенного отношения не может включать в себя атрибуты, где уровень вложенности атрибута L_N – различен. Целостность сущности обеспечивается заданием наименьшего подмножества атрибутов, уровень вложенности которых минимален.

Пример 1. Для отношения R (рис. 1) целостность сущности представлена в атрибутом C , который уникально идентифицирует вложенный кортеж $C \mapsto D(M, N)$.

C	D	
	M	N
a1	1	F
	2	G
a2	4	F
	1	H
a3	1	H
a4	2	H

Рис. 1. Определение первичного ключа на вложенном отношении R

Ссылочная целостность базы данных обеспечивается определением внешних ключей. Задание внешнего ключа для вложенных структур имеет ряд ограничений.

Сохраняя общность с определением внешнего ключа для реляционных отношений, внешним ключом вложенного отношения является атрибут A_2 отношения R_2 , для которого в любой момент времени, значения атрибута A_2 являются подмножеством (нестрогим) значений атрибута A_1 отношения R_1 . При этом, атрибут A_1 является первичным ключом и/или значения домена атрибута A_1 уникальны в рамках представленного отношения A_1 .

Пример 2. Заданы два отношения R_1 и R_2 . Для отношения R_1 определен первичный ключ $C \mapsto D(M, N)$, для отношения R_2 первичным ключом является $F \mapsto K(C, P, O)$. При этом значения атрибута $R_2(C) \subseteq R_1(C)$.

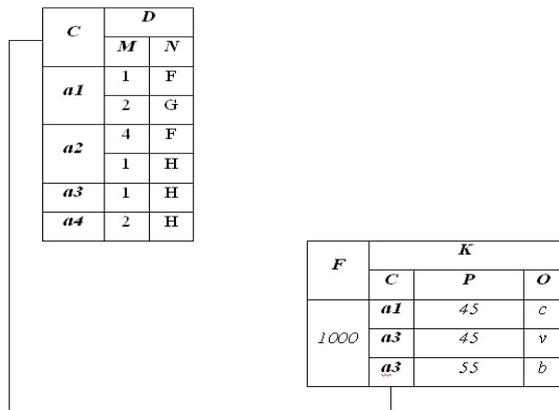


Рис. 2. Определение первичных и внешнего ключей на отношениях R_1 и R_2

Следует отметить, что, несмотря на разнообразную реализацию объектных возможностей в современных системах управления базами данных, ограничения ссылочной целостности для вложенных структур в таких системах реализовываются с помощью механизмов триггеров, то есть операция декларативного задания внешнего ключей на уровне отношений не определена.

Выводы

В данной статье был представлен формальный аппарат N -зависимостей, который обеспечивает выполнение ограничений целостности, заданных для данной предметной области, обеспечивая согласованность данных в каждый момент времени. Формально определены такие виды компоненты ограничений целостности, как ссылочная целостность и целостность сущности. Определены понятия первичного и внешнего ключа для вложенного отношения в терминах объектно-реляционной модели данных.

Применение данного подхода для описания правил предметной области позволяет для определенного класса задач эффективно использовать объектно-реляционную модель данных для проектирования и реализации логических структур в системах управления базами данных, которые поддерживают объектные возможности формирования отношений.

Литература

1. Чапланова, Е. Б. Об одном подходе к построению объектно-реляционной модели данных [Текст] / Н. В. Касаткина, С. С. Таянский, Е. Б. Чапланова // Зб. наук. пр. Військ. ін-ту Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2009. – Вип. 20. – С. 133–141.
2. Makinouchi, A. A. Consideration on Normal Form of Not-Necessarily-Normalized Relations in the Relational Data Model [Text] / A. A. Makinouchi // Proc. of the 3rd International Conference on Very Large Data Bases. – Tokyo, 1977. – P. 447–453.
3. Abiteboul, S. Non First Normal Form Relations: An Algebra Allowing Data Restructuring [Text] / S. Abiteboul, N. Bidoit // Journal of Computer and System Sciences. – 1986. – Vol. 33, № 3. – P. 361–393.
4. Schek, H.-J. The Relational Model with Relation-Valued Attributes [Text] / H.-J. Schek, M. H. Scholl // Information Systems. – 1986. – Vol. 11, № 2. – P. 137–147.
5. Thomas, S. J. Nested Relational Structures [Text] / S. J. Thomas, P. C. Fischer // International Journal of Artificial Intelligence. – 1986. – Vol. 3. – P. 269–307.
6. Fisher, P. C. Operators for Non-First-Normal Form Relations [Text] / P. C. Fisher, S. J. Thomas // Proc. of the 7th IEEE International Conference on Computer Software and Applications. – Chicago, 1983. – P. 464–475.
7. Lorentzos, N. A. Query by Example for Nested Tables [Text] / N. A. Lorentzos, K. A. Dondis // Proc. of the 9th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA'98). – Vienna, 1998. – P. 716–725.
8. Roth, M. A. SQL/NF: A Query Language for 1NF Relational Databases [Text] / M. A. Roth, H. F. Korth, D. S. Batory // Information Systems. – 1987. – Vol. 12, № 1. – P. 99–114.
9. QBE-like Queries and Multimedia Extensions in a Nested Relational DBMS [Text] / L. Wegner, S. Thelemann, S. Wilke, R. Lievaart // Proc. of the International Conference on Visual Information Systems. – Melbourne, 1996. – P. 437–446.
10. Roth, M. A. Extended Algebra and Calculus for Nested Relational Databases [Text] / M. A. Roth, H. F. Korth, A. Silberschatz // ACM Transactions on Database Systems. – 1988. – Vol. 13, № 4. – P. 389–417.
11. Colby, L. S. A Recursive Algebra for Nested Relations [Text] / L. S. Colby // Information Systems. – 1990. – Vol. 15, № 5. – P. 567–582.
12. Levene, M. The Nested Universal Relation Database Model [Text] / M. Levene. – Berlin : Springer-Verlag, 1992. – 177 p. – (Lecture Notes in Computer Science ; vol. 595).

13. Garani, G. Joining nested relations and subrelations [Text] / G. Garani, R. Johnson // Information Systems. – 2000. – Vol. 25, № 4. – P. 287–307.
14. Garani, G. Generalized Relation Data Model [Text] / G. Garani // International Journal of Computer Systems Science and Engineering (IJCSSES). – 2007. – Vol. 4, № 1. – P. 43–59.
15. Чапланова, Е. Б. Операционная спецификация объектно-реляционной модели данных [Текст] / Е. Б. Чапланова // Радиоэлектроника, информатика, управление. – Запорожье: ЗНТУ, 2012. – Вып. 1 (26). – С. 75–79.
16. Чапланова, Е. Б. Свойства N-зависимостей объектно-реляционной модели данных для вложенных отношений [Текст] / Е. Б. Чапланова // Вестн. Херсон. нац. техн. ун-та. – Херсон : ХНТУ, 2012. – Вып. 1 (44). – С. 250–253.
- Чапланова О.Б., Філатов В.О., Співак М.О. Компонента обмежень цілісності як елемент об'єктно-реляційної моделі даних.** У статті розглянуті передумови та необхідність дослідження і розробки формальної основи для об'єктно-реляційного підходу проектування баз даних. Представлена термінологія і визначення базових понять, необхідних для формалізації компонент об'єктно-реляційної моделі даних (ОРМД) відповідно до загальної методології побудови моделей даних як методу математичної абстракції. Зберігаючи спільність з традиційним реляційним підходом, розроблена компонента обмежень цілісності об'єктно-реляційної моделі даних, наведено приклади використання обмежень, які забезпечують цілісність сутності та посилальну цілісність об'єктно-реляційних відносин. Розробка, дослідження та формалізація об'єктно-реляційної моделі даних дозволить розробникам баз даних ефективно і раціонально використовувати об'єктні можливості, реалізовані в об'єктно-реляційних системах управління базами даних.
- Ключові слова:** об'єктно-реляційна модель даних, «неперша» нормальна форма (N1NF), посилальна цілісність, цілісність сутності, первинний ключ, зовнішній ключ.

Chaplanova O., Filatov V., Spivak M. A constraint component as part of the object-relational data model.

The article describes the prerequisites and the need for the research and development of a formal framework for object-relational approach to database design. The terminology and definitions of basic concepts necessary to the component formalization of object-relational data model (ORDM) in accordance with the general methodology of constructing a data model as a method of mathematical abstraction has been presented. Retaining commonality with traditional relational approach, a constraint component of object-relational data model have been developed, the examples of the use of constraints that ensure the integrity of the nature and referential integrity of object-relational relationships have been given. The development, research and formalization of object-relational data model will allow database developers to use object features implemented in an object-relational database management systems effectively and efficiently.

Key words: object-relational data model, "is not the first" normal form (N1NF), referential integrity, the integrity of the entity, primary key, foreign key.

Рецензент - д.т.н., профессор Удовенко С. Г. (Харьковский национальный университет радиоэлектроники)

Поступила 30.09.2014г.