

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Симановский Андрей Александрович

СОГЛАСОВАННЫЕ ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ
ВЗАИМОЗАВИСИМЫХ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ И
РЕЛЯЦИОННЫХ СХЕМ

05.13.11 — Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург
2007

Работа выполнена на кафедре системного программирования
математико-механического факультета Санкт-Петербургского
государственного университета.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Новиков Борис Асенович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
Кузнецов Сергей Дмитриевич

кандидат физико-математических наук,
Новиков Федор Александрович

Ведущая организация: ГОУ Южно-Уральский государственный
университет

Защита диссертации состоится “___” _____ 200_ года в __ часов на
заседании диссертационного совета Д212.232.51 по защите диссертаций
на соискание ученой степени доктора наук при Санкт-Петербургском
государственном университете по адресу: 198504, Санкт-Петербург,
Старый Петергоф, Университетский пр., д. 28, математико-механический
факультет Санкт-Петербургского государственного университета.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Санкт-
Петербургского государственного университета по адресу: 199034, Санкт-
Петербург, Университетская наб., д. 7/9.

Автореферат разослан “___” _____ 200_ года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
профессор

Б. К. Мартыненко

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Ряд современных приложений, работающих с базами данных, таких, например, как электронные системы учета медицинской информации, требуют от уровня представления данных возможности модификации (изменения) со временем хранимых данных и их схем. Процесс изменения схемы данных в подобных системах является неотъемлемой частью жизненного цикла приложения. Таким образом, поддержка модификаций схемы хранимых данных со временем является актуальной задачей для производителей СУБД.

Существует несколько подходов к решению этой задачи в рамках СУБД. Они имеют различные области применимости, предоставляют неодинаковый набор возможностей. Эволюция схем ([12]) обеспечивает высокую производительность системы за счет меньшего объема предоставляемых возможностей. Системы поддержки эволюции схем упорядочивают действия при изменении схем, позволяют описывать семантику изменений в предметной области и отражать изменения предметной области, происходящие со временем, в базе данных, распространяя эти изменения на схему хранимых данных и сами данные. Они избавляют от необходимости создания и реализации *ad-hoc* алгоритмов по изменению схем и данных при каждой модификации. В настоящее время существуют системы поддержки эволюции схем данных для реляционной [6, 11], объектно-ориентированной [13, 3, 8, 7, 9, 5, 10], XML [14, 1, 4] моделей данных.

Использование XML данных требует от приложений организации эффективного хранения и доступа к XML данным. Одним из решений является сохранение данных в реляционных СУБД. Это позволяет не только организовывать хранение и доступ к данным, но и использовать такие отсутствующие в XML, но полезные для приложения механизмы, как индексы, транзакции, многопользовательский доступ и т.д. Также немаловажным фактором, влияющим на принятие такой технологии, является отсутствие на сегодняшний день реализации XML базы данных, удовлетворяющей требованиям широкого спектра приложений. Рассматриваемые приложения часто используют XML и такие языки запросов как XQuery в качестве интерфейса к уровню представления данных, который в свою очередь использует мощные промышленные реляционные СУБД в качестве хранилища данных, реализуя логику преобразования работы с моделью данных XML в работу с реляционной моделью [15]. Как следствие, возникает вопрос эволюции связанных

отображением пары XML и реляционной схем.

Ранее предлагаемые решения в рамках эволюции схем не рассматривали необходимость совместной эволюции схем данных, использующих различные модели. Недавно возник интерес к подобным совместным изменениям схем и отображений между ними, называемым также адаптацией схем, как к проблеме управления моделями данных [2], но вопрос исследуется только в рамках интеграции схем, подхода, хотя и наиболее общего для изменяющихся схем, но в то же время, и наиболее “тяжеловесного”, приводящего к значительным накладным расходам при работе приложения. Предлагаемое решение использует эволюцию схем для решения поставленной задачи изменения пары связанных отображением XML- и реляционной схем, решая задачу адаптации в частном случае, но более эффективным методом.

Цели работы

Данная работа исследует применимость эволюции схем для описания эволюционных трансформаций взаимозависимых слабоструктурированных и реляционных схем. Цели, преследуемые работой, включают:

- Построение модели эволюции, описывающей изменение взаимозависимых слабоструктурированных и реляционных схем данных.
- Разработка множества элементарных операций, позволяющих описывать трансформации взаимозависимых схем и их отображений.
- Описание интеграционных трансформаций схем в рамках эволюционных преобразований взаимозависимых схем.

Основные результаты

В работе получены следующие основные результаты:

- Разработана аксиоматическая модель эволюции XML- и реляционной схем, описывающих XML-документ и его представление, хранимое в реляционной базе. Предложенная модель позволяет выделить общую и независимые части обеих схем. Модель позволяет описывать семантические инварианты схем данных и сохранять их при эволюционных трансформациях схем.

- Разработана классификация элементарных преобразований, описывающих трансформации связанных схем. Набор преобразований включает как преобразования характерные исключительно для схем XML-документов или схем реляционных представлений документов, так и преобразования, совместно меняющие сразу обе схемы. Подобная классификация позволяет не только производить произвольные эволюционные трансформации связанных схем, но и вносить ограниченные изменения только в одну из схем, например, с целью оптимизации работы системы.
- Предложен метод декларативного описания трансформаций схем. Метод позволяет строить возможные цепочки элементарных преобразований и ранжировать различные пути трансформации по предложенным в работе критериям, позволяя, например, при внесении изменений в одну из схем, эффективно определить необходимость изменений в связанной схеме.
- Реализован прототип системы, позволяющий применять изложенные в работе методы построения эволюционных преобразований схем на практике.

Научная новизна

В данной работе впервые предложена модель эволюции взаимозависимых слабоструктурированных и реляционных схем. Остальные полученные результаты также являются новыми и дополняют результаты предшествующих работ.

Практическая и теоретическая ценность

С теоретической точки зрения, в работе предложена простая аксиоматическая модель, позволяющая описывать эволюционные трансформации взаимозависимых слабоструктурированных и реляционных схем и связывающих их отображений. Кроме того, в работе исследован вопрос реализации автоматизированного поиска интерграционных трансформаций схем.

Практическая ценность работы состоит в том, что предложенная модель может быть использована для автоматизации эволюционных преобразований существующих XML-реляционных систем, например, с помощью предлагаемого прототипа.

Апробация работы

Результаты работы докладывались

- на Второй Всероссийской конференции “Методы и Средства Обработки информации” (Москва, октябрь 2005)
- на Девятой Восточно-Европейской конференции “Advances in Databases and Information Systems” (Таллин, Эстония, сентябрь 2005)
- на Шестой конференции “Baltic Conference on Databases and Information Systems” (Рига, Латвия, июнь 2004)
- на Первом коллоквиуме “Spring Colloquium for Young Researchers in Databases and Information Systems (SYRCoDIS)” (Санкт-Петербург, май 2004)
- на семинарах группы теории баз данных при лаборатории исследования операций НИИММ

Публикации

Основные результаты представлены в шести работах автора, перечисленных в прилагающемся списке работ автора.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из пяти глав, заключения и списка литературы. Основной текст диссертации занимает 78 страниц машинописного текста. Библиография содержит 79 наименований. Общий объем диссертации 84 страницы. Рисунки и таблицы нумеруются по главам.

Содержание работы

Первая глава содержит обзор исследуемого вопроса, в том числе обсуждает понятия связанные со схемами данных, темпоральными базами данных, эволюцией схем, XML-реляционными отображениями и адаптацией схем. В главе также дан обзор существующих систем поддержки эволюции схем для реляционных, объектных, XML моделей данных и отображений между XML и реляционными данными. В главе вводится понятие семантической интерпретации XML документа с точки зрения запросов.

Интерпретацией XML документа, соответствующего данному DTD, является отображение, сопоставляющее именам тэгов домены предметной области приложения. Всякая синтаксическая интерпретация I обладает свойством иерархичности:

$$I(tag_{name}) = f(tag_1, tag_2, \dots, tag_k, attr_1^1, attr_1^2, \dots, attr_k^{N_k}).$$

Где tag_i образуют последовательность вложенных (в соответствии с DTD) тэгов, а $attr_i^j$ — соответствующие (в соответствии с DTD) тэгам атрибуты.

Во **второй главе** предложена аксиоматическая система поддержки эволюции пары взаимосвязанных XML- и реляционной схем. Основной идеей системы является выделение промежуточной схемы-медиатора реляционных и XML-данных, являющейся общей частью схем. Система описывает отображение исходных схем в схему-медиатор и распространение изменений схемы-медиатора в исходные схемы.

Первый раздел второй главы посвящен представлению данных в системе. Второй раздел второй главы содержит определение схемы медиатора.

Определение 1. *Граф XML схемы — это тройка (V, E, σ) , где V — алфавит имен тэгов, $E \subseteq V \times V$ — отношение вложенности, $\sigma : E \rightarrow \{*, null\}$ — отображение, определяющее кратность вложенности тэгов (звездочкой помечается множественная вложенность).*

Определение 2. *Факторизованный граф XML схемы — это пятерка (G, V', E', σ', A) , где G — граф XML схемы; $V' \subseteq V^*$ — дизъюнктивный набор подмножеств алфавита тэгов, обладающий следующими свойствами:*

- $V_1 \neq V_2 \in V' \Rightarrow v_1 \cap v_2 = \emptyset$ (дизъюнктивные множества);
- $v_1, v_2 \in V_0 \in V' \Rightarrow (v_1, v_2) \in G.E \Rightarrow G.\sigma((v_1, v_2)) = null$ (“внутри” вершины факторизованного графа XML схемы нет дуг, помеченных звездочками);
- $\forall V \in V' \exists v_0 \in V \mid \forall v \in V v_0 >_* v$ (в каждой вершине факторизованного графа XML схемы есть “корень”, из которого достижимы все вершины исходного графа, лежащие “внутри” данной вершины факторизованного графа XML схемы).

Множество $E' \subseteq V' \times V'$ определяется соотношением $(v, u) \in E' \Leftrightarrow \exists v_0 \in v, u_0 \in u (v_0, u_0) \in G.E$ — множество дуг факторизованного графа XML схемы; $\sigma' : E' \rightarrow \{*, null\}$ — маркировка дуг символами; $A : U \subset \{v \in V \mid \nexists u \in V (v, u) \in G.E\} \rightarrow V'$ — отображение,

сопоставляющее подмножеству листовых вершин графа XML схемы вершины факторизованного графа XML схемы, определяет множества атрибутов вершин факторизованного графа XML схемы.

Четверка (V', E', σ', A) факторизованного графа XML схемы (G, V', E', σ', A) является схемой-медиатором для данной XML схемы. Отображение XML схемы в схему-медиатор является композицией отображения, получающего граф XML схемы по описанию XML схемы и факторизации графа XML схемы.

Третий раздел второй главы обсуждает отображение реляционной схемы в схему-медиатор. Четвертый раздел второй главы вводит аксиомы системы и обсуждает связь сущностей схемы-медиатора и объектов предметной области приложения.

Определение 3. Множество непосредственных предшественников. Непосредственными предшественниками $P(v)$ вершины v графа схемы-медиатора (G, V', E', σ', A) являются вершины графа схемы-медиатора, соединенные исходящими дугами с данной вершиной, из которых нельзя достичь других вершин, соединенных исходящими дугами с данной:

$$P(v) = \{u \in V' \mid (u, v) \in E' \wedge \nexists (u_0, v) \in E' u >_* u_0\}.$$

В приведенной формуле $>_*$ — отношение достижимости, т.е. транзитивное замыкание бинарного отношения $>$, заданного на V' , индуцируемого множеством E' , а именно $v > u$ если и только если $(v, u) \in E'$.

Определение 4. Множество значимых (существенных) предшественников. Значимыми (существенными) предшественниками $P_e(v)$ вершины v графа схемы-медиатора является некоторое выбранное подмножество вершин графа схемы-медиатора, находящиеся в путях от корня до данной вершины, включающее непосредственных предшественников данной вершины. Множество определяется создателем схем.

Определение 5. Граф предшественников. Граф предшественников $PL(v)$ вершины v графа схемы-медиатора включает в себя все вершины графа, из которых достижима данная:

$$PL(v) = \{u \in V' \mid u >_* v\}.$$

Определение 6. Множество непосредственных (родных) атрибутов. Непосредственными (родными) атрибутами $N(v)$ вершины v является

подмножество листовых вершин графа XML схемы, лежащее “внутри” данной факторизованной вершины v :

$$N(v) = \{u \in v \mid \text{out}(u) = \emptyset\}.$$

В приведенной формуле $\text{out}(u) = \{t \mid (u, t) \in E\}$.

Определение 7. *Интерфейс.* Интерфейсом $I(v)$ вершины v называется объединение множеств атрибутов вершин её графа предшественников:

$$I(v) = \bigcup_{x \in PL(v)} N(x).$$

Определение 8. *Множество унаследованных атрибутов.* Унаследованными атрибутами $H(v)$ вершины v являются элементы разности как множеств интерфейса вершины v и её родных атрибутов:

$$H(v) = I(v) \setminus N(v).$$

Определение 9. *Множество значимых (существенных) атрибутов.* Множеством значимых (существенных) атрибутов $N_e(v)$ вершины v является подмножество интерфейса вершины, включающее родные атрибуты вершины, определяемое создателем схемы.

Определение 10. *Множество непосредственных последователей.* Непосредственными последователями $S(v)$ вершины v графа схемы-медиатора (G, V', E', σ', A) являются вершины графа схемы-медиатора, с которыми данная вершина соединена исходящими дугами, и которые недостижимы из других вершин, с которыми данная вершина соединена исходящими дугами:

$$S(v) = \{u \in V' \mid (v, u) \in E' \wedge \nexists (v, u_0) \in E' \ u_0 >_* u\}.$$

Определение 11. *Множество значимых (существенных) последователей.* Значимыми (существенными) последователями $S_e(v)$ вершины v графа схемы-медиатора является некоторое выбранное подмножество вершин графа схемы-медиатора, находящихся в путях от данной вершины до конечной вершины графа, включающее непосредственных последователей данной вершины. Множество определяется создателем схем.

Определение 12. *Граф последователей.* Граф последователей $SL(v)$ вершины v графа схемы-медиатора включает в себя все вершины графа, достижимые из данной:

$$SL(v) = \{u \in V' \mid v >_* u\}.$$

Аксиомы связывают определенные выше множества:

$$\begin{aligned}
& \forall v \in V' P_e(v) \subset V' \wedge S_e(v) \subset V'; \\
& \forall v \in V' v \notin \bigcup_{x \in P(v)} PL(x) \wedge v \notin \bigcup_{x \in S(v)} SL(x); \\
& \exists! v_R \in V' \forall v \in V' v_R \in PL(v) \wedge P_e(v_R) = \emptyset \wedge v \in SL(v_R); \\
& \exists! v_T \in V' \forall v \in V' v \in PL(v_T) \wedge v_T \in SL(v) \wedge S_e(v_T) = \emptyset; \\
& \forall v \in V' P(v) = P_e(v) \setminus \bigcup_{x \in P_e(v)} (PL(x) \setminus \{x\}); \\
& \forall v \in V' PL(v) = \{v\} \cup \bigcup_{x \in P(v)} PL(x); \\
& \forall v \in V' S(v) = S_e(v) \setminus \bigcup_{x \in S_e(v)} (SL(x) \setminus \{x\}); \\
& \forall v \in V' SL(v) = \{v\} \cup \bigcup_{x \in S(v)} SL(x); \\
& \forall v \in V' I(v) = N(v) \cup H(v); \\
& \forall v \in V' N(v) = N_e(v) \setminus H(v); \\
& \forall v \in V' H(v) = \bigcup_{x \in P(v)} I(x).
\end{aligned}$$

Утверждение 1. Пусть абстрактная интерпретация — это заданное на множестве интерпретаций XML схемы отображение во множество отображений $\Theta : I^* \times DTD^* \rightarrow (V \rightarrow V^*)$, $\Theta(DTD, I)(v) = \{u \in G_{DTD}.V \mid I(v) \equiv h(u) \wedge h \neq const\}$. Тогда на множестве канонических XML схем система согласованных с синтаксической интерпретацией приложения множеств P_e и N_e полна относительно абстрактной интерпретации приложения.

В **третьей главе** приведена таксономия элементарных операций предлагаемой системы.

Преобразования схемы-медиатора представляют собой набор операций над графом с помеченными атрибутами вершинами, сохраняющих аксиомы. Операции над схемой-медиатором включают в себя добавление и удаление атрибута, добавление и удаление дуги, добавление и удаление вершины, а также слияние двух вершин и расщепление вершины. Операции над схемой-медиатором позволяют из некоторой исходной

схемы-медиатора получать любую наперед заданную схему-медиатор, имеющую данные множества значимых предшественников, последователей и атрибутов.

Утверждение 2. *Введенные операции позволяют из некоторой исходной схемы-медиатора получать любую наперед заданную схему-медиатор, имеющую данные множества значимых предшественников, последователей и атрибутов.*

Второй раздел третьей главы рассматривает преобразования XML схемы. Ряд операций, изменяющих граф XML схемы, удобнее ввести, оперируя графом XML схемы. Остальные операции не меняют граф XML схемы и выражаются исключительно в терминах DTD. Набор операций включает перемещение вершины вниз/вверх по иерархии, добавление и удаление “листовой” вершины, добавление и удаление верхней дуги, перемещение дуги вверх/вниз, маркирование/демаркирование дуги.

Утверждение 3. *Введенные операции, изменяющие граф XML схемы, позволяют получать произвольные графы XML схемы, соответствующие данной схеме-медиатору.*

Утверждение 4. *Совокупность введенных над XML схемой операций, затрагивающих только XML схему, позволяет описать, т.е. получить, имея некоторого представителя, класс всех XML схем, соответствующих данной схеме-медиатору.*

Четвертый раздел третьей главы посвящен операциям, преобразующим реляционную схему. Набор операций включает добавление и удаление дублирующего столбца из таблицы.

Утверждение 5. *Операции добавления и удаления дублирующего атрибута из реляционной переменной позволяют преобразовать любую исходную реляционную схему, таблицы которой имеют столбцы с именами, образующими фиксированное множество, и которой соответствует фиксированная схема-медиатор, в данную целевую реляционную схему, таблицы которой имеют столбцы с именами, образующими то же множество, и которой соответствует та же схема-медиатор, при условии, что в обоих преобразованиях реляционных схем в схему-медиатор каждый столбец использован в определении хотя бы одного представления.*

Четвертая глава исследует вопрос трансформации схем в рамках предложенной модели эволюции.

Определение 13. *Функцией эволюции называется функция $SE : M^* \times S \times R^* \rightarrow Seq^*$, где M — условия целостности схемы; S^* — множество схем; R^* — множество постусловий; Seq — множество последовательностей операций, преобразующих начальную схему $S_0 \in S$ в схему, удовлетворяющую условиям $R \in R^*$, не нарушая условий целостности $M \in M^*$.*

В применении к предлагаемой системе M — набор множеств P_e , S_e и N_e ; S — пара из реляционной и XML схемы. Seq — множество последовательностей операций, введенных в третьей главе. S — множество пар взаимозависимых реляционной и XML схем.

Определение 14. *Граф эволюции — это четверка (S^*, C, S_0, R) , где S^* — множество схем, удовлетворяющих условиям целостности, $C : S^* \times S^* \rightarrow CH^*$ — множество дуг, соединяющих вершины-схемы, помеченных операциями; CH^* — множество операций; $S_0 \in S^*$ — начальная схема, R — множество постусловий. Граф эволюции удовлетворяет условию применимости операций:*

$$C(S_1, S_2) = CH \Rightarrow CH.pre(S_1) \wedge CH.post(S_2).$$

Трансформация схемы может быть представлена как множество путей в графе эволюции, исходящих из данной начальной схемы S_0 и заканчивающихся в схемах, удовлетворяющих условиям R .

Второй раздел четвертой главы посвящен эвристике, позволяющей сделать задачу поиска на графе эволюции конечной и ранжированию путей эволюции.

В **пятой главе** приводится описание прототипа, реализующего предложенную модель эволюции. Существующие программные средства, осуществляющие поддержку эволюции схем, не позволяют работать с парой взаимосвязанных схем. Прототип состоит из двух частей — SQL-скрипта, порождающего в реляционной базе данных, осуществляющей хранение данных, необходимые для системы поддержки эволюции таблицы и хранимые процедуры, и веб-приложения, реализующего интерфейс, обеспечивающий визуализацию и возможность изменять схемы.

Заключение содержит список основных результатов, полученных в работе.

Список литературы

- [1] *Кукс С. В.* Аксиоматизация эволюции схемы xml-баз данных // *Программирование*. — 2003. — Т. 29, № 3. — С. 140–146.
- [2] *Bernstein P. A.* Applying model management to classical meta data problems. // *CIDR*. — 2003.
- [3] *Kim W., Chou H.-T.* Versions of schema for object-oriented databases. // *VLDB*. — 1988. — Pp. 148–159.
- [4] *Leonardi E., Bhowmick S. S.* Detecting changes on unordered xml documents using relational databases: a schema-conscious approach. // *CIKM*. — 2005. — Pp. 509–516.
- [5] *Lerner B. S.* A model for compound type changes encountered in schema evolution // *ACM Trans. Database Syst.* — 2000. — Vol. 25, no. 1. — Pp. 83–127.
- [6] *McKenzie L. E., Snodgrass R. T.* Evaluation of relational algebras incorporating the time dimension in databases // *ACM Comput. Surv.* — 1991. — Vol. 23, no. 4. — Pp. 501–543.
- [7] *Monk S., Sommerville I.* Schema evolution in oodbs using class versioning // *SIGMOD Rec.* — 1993. — Vol. 22, no. 3. — Pp. 16–22.
- [8] *Osborn S. L.* The role of polymorphism in schema evolution in an object-oriented database // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. — 1989. — Vol. 1, no. 3. — Pp. 310–317.
- [9] *Peters R. J., Özsu M. T.* An axiomatic model of dynamic schema evolution in objectbase systems // *ACM Trans. Database Syst.* — 1997. — Vol. 22, no. 1. — Pp. 75–114.
- [10] *Rashid A., Sawyer P.* Object database evolution using separation of concerns. // *SIGMOD Record*. — 2000. — Vol. 29, no. 4. — Pp. 26–33.
- [11] *Roddick J. F.* Sql/se: a query language extension for databases supporting schema evolution // *SIGMOD Rec.* — 1992. — Vol. 21, no. 3. — Pp. 10–16.
- [12] *Roddick J. F.* A survey of schema versioning issues for database systems // *Information and Software Technology*. — 1995. — Vol. 37, no. 7. — Pp. 383–393. citeseer.ist.psu.edu/roddick95survey.html.

- [13] Semantics and implementation of schema evolution in object-oriented databases. / J. Banerjee, W. Kim, H.-J. Kim, H. F. Korth // SIGMOD Conference. — 1987. — Pp. 311–322.
- [14] Xem: Managing the evolution of xml documents. / H. Su, D. Kramer, L. Chen et al. // RIDE-DM. — 2001. — Pp. 103–110.
- [15] Xquery implementation in a relational database system / S. Pal, I. Cseri, O. Seeliger et al. // VLDB '05: Proceedings of the 31st international conference on Very large data bases. — VLDB Endowment, 2005. — Pp. 1175–1186.

Работы автора по теме диссертации

- S. V. Соох, A. A. Simanovsky. Regular Expressions in XML Schema Evolution. *Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”*: Збірник наукових праць. Тематичний випуск “Системний аналіз, управління та інформаційні технології” 1(1). — Харьков, Украина, 2004 — с. 24–38.
- A. Simanovsky. Evolution of Schema of XML-documents Stored in a Relational Database. *Proceedings of 6th Baltic DBIS Conference*. — Riga, Latvia, 2004. — с. 192–204.
- A. Simanovsky. Applying the Reconfiguration-Design Formalism to XML Stored in a Relational Database. *Proceedings of the Spring Young Researcher’s Colloquium on Database and Information Systems*. — Санкт-Петербург, 2004. — с. 75–77.
- A. Simanovsky. Three Layer Evolution Model for XML Stored in Relational Databases. *Proceedings of the Ninth East-European Conference on Advances in Databases and Information Systems*. — Tallinn, Estonia, 2005. — с. 66–79.
- А. А. Симановский. Автоматизация разработки схем баз данных для XML-реляционных систем. *Методы и средства обработки информации. Труды Второй Всероссийской научно-технической конференции*. — Москва, 2005. — с. 113–118.
- А. А. Симановский. Совместные эволюционные трансформации взаимозависимых XML и реляционных схем. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10*. 2007. Выпуск 1 — с. 102–111