

УДК 004.62

© 2013 г. **А.Н. Поляков**, канд. техн. наук,
А.А. Пойда, канд. физ.-мат. наук
(НИЦ Курчатовский институт, Москва),
А.А. Сорокин, канд. техн. наук,
С.И. Смагин, чл.-корр. РАН,
С.П. Королев
(Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНТЕГРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАСШТАБНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИНФРАСТРУКТУР ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ*

Рассмотрены существующие подходы по работе с распределенными источниками информации, а также вопросы проектирования и разработки платформы массовой интеграции данных, поддерживающей создание и функционирование широкомасштабных информационных инфраструктур на основе подхода виртуальной интеграции баз данных, методов и технологий GRID.

Ключевые слова: базы данных, источники данных, программный интерфейс, web-сервис, интеграция данных.

Введение

В настоящее время в различных областях науки наблюдается экспоненциальный рост объема получаемых экспериментальных данных. Например, в астрономии текущий и ожидаемый объемы данных от наземных и космических телескопов удваиваются в течение периода от шести месяцев до одного года. Сложность использования больших массивов данных увеличивается еще и вследствие их естественной разнородности. Разнообразие (информационная несогласованность) получаемой информации связано не только с большим числом организаций, производящих наблюдения, но и, в частности, с разнообразием объектов наблюдения, непрерывным и быстрым совершенствованием инструментальных средств и технологий наблюдений, вызывающих адекватные изменения структуры и содержания накапливаемой информации [1]. Это приводит к необходимости использовать неоднородные, распределенные данные, накопленные в течение значительно-

* Разработка платформы выполняется в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы», ГК № 07.514.11.4129 и грантов РФФИ 13-05-92101, 12-05-00855-а.

го периода времени технологически разными инструментами. Решение указанных проблем невозможно без применения специализированных программных средств.

Современные тенденции состоят в движении от создания разрозненных информационных ресурсов к интегрированным системам, взаимодействующим на основе совместимых стандартов метаданных и других средств информационного взаимодействия. Всевозрастающая потребность в получении обобщенного взгляда на информационные ресурсы различных систем привела к формированию механизмов интеграции данных, которые ориентируются на эффективную организацию доступа к внешним, гетерогенным и иным источникам данных [2].

Под интеграцией источников данных в информационных системах понимается обеспечение единого унифицированного интерфейса для доступа к некоторой совокупности неоднородных и независимых источников данных [3, 4]. В этом случае информационные ресурсы всей совокупности интегрируемых источников представляются пользователю как новый единый источник. Система, обеспечивающая пользователю такие возможности, называется системой интеграции данных. Источниками данных могут быть системы баз данных, поддерживающие различные модели данных (реляционные, объектные, объектно-реляционные, графовые и т.п.), разнообразные унаследованные системы, репозитории, web-сайты, файлы структурированных данных. Обеспечение доступа к данным многих источников через единый интерфейс означает поддержку предоставления совокупности данных из множества независимых источников в терминах единой модели данных [5].

Несмотря на то, что проблемы интеграции информационных ресурсов теоретически изучены достаточно полно, практическая реализация результатов этих исследований не получила широкого развития. Классические методы интеграции позволяют создавать прикладные информационные системы с небольшим или стабильным составом информационных источников, так что область применения таких средств остается ограниченной рамками отдельных, в том числе и распределенных, систем [6, 7].

Задача построения целостной интеграционной платформы требует проведения дополнительных научных исследований и разработки новых алгоритмов, моделей, интерфейсов, сервисов и технологий обработки данных и остается актуальной.

Цель настоящей работы – исследование способов интеграции распределенных источников данных и разработка макета инструментальной платформы массовой интеграции данных (далее – платформа), поддерживающей создание и функционирование широкомасштабных информационных инфраструктур на основе подхода виртуальной интеграции баз данных, методов и технологий GRID.

Постановка задачи

В системах интеграции данных наибольшее распространение получила архитектура с медиатором (mediators agent). На него возлагается задача поддержки единого пользовательского интерфейса на основе глобальной схемы данных и связи между глобальными и локальными представлениями данных [8]. Пользователь-

ский запрос, сформулированный в терминах единого интерфейса, декомпозируется на множество подзапросов, адресованных к нужным локальным источникам данных. На основе результатов их обработки синтезируется полный ответ.

Одной из главных проблем в разработке соответствующих программных комплексов является выбор оптимальной модели интеграции и реализации единой обобщенной схемы данных.

Существуют две разновидности архитектуры с медиатором – Global as View и Local as View [9,10]. Первая предусматривает определение глобального представления интегрированных данных в терминах локальных источников. При использовании же архитектуры Local as View предполагается, что представление для каждого из локальных источников данных описывается в терминах заданного интегрирующего глобального представления, т.е. глобальная схема является первоопределяющей [11].

В рамках проведенных работ были исследованы способы интеграции распределенных источников данных и разработан макет платформы, построенной на основе следующих базовых принципов и положений: в работе платформы применяется схема глобального представления данных Local As View; для сбора и обработки промежуточных результатов запросов локальных источников данных используется общее хранилище данных; в качестве единой модели интегрируемых данных использована реляционная модель; все источники данных являются независимыми, обращение к ним происходит при каждом новом запросе, а результаты трансформируются при помощи медиаторов; для интеграции метаданных и семантической информации использовано несколько схем глобального представления, определяемых пространством имен. Это позволяет более полно описать как семантическую (единицы измерения, допустимые значения и т.п.), так и синтаксическую (имена полей, тип значений и т.п.) информацию; в рамках платформы интегрируются источники с реляционной моделью данных.

Методы решения задачи

Для решения поставленной задачи был определен ряд условий, накладываемых на агрегируемые источники данных.

Доступ к удаленным базам осуществляется с помощью RESTful web- и grid-сервисов. В основе запроса лежит простая форма, строящаяся автоматически на основании метаданных (capabilities) источника данных. В метаданных должно быть указано, какие переменные источник предоставляет для запроса и какое пространство имен он поддерживает. Запрос к каждому источнику осуществляется в терминах фильтра на пространстве имен, которые источник декларирует как поддерживаемые. Результатами подобных запросов являются таблицы (result set), готовые для совместной обработки и анализа методами реляционной алгебры. При этом требуется заранее оговаривать, каким образом источник реализует преобразование запроса из терминов обобщенных пространств имен в термины локальной базы данных. Это могут быть хранимые процедуры СУБД либо произвольный медиатор.

Вместо создания единой схемы данных обеспечена интегральная поддержка

множества обобщенных схем, которые источник может предложить по своему усмотрению. В зависимости от области приложений один источник может реализовывать несколько обобщенных схем и пространств имен, при этом он не обязан реализовывать все пространство имен целиком. Список этих переменных он декларирует в метаданных, которые могут быть доступны по всем агрегируемым источникам данных.

Источнику данных не выставляются требования, как он должен реализовывать медиатор, т.е. осуществлять перевод запроса из терминов обобщенного пространства имен в термины локальной базы данных. С целью минимизации вычислительной сложности выполнения этой операции был упрощен протокол обмена данными между удаленными источниками и аналитическим модулем. Для этого используются запросы в виде фильтров данных, в которых пользователь указывает, какие переменные вернуть и по каким параметрам должен быть произведен отбор. Запрос может автоматически создаваться на основе метаданных источника.

Для объединения и анализа данных, пришедших из различных источников, создаются промежуточные реляционные базы данных. Они формируются из набора таблиц, полученных в результате выполнения множества параллельных запросов к удаленным источникам и которые можно обрабатывать методами реляционной алгебры при помощи SQL-подобного языка запросов.

При разработке системы управления общим хранилищем данных был использован программный пакет Open Grid Service Architecture Data Access Interface (OGSA-DAI) [12,13]. Он предназначен для организации совместного использования распределенных ресурсов данных и позволяет организовать доступ к различным информационным ресурсам (например, реляционным или XML-базам данных, файлам и т.п.) через web-сервисы внутри GRID, облака или сеть Internet. С их помощью данные можно запрашивать, обновлять, преобразовывать и комбинировать различными способами.

Архитектура платформы

На рис. 1 представлена схема разработанной авторами архитектуры платформы массовой интеграции данных.

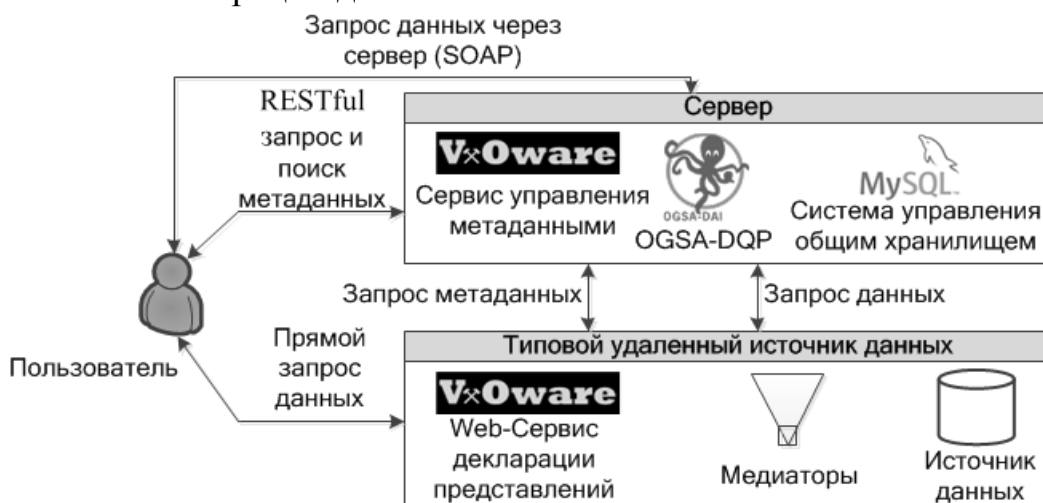


Рис. 1. Архитектура платформы массовой интеграции баз данных.

В качестве системы управления общим хранилищем использована СУБД MySQL, подключенная к промежуточному программному обеспечению OGSA-DQP (<http://www.ogsadai.org.uk/>), предназначенному для выполнения пользовательских запросов с применением протокола SOAP. Для декларации представления применена система управления метаданными VxOware (<http://www.ogsadai.org.uk/>), обеспечивающая выполнение фильтрующего запроса к метаданным при помощи RESTful web-сервисов.

На сервере установлена базовая часть системы метаданных, предоставляющая информацию о пространствах имен и собирающая метаданные об интегрированных источниках в единый каталог. Клиентское приложение может получить доступ к источнику данных напрямую (с последующей обработкой результатов) или через сервер.

В качестве языка массовых запросов используется SQL. При исполнении распределенного запроса данных кортежи, полученные из всех источников данных, приводятся к модели данных, заданной пользователем, и после предварительной обработки помещаются в общее хранилище.

Для обработки массовых запросов к совокупности баз данных реляционного типа используются операции описанные в таблице.

№	Операция	Описание, особенности выполнения
1.	Слияние потоков кортежей двух и более источников баз данных в один	Аналог операции UNION в SQL. В системе она выполняется не внутри базы данных, а после выборки кортежей из баз данных источников
2.	Фильтрация внутри потока кортежей	Аналог операции WHERE в SQL. Применяется после выборки кортежей из источников и исполняется внутри самой системы интеграции
3.	Расщепление потока кортежей на два и более потока	Перенаправление потока данных одновременно на несколько выходов, – например, в лог-файл, в базу данных или в web-сервис.
4.	XML-парсинг	Преобразование выходного XML не реляционного источника данных в один и более реляционных кортежей

Для обеспечения безопасности доступа к данным в распределенной инфраструктуре источников данных использованы протоколы OpenID [14] и OAuth [15]. Они интегрируются в систему web-сервисов и позволяют эффективно управлять правами доступа.

Возможности пользователя, прошедшего аутентификацию с помощью идентификатора OpenID, определяются системой, в которую он непосредственно входит. При регистрации на сервере OpenID пользователю предлагается создать уникальный идентификатор, пароль, а также дополнительные сведения, – например, адрес электронной почты, название организации. Эти сведения могут передаваться вместе с подтверждением аутентификации в другие сервисы, в которые осуществляется вход. Процесс получения доступа к ресурсам платформы представлен на рис. 2.

В качестве программной реализации стандартов аутентификации OpenID и OAuth и авторизации доступа пользователей к ресурсам распределенной системы хранения используется решение на основе VOspace [16].

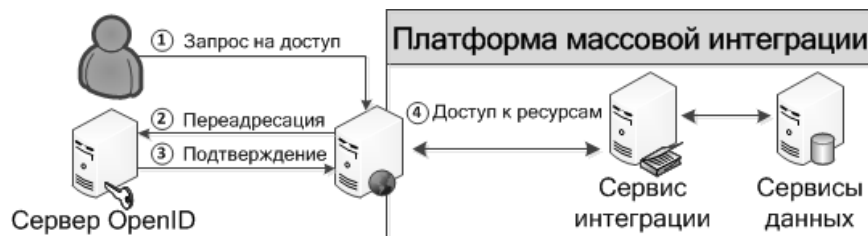


Рис. 2. Процесс доступа к информационной системе с использованием технологии OpenID.

Для оценки работоспособности и проведения исследований разработанной платформы был создан экспериментальный стенд. В его основу заложена клиент-серверная архитектура. Серверная часть приложения массовой интеграции состоит из web-сервиса, системы авторизации и хранения метаданных, а также СУБД MySQL, отвечающей за хранение промежуточных результатов поиска при выполнении запросов. Клиентом приложения является web-браузер, с помощью которого пользователь выполняет запросы к распределенным источникам данных. Структура экспериментального стенда показана на рис. 3.



Рис. 3. Структура экспериментального стенда.

Метаданные хранятся в виде XML-записей, которые включают название и адрес источника, имена таблиц, используемый адаптер, а также входные и выходные параметры.

Проведение экспериментальных исследований характеристик платформы массовой интеграции

Исследования характеристик платформы включали проверку с использованием организованного экспериментального стенда, возможности выполнения массового запроса к 200 базам данных и формата передачи результатов поискового запроса, включая замеры времени выполнения операций и оценку количества сбоев доступа к базам данных.

Для моделирования работы с 200 базами данных использовались 20 отдельных источников данных, к каждому из которых производилось 10 параллельных запросов одновременно.

При выполнении теста запрашивался небольшой объем данных, объединенных общим временным интервалом, полученные с каждого отдельного источника промежуточные результаты объединялись в том же исполняемом задании с добавлением поля идентификатора виртуального источника (200 идентификаторов для 20 источников).

Для исследования времени выполнения массовых запросов замерялось вре-

мя извлечения 10 строк из одной базы данных, с последующей проверкой корректности результата. Как видно из рис. 4, в целом наблюдается линейная зависимость с малым угловым коэффициентом.



Рис. 4. График зависимости скорости выполнения тестового массового запроса (в секундах) от количества опрашиваемых источников данных.

Во время тестирования выяснилось, что при количестве источников данных более 120 периодически наблюдаются существенные задержки, многократно превышающие среднее время выполнения запроса. Данные “всплески” можно объяснить перегрузкой процессоров сервера, с которого осуществляется запуск тестового задания. Так, для 160 источников средняя загрузка процессора составляла 93,2%.

Чтобы минимизировать влияние указанного фактора, для количества баз данных 120 и выше была изменена схема тестирования. Для каждого параметра замеры производились 5 раз, после чего удалялись самый быстрый и самый медленный, а результат остальных трех усреднялся. Полученный результат представлен на графике (рис. 5). Как видно, линейный характер зависимости стал еще более выраженным.

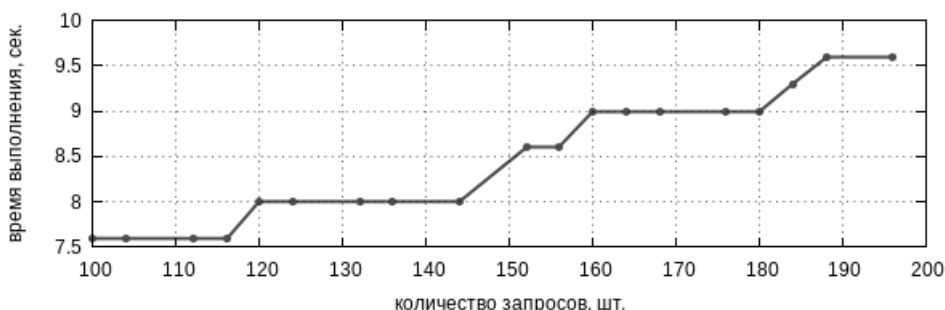


Рис. 5. График зависимости времени выполнения массового запроса от количества опрашиваемых источников данных (усредненный результат).

Также была исследована зависимость времени выполнения массового запроса от количества кортежей, возвращенных источниками. Эксперимент проводился для 100 источников данных. Результат представлен на графике (рис. 6).

Линейная зависимость времени выполнения запроса от количества кортежей объясняется особенностью исполнения массового запроса. Это происходит тогда, когда источники данных зависят от кортежей, хранящихся в другом источнике, и вынуждены ожидать их получения, чтобы сформировать запрос поиска.

В ходе проведения экспериментальных исследований была протестирована и конфигурация, при которой источники данных были вынесены за пределы экспериментального стенда и соединялись с сервером не по локальной сети, а через глобальную сеть Internet.



Рис. 6. График зависимости времени выполнения запроса от среднего количества кортежей в результате.

Для 200 источников данных время выполнения массового запроса увеличилось с 10 секунд для случая локальной сети до 15 секунд для случая передачи результатов через Internet.

Заключение

В рамках проведенных работ решены две основные задачи:

1) разработан сервис-ориентированный интерфейс, который предоставляет простой, универсальный доступ к удаленным источникам информации в табличной модели данных (Local As View) и позволяет задавать простые фильтры на выборку данных, а также декларировать поддерживаемые пространства имен (namespaces);

2) реализован гибкий механизм объединения и анализа данных, пришедших из различных источников, с помощью реляционного исчисления в виде интерпретируемых SQL-запросов.

По итогам исследований параметров функционирования разработанной платформы массовой интеграции данных можно сделать следующие выводы: при интеграции большого числа источников данных следует использовать кластер из вычислительных серверов, так как обработка даже одного массового запроса к большому числу источников данных является ресурсоемкой; при системе с большим числом пользователей необходимо реализовать механизм ограничения нагрузки на конечные источники данных. Это можно сделать на стороне самих источников либо на стороне платформы массовой интеграции (пока этого не предусмотрено); для работы с географически распределенными ресурсами пропускная способность сети передачи данных и латентность соединения с источниками данных являются важными показателями. В критически важных приложениях оптимально использовать выделенные каналы с гарантированным качеством обслуживания и минимальным числом промежуточных узлов.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности дальнейших исследований и возможности использования разрабатываемых систем в интересах органов власти, предприятий, научных и учебных организаций для построения широкомасштабных специализированных информационных инфраструктур.

Разработанная платформа уже сегодня может быть использована для решения задач интеграции научных данных, в частности при реализации проектов, связанных с построением распределенных информационных систем для проведения комплексных исследований в области наук о Земле [17].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вовченко А.Е.* Рассредоточенная реализация приложений в среде предметных посредников: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2012.
2. *Белов С.В.* Разработка методов и средств интеграции распределенных и разнородных информационных ресурсов в области изучения, освоения и использования Мирового океана: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Обнинск, 2008.
3. *Levy A.Y.* Logic-Based Techniques in Data Integration // Logic Based Artificial Intellegence. – Kluwer Publishers, 2000. – P. 575-595.
4. *Manolescu I., Florescu D., Kossman D.* Answering XML Queries over Heterogeneous Data Sourced // Proc. Of the 27th VLDB Conference. – Roma, 2001. – P.241-250.
5. *Когаловский М.Р.* Интеграция данных в информационных системах // Сб. трудов 3-й Всерос. конф. «Стандарты в проектах современных информационных систем». М., 2003. URL: <http://www.cemi.rssi.ru/mei/articles/koga03-3.pdf> (дата обращения: 02.03.2013).
6. *Торшин Д.В.* Организация единого интегрированного пространства на основе универсального формата обмена данными // Научно-технические ведомости СПбГПУ, Серия «Информатика. Телекоммуникации. Управление». – 2009. – № 2 (71). – С. 26-32.
7. *Торшин Д.В., Юсупова Н.И.* Программное обеспечение для задачи интеграции разрозненных компьютерных систем // Вестник УГАТУ, Серия «Управление, вычислительная техника и информатика». – 2009. – Т.12, № 1(30). – С. 127-132.
8. *Wiederhold G.* Mediators in the Architecture of Future Information Systems // IEEE Computer. – 1992. – № 25(3). – P. 38-49.
9. *Сысоев Т.М.* Интеграция и поиск распределенных данных на основе Semantic Web технологий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: 2007.
10. *Черняк Л.С.* Интеграция данных: синтаксис и семантика // Открытые системы-2010 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: www.osp.ru/os/2010/06/11170978/
11. *Chawathe S., Garcia-Molina H., Hammer J. et al.* The TSIMMIS Project: Integration of Heterogeneous Information Sources // Proc. of 100th Anniversary Meeting, Information Processing Society of Japan. – Tokyo, 1994. – P.7-18.
12. *Dobrzelecki B., Krause A., Hume A. et al.* Integrating distributed data sources with OGSA-DAI DQP and Views // Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 2010. – Vol. 368, № 1926. – P. 4133-4145.
13. *Jackson M., Antonioletti M., Dobrzelecki B. et al.* Distributed data management with OGSA-DAI // Grid and Cloud Database Management. – Springer-Verlag, July 2011. – P. 63-86.
14. The OpenID Book. A Comprehensive guide to OpenID Protocol and Running OpenID enabled Web Sites, Draft Version Revision 15, 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.computerhok.nl/JSPWiki/attach/OpenID/openid-book.pdf>.
15. OAuth-авторизация. Руководство разработчика, 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://api.yandex.ru/oauth/doc/dg/yandex-oauth-dg.pdf>.
16. *Graham M., Harrison P., Morris D., Rixon G.* VOSpace service specification Version 1.01, IVOA Proposed Recommendation 2007 July 23 // International Virtual Observatory Alliance [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivoa.net/Documents/VOSpace/20070723/PR-VOSpace-1.0-20070723.pdf>.
17. *Shestakov N., Takahashi H., Ohzono M. et al.* Analysis of the far-field crustal displacements caused by the 2011 Great Tohoku earthquake inferred from continuous GPS observations // Tectonophysics. – 2012. – Vol. 524-525C. – P. 76-86.

E-mail:

Поляков Андрей Николаевич – andrew@kiae.ru;

Пойда Алексей Анатольевич – poйда@wdcb.ru;

Сорокин Алексей Анатольевич – alsor@febras.net;

Смагин Сергей Иванович – smagin@ccfebras.ru;

Королев Сергей Павлович – serejk@febras.net.