

Информационное обеспечение виброрейсмического мониторинга ♣

А.П.Григорюк,

Л.П.Брагинская

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
ludmila@opg.sccc.ru

Аннотация

В работе предложены концептуальные подходы к методике построения информационно-вычислительных систем экспериментальных данных, содержащих неструктурированные данные в виде длинных числовых массивов. Далее рассмотрены функции веб-ориентированной информационно-вычислительной системы (ИВС) «Вибросейсмическое просвещение Земли» (<http://opg.sccc.ru/db>), разработанной авторами на основе предложенной ими концепции. Система включает файловый архив данных, полученных в ходе уникальных экспериментов по виброрейсмическому просвечиванию Земли с помощью мощных 40- и 100-тонных сейсмических вибраторов. Пользователи ИВС имеют возможность с помощью стандартного веб-браузера проводить поиск в базе данных по различным параметрам виброрейсмического просвечивания (около 20 параметров), просматривать найденные файлы волновых форм, осуществлять интерактивный анализ данных по классическим и специальным алгоритмам с выводом результатов непосредственно в веб-браузер. Картографическая подсистема, выполненная на базе сервиса Google Maps, позволяет пользователям работать с интерактивными картами и спутниковыми снимками районов проведения экспериментов.

1 Активный виброрейсмический мониторинг

На протяжении 1995–2008 годов институтами Сибирского отделения Российской академии наук

(СО РАН) совместно с другими отечественными и зарубежными научными учреждениями проводились экспериментальные работы по активному виброрейсмическому мониторингу литосферы в сейсмоопасных районах России. Работы проводились в Алтае-Саянской сейсмоактивной зоне, Байкальской рифтовой зоне, Таманской грязе-вулканической провинции [1].

Активный виброрейсмический мониторинг относится к числу новых геофизических технологий, включающих методы наблюдения за состоянием земной коры по изменению характеристик распространения сейсмических волн.

В сейсмологии основным источником волн является землетрясение — природный процесс, не управляемый ни по времени, ни по месту возникновения, ни по энергетике. С применением мощных сейсмических вибраторов были разработаны новые геотехнологии, которые позволяют избежать ряда ограничительных обстоятельств сейсмологии землетрясений и больших взрывов. В то же время, несколько десятков минут работы 100-тонного сейсмического вибратора по энергетической эффективности эквивалентны среднему землетрясению. Вибрационные геотехнологии имеют следующие преимущества [2]:

- точно определенные координаты источника и времени его работы;
- повторяемость эксперимента;
- возможность возбуждения колебаний с заданными параметрами;
- возможность автоматизации управления экспериментом;
- повсеместность применения;
- экологическая безопасность, т.к. регистрируемый сигнал находится под микросейсмами, а необходимые соотношения сигнал/шум обеспечиваются накоплением.

В экспериментальных работах по виброрейсмическому мониторингу использовались мощные управляемые вибраторы, расположенные на Быстровском (Новосибирская обл.), Байкальском

и Краснодарском сейсмологических полигонах. Регистрация осуществлялась специальными мобильными регистраторами и региональными сейсмостанциями в радиусе до 500 км от источников. В ходе некоторых экспериментов регистрировались также промышленные взрывы на шахтах и разрезах Кузбасса и на Семипалатинском ядерном полигоне.

Всего в ходе полевых работ было проведено более 33 экспериментов, в результате которых зарегистрировано около 30000 сеймотрасс. Общий объем накопленного архива файлов волновых форм и сопутствующей табличной информации (тип сейсмического источника, параметры излучаемого им сигнала, параметры регистратора, географические координаты источника и регистратора и т.д.) составляет около 20 ГБ

Полученный экспериментальный материал может быть использован при решении следующих задач геофизики [1]:

- развитие нового метода активной сейсмологии и геофизических технологий с использованием мощных вибрационных источников сейсмических волн;
- экспериментальные и теоретические исследования по сейсмическому зондированию Земли с целью изучения деформационных процессов в коре и верхней мантии;
- создание методики вибросейсмического мониторинга сейсмоопасных зон с целью прогноза землетрясений;
- развитие методов обработки и интерпретации вибросейсмических данных;
- математическое моделирование в задачах разведочной геофизики и прогноза землетрясений;
- разработка численных методов решения прямых и обратных задач геофизики, включая комбинированные обратные задачи;
- разработка новых численно-аналитических методов решения многомерных прямых задач и их приложений в исследованиях различных аспектов сейсмологии и сейсморазведки.

2 Модель данных

Для обеспечения доступа широкого круга исследователей к накопленному экспериментальному материалу было решено создать базу данных и информационно-вычислительную систему (ИВС) с возможностью эффективного поиска и интерактивного анализа данных. Организация структурированных табличных (реляционных) данных обычно затруднений не вызывает. Для этого идеально подходят реляционная модель и язык SQL, лежащие в основе современных СУБД. Сложнее обстоит дело с файлами волновых форм, представляющими собой n -мерные, в общем случае, числовые массивы, которые не могут быть структурированы и поэтому не поддерживаются реляционными СУБД непосредственно.

В настоящее время для работы одновременно с реляционными и нереляционными данными, в основном используют одну из двух архитектур:

- как реляционные, так и нереляционные данные находятся в базе данных;
- реляционные данные находятся в базе данных, а нереляционные данные – в файловых системах или на файловых серверах.

Каждый из этих двух подходов имеет свои преимущества и недостатки [8]. В первом случае одна база данных становится удобным централизованным хранилищем для обоих типов данных. Однако нереляционные данные хранятся в формате больших двоичных объектов (BLOB), скорость доступа к этим объектам существенно уступает скорости доступа к файлам. Во втором случае обеспечивается высокая скорость доступа, но усложняется разработка приложений и управление ими, так как приложения должны поддерживать согласованность между записями в базе данных и файлами, связанными с этими записями. Данную проблему можно частично или полностью решить за счет модели данных, обеспечивающей эффективную индексацию файловой системы из базы данных.

При построении концептуальной модели предметной области мы исходили из того, что экспериментально изучаемому объекту может быть присвоен определенный набор параметров, соответствующий представлениям исследователей о состоянии и поведении этого объекта. Параметры это то, что можно измерять, наблюдать и изменять в процессе исследований. В процессе экспериментов на изучаемый объект воздействуют некоторые факторы с контролируруемыми параметрами и, с помощью сенсоров, регистрируется ряд параметров объекта при фиксированных других параметрах. Тогда концептуальную модель эксперимента можно представить с помощью приведенной на Рис.1 ER-диаграммы (диаграмма «сущность-связь») [6].



Рис. 1. Концептуальная модель эксперимента

Диаграмма содержит три класса сущностей: ОБЪЕКТ, ФАКТОР и СЕНСОР. Каждый класс с набором атрибутов, определяемых конкретной областью исследований. Взаимоотношения сущностей выражаются двумя классами связей: ВОЗДЕЙСТВИЕ и ОТКЛИК. В случае пассивного эксперимента или наблюдения класс сущностей ФАКТОР может отсутствовать.

Для перехода к реляционной модели данных заменим сущности и связи ER-диаграммы на соответствующие отношения R с первичными ключами K и атрибутами A :

ОБЪЕКТ	–	$R1(K_1, A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1n});$
ФАКТОР	–	$R2(K_2, A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2n});$
СЕНСОР	–	$R3(K_3, A_{31}, A_{32}, \dots, A_{3n});$
ВОЗДЕЙСТВИЕ	–	$R4(K_1, K_2);$
ОТКЛИК	–	$R5(K_1, K_3).$

Вспомогательные отношения $R4$ и $R5$ служат для организации связи типа M:N (многие-ко-многим) между отношениями $R1, R2$ и $R1, R3$ соответственно. Первичными ключами K могут служить, например, порядковые номера кортежей соответствующих отношений. В общем случае ключевые атрибуты должны содержать значения из конечных множеств P :

$$P_1 = \{K_{11}, K_{12}, \dots, K_{1m}\};$$

$$P_2 = \{K_{21}, K_{22}, \dots, K_{2m}\};$$

$$P_3 = \{K_{31}, K_{32}, \dots, K_{3m}\}.$$

Такая модель позволяет организовать адресацию файлового архива, имеющего следующую иерархическую структуру:

$$/data/P_1/P_2/P_3/P_1P_2P_3N \quad (1).$$

где строка « $P_1 P_2 P_3 N$ » — имя файла данных, образованное конкатенацией атрибутов P_1, P_2, P_3 и номера канала сенсора N для многоканальных сенсоров. Данная структура соответствует естественной древовидной структуре файловой системы.

Предложенная модель данных в сочетании со способом адресации неструктурированных данных обеспечивает естественную однозначную связь между записями в базе данных и соответствующими файлами. В то же время пользователи могут полностью абстрагироваться от имен или шаблонов имен файлов и каталогов, работая только с атрибутами, каталогизирующими свойства и происхождение каждого файла.

Как и модель эксперимента, модель данных является обобщенной, ее необходимо адаптировать для каждой конкретной научной области и вида экспериментов. В большинстве случаев может потребоваться декомпозиция отношений ОБЪЕКТ, ФАКТОР и СЕНСОР с учетом функциональных зависимостей между атрибутами.

Каждый из экспериментов по вибросейсмическому просвечиванию Земли проводится при некоторой фиксированной расстановке задействованных в эксперименте сейсмических вибраторов и регистраторов. В ходе эксперимента проводятся сеансы работы виброисточников с различными видами и параметрами излучаемых сигналов. Каждому сеансу соответствует один кортеж отношения ФАКТОР и

несколько кортежей (по числу регистраторов) отношения СЕНСОР. Параметры изучаемого объекта, которым является некоторая область литосферы и верхней мантии, определяются географическими координатами сейсмических источников и регистраторов. Эти координаты представлены соответствующими атрибутами отношений ФАКТОР и СЕНСОР. Поэтому отношение ОБЪЕКТ в данной системе содержит только порядковый номер эксперимента в качестве ключевого атрибута, а также несколько атрибутов, представляющих вспомогательные метаданные.

3 Основные функции ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли».

На основе предложенной модели данных нами была разработана база данных и веб-ориентированная информационно-вычислительная система «Вибросейсмическое просвечивание Земли» (<http://opg.sccc.ru/db>) [4]. ИВС реализует следующие основные функции:

- получение подробной информации по любому из проведенных экспериментов (метаданные);
- поиск в базе данных одновременно по 18 параметрам вибропросвечивания (типы источников, вид и параметры сигналов, географические координаты и др.) поисковая форма системы показана на Рис. 2;
- интерактивный on-line анализ (корреляционный, спектральный, спектрально-временной и т.д.) найденных сейсмотрасс с отображением результатов непосредственно в веб-браузере пользователя;
- построение по результатам поиска интерактивных карт и спутниковых снимков с обозначенными источниками и регистраторами сейсмических волн.

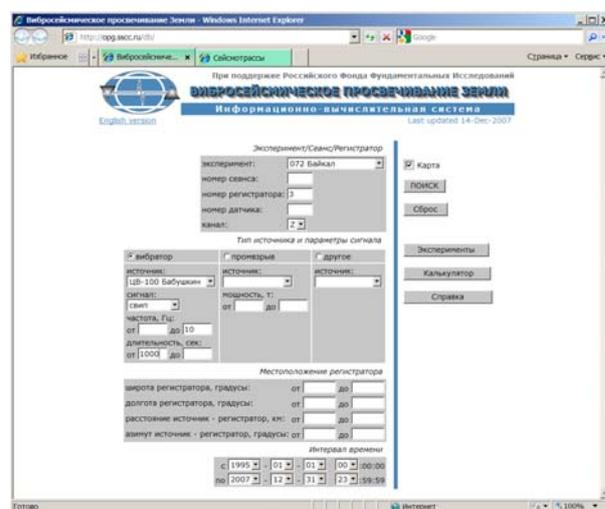


Рис. 2. Поисковая форма ИВС

4 Структурная схема ИВС

Структурная схема информационно-вычислительной системы приведена на Рис. 3. Пользователи взаимодействуют с системой с помощью стандартного веб-браузера, посылая запросы на поиск и анализ данных. В запросе на поиск указываются интересующие пользователя параметры объекта, параметры воздействующих на объект факторов и параметры сенсоров, регистрирующих данные. Запрос на анализ должен содержать перечень процедур анализа, которые будут применены к найденным данным и параметры этих процедур.

В результате выполнения запроса на поиск из базы данных извлекаются необходимые для обращения к файловому архиву атрибутивные данные. На основе этих данных веб-приложение формирует адреса файлов в соответствии с (1) и передает их модулю анализа.

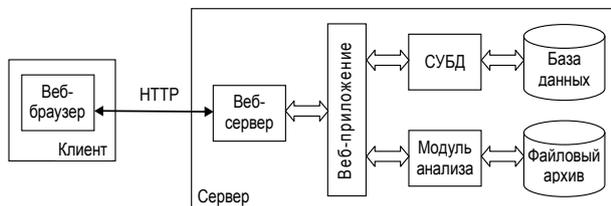


Рис. 3. Структурная схема ИВС

Модуль анализа представляет собой приложение, выполняющее анализ данных в соответствии с алгоритмами, применяемыми в конкретной области экспериментальных исследований. В большинстве случаев это классические математико-статистические процедуры анализа числовых последовательностей. Соответствующие вычисления выполняются современными многоядерными и мультипроцессорными системами с быстродействием, достаточным для обеспечения online режима при работе с массивами данных практически любых размеров. Полученные в результате анализа числовые массивы возвращаются веб-приложению, которое «на лету» формирует графики, таблицы, текст и отправляет всё это пользователю в виде готовой веб-страницы. Конечное представление информации реализуется при помощи клиентских технологий JavaScript, HTML и стилевых таблиц CSS.

Конкретная аппаратно-программная реализация структурной схемы Рис. 2 определяется масштабами системы, сложностью применяемых алгоритмов анализа, количеством пользователей и т.д. Так, ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли» в настоящее время базируется на единой аппаратной платформе на основе двух процессоров Intel Xeon 3.0GHz, оперативная память DDR2 2GB. Использовалось только свободно распространяемое программное обеспечение: операционная система Linux, веб-сервер Apache, СУБД MySQL. Веб-

приложение написано на языке PHP, этот выбор обусловлен широким набором графических функций и высокой скоростью генерации изображений. Для повышения быстродействия системы модуль анализа был реализован на языке C++ с использованием программных библиотек Intel Performance Libraries [3].

Пример веб-страницы с результатами поиска и анализа данных приведен на Рис. 4.

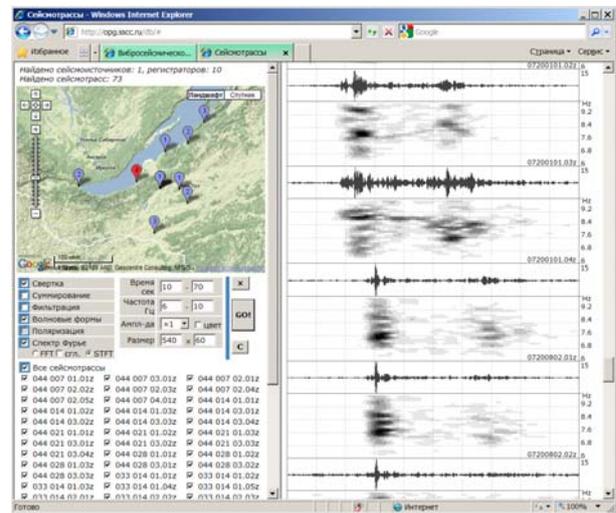


Рис. 4. Отображение результирующей страницы в веб-браузере

5 Использование сервиса Google Maps для построения карт эксперимента

В геофизике, как и во многих других областях, исследователи имеют дело с пространственно обусловленными данными или геопространственными данными. Поэтому архитектура ИВС должна предусматривать подсистему управления геоданными и картографическую подсистему.

Большинство современных СУБД, как коммерческих, так и свободно распространяемых, поддерживают класс пространственных данных непосредственно или с помощью специальных расширений. Картографические сервисы, в частности веб-сервисы, до недавнего времени строились преимущественно на основе специализированного серверного ПО, позволяющего публиковать в сети Интернет карты, сопровождаемые базовым ГИС-инструментарием.

Однако в последние годы в Интернете все большее распространение получают гибридные ГИС. В таких системах геоданные из прикладной базы данных интегрируются с картографическим сервисом, предоставляемым специализированным веб-сервером. На сегодняшний день наиболее развитым картографическим веб-сервисом является Google Maps компании Google [5, 9]. Сервис базируется на данных дистанционного зондирования (спектрозональные снимки со

спутников Landsat, SPOT, Quickbird с разрешением до 0.68м) совмещенных с топографическими картами в проекции Меркатора. Компания Google предоставляет пользователям интерфейс Google Maps API в виде классов объектов JavaScript для генерации карт и нанесения на них собственных маркеров, контуров, а также готовых слоев в формате KML. Данные для отображения могут находиться как непосредственно в коде веб-страниц, так и во внешних XML и KML файлах. Схема взаимодействия сервера ИВС, сервера Google Maps и клиентского браузера показана на Рис. 5.

Использование технологии AJAX обеспечивает обновление содержимого результирующей веб-страницы без ее перезагрузки, таким образом, изменение масштаба и перемещение по карте осуществляется без каких-либо задержек. Пример карты можно видеть на Рис. 4.

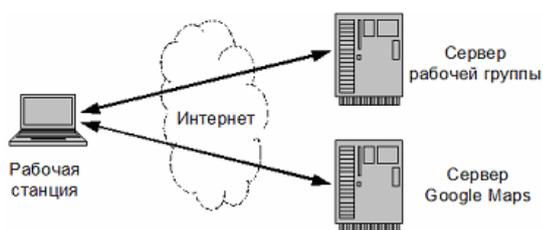


Рис. 5. Структура гибридной ГИС

6. Сравнение с зарубежными аналогами

Наиболее близким аналогом созданной ИВС, который нам удалось найти в Интернете, является система «Сейсмический монитор», доступная через портал IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) [10]. Система позволяет в режиме on-line осуществлять поиск и просмотр сейсмограмм и метаданных землетрясений, зарегистрированных любой из 150 сеймостанций Глобальной сети (Global Seismographic Network - GSN). Пользователи могут работать с системой через специальный интерфейс WILBER с помощью стандартного веб-браузера.

«Сейсмический монитор» обеспечивает доступ к громадному объему данных, которые постоянно пополняются. Однако по функциональности система значительно уступает разработанной нами ИВС. Так, в системе отсутствуют функции анализа волновых форм (фильтрация, спектральный анализ и т.д.), возможен только их непосредственный просмотр. Картографическая подсистема представлена только мелкомасштабной схематической картой мира. Не представлены данные дистанционного зондирования, которые позволили бы наблюдать особенности геологического строения районов землетрясений.

7. Заключение

В работе представлены концептуальные основы, архитектура и программное обеспечение информационно-вычислительной системы для поддержки экспериментов, проводимых научными коллективами, состоящими из специалистов, территориально удаленных друг от друга. Разработанное инвариантное ядро системы обеспечивает эффективное управление неструктурированными данными, получаемыми в ходе экспериментов от приборов или компьютерных моделей. Практическая реализация показана на примере ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли».

На основе представленного инвариантного ядра была также разработана информационно-вычислительная система «Землетрясения Камчатки» (<http://opg.sssc.ru/kg/>) [7]. Система предназначена для информационной поддержки теоретических и прикладных исследований в области сейсмологии, вулканологии, физики землетрясений.

Литература

- [1] Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками / Отв.ред. Г.М. Цибульчик. –Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Филиал «Гео» Издательства СО РАН, 2004.
- [2] А.С. Алексеев и др. Вибрационные геотехнологии на пороге 21 века.// Сейсмология в Сибири на рубеже тысячелетий. Материалы международной геофизической конференции, Новосибирск, ОИГТиМ, 2000 г.
- [3] Библиотеки Intel Performance Libraries. <http://www.intel.com/cd/software/products/emea/ru/s/perflib/358868.htm>
- [4] Григорюк А.П., Брагинская Л.П. Управление данными вибросейсмического мониторинга. // Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия. Сб. материалов междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2007» Т.3. – Новосибирск: СГГА, 2007.
- [5] Григорюк А.П., Брагинская Л.П. Опыт веб-картографирования на основе сервиса Google Maps // Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия. Сб. междунар. Науч. Конгресса ГЕО-Сибирь-2008. Т.3. –Новосибирск: СГГА,2008.
- [6] Дейт К. Д. Введение в системы баз данных. 7-е изд. – М.: Вильямс, 2001. – 702 с.
- [7] Чебров В.Н., Григорюк А.П., Пантюхин Е.А., Брагинская Л.П. и др. Информационно-вычислительная система «Землетрясения Камчатки», доступная в сети Интернет. // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России Труды региональной научно-технической конференции. Петропавловск-

Камчатский. 11-17 ноября 2007 г.
Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008.
238 с.

- [8] Электронная документация по SQL Server 2008. Управление неструктурированными данными. http://msdb.ru/Downloads/SQL2008/white_papers/UnstructuredData%20RU.docx
- [9] Google Maps API Documentation. <http://www.google.com/apis/maps/documentation>
- [10] Seismic Monitor Documentation. <http://www.iris.edu/seismon/html/Help.html>

Information support of vibroseismic monitoring

A.P. Grigoruk, L.P. Braginskaya

In this paper we propose the conceptual approach to constructing informational computational systems of experimental geodata. The web-oriented experiment information system has been created. The system based on a data obtained in unique vibroseismic Earth sounding experiments. These experiments were conducted during 1995-2008 at Altay and Sayan regions, Baikal rift zone and Taman mud volcano province. Most of data is obtained using powerful eccentric 40- and 100-ton seismic vibrators.

Structured information about 33 experiments has been brought into the database. The system file archive contains over 30000 seismic traces obtained in these experiments. Users can search the database by various parameters (about 20) of the vibroseismic sounding, retrieve, view, and analyze the traces have been found. The cartographic system constructed on Google Maps service allows users to work with interactive maps and satellite images of areas of carrying out of experiments.

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 05-07-90081, № 07-07-00106, 09-07-00515