

УДК 550.34:004 (571.642)

Новая архитектура автоматизированной системы сбора, хранения и обработки сейсмологических данных

© 2013 г. А.А. Степнов¹, А.В. Гаврилов¹, А.В. Коновалов¹, Л. Отемолер²

¹ Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

² Бергенский университет, Отделение наук о Земле, г. Берген, Норвегия

Детально рассмотрены особенности организации новой архитектуры автоматизированной системы, ориентированной на сбор, хранение и обработку сейсмологических данных, и базирующейся на программных обеспечениях SEISNET и SEISAN. Приведены конкретные технологии, программные продукты и способы взаимодействия компонентов системы. Показан функционал системы и рабочий цикл данных. Рассмотрен пример реализации новой архитектуры в условиях существующей системы сейсмологических наблюдений на севере о. Сахалин.

Ключевые слова: автоматизированная система, сбор данных, сеть сейсмических станций, землетрясение, SEISAN, SEISNET, Linux, база данных, рабочий цикл данных, телеметрия.

Введение

Остров Сахалин – регион России, в котором отмечается высокий уровень тектонической активности. Вместе с тем на территории острова и его прибрежном шельфе расположены объекты нефтегазодобывающей промышленности и сооружения для транспортировки полезных ископаемых. “Сахалин-1” и “Сахалин-2” – наиболее известные реализующиеся проекты в этой сфере.

Основные нефтегазовые объекты на севере острова расположены в зоне активных тектонических нарушений разного ранга и возраста, выявленных по результатам многочисленных геолого-геофизических, сейсмологических и палеосейсмологических исследований [Булгаков и др., 2002; Katsumata et al., 2004; Харахинов, 2010; Коновалов и др., 2012]. Эти зоны характеризуются высоким сейсмическим потенциалом.

Совокупность перечисленных факторов послужила основой для создания и развития системы сейсмического мониторинга [Коновалов и др., 2010], в том числе мониторинга наведенной сейсмичности.

К настоящему времени в рамках системы сейсмического мониторинга создано автоматизированное рабочее место сейсмолога на базе программного обеспечения (ПО) SEISAN [Ottmöller et al., 2011; Коновалов и др., 2011]. Ключевой недостаток системы – отсутствие возможности функционала для оперативной обработки данных, так как сейсмические станции обслуживаются в отложенном режиме, а сбор данных осуществляется раз в два–три месяца. Однако в последнее время в регионе активно развиваются объекты телекоммуникационной инфраструктуры, что позволяет создать телеметрическую сеть станций.

Таким образом, из-за высокой частоты возникновения сейсмических событий на севере о. Сахалин в первую очередь требуется решить задачу по автоматизации таких процессов, как передача данных от удаленных станций, автоматическое детектирование сейсмических событий в потоке цифровых данных и оперативное определение очаговых параметров землетрясений в условиях нестабильной связи с удаленными сейсмостанциями.

Поставленная задача решается путем организации автоматизированной системы сбора, хранения и обработки сейсмологических данных на базе современных технологий и программных продуктов.

Обзор существующего программного обеспечения позволяет выделить ряд систем для автоматизации сбора сейсмологических данных.

Система EARTHWORM [Johnson et al., 1995], разрабатываемая с 1993 г., первоначально была создана в Геологической службе США (Рестон, штат Вирджиния), в настоящее время развивается как отдельный проект [Earthworm Documentation V7.5. <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc/>]. Концепция программного обеспечения EARTHWORM предполагает наличие центральной системы, в которую от множества датчиков в режиме реального времени непрерывно поступают данные. Центральная система EARTHWORM считывает и обрабатывает поступившие данные из памяти с помощью программ-модулей. Как правило, результатом работы программ является автоматическая расстановка фаз вступления волн, информирование об обнаруженных событиях, сохранение данных на диск. Поскольку система EARTHWORM имеет модульную структуру, ее функционал зависит от конкретной конфигурации; структура хранения данных не регламентирована.

Система SEISNET [Ottemöller, Havskov, 2004], разработанная в Отделении наук о Земле Бергенского университета (Норвегия), реализует сбор данных с удаленных станций в отложенном режиме. Система SEISNET поддерживает такие протоколы, как AutoDRM [Kradolfer, 1996], SEISLOG [Utheim, Havskov, 1999] и другие, кроме того она позволяет получать данные, хранящиеся на удаленном файловом сервере по протоколу FTP [Postel, Reynolds, 1985]. Применимость системы SEISNET не ограничивается сбором данных, так как она позволяет не только организовать полученные потоки цифровой информации в базу данных SEISAN, но и использовать функционал системы для автоматизированной обработки данных.

Проект SEISCOMP [Weber et al., 2007] был разработан в GFZ German Research Centre for Geosciences (Потсдам, Германия) и gempaGmbH (Потсдам, Германия) в рамках программы GEOFON [Geofon Program. <http://geofon.gfz-potsdam.de/>]. Текущая версия системы SEISCOMP использует протокол SEEDLink [Hanka et al., 2000] для сбора данных в режиме реального времени и протокол ArchLink [Documentation of the Archlink. <http://www.seiscomp3.org/wiki/doc/applications/arclink>] для получения данных в отложенном режиме, поддерживает хранение данных в распространенных системах управления базами данных (СУБД), таких как MySQL и PostgreSQL, обладает набором прикладных программ для автоматизированной обработки данных. Использование SEISCOMP предполагает собственную структуру организации данных, что делает данный продукт несовместимым с базой данных SEISAN.

Отдельно хотелось бы отметить систему сейсмологических наблюдений на Камчатке [Гордеев и др., 2006], в рамках которой развивается программное обеспечение собственной разработки для сбора и анализа инструментальных данных [Дрознин, Дрознина, 2010]. В настоящее время лицензия на данное программное обеспечение не опубликована, исходные и бинарные файлы не находятся в открытом доступе.

В рамках рассматриваемой системы следует обратить внимание на некоторые функциональные возможности программного обеспечения SEISNET, которые определили выбор именно этого программного продукта: тесная интеграция с пакетом сейсмологических программ SEISAN, возможность запуска на операционной системе Linux, наличие свободной лицензии, возможность сбора данных в отложенном режиме используя протокол FTP.

Кроме того, в данной работе проанализирован рабочий цикл данных в системе от сейсмоприемника до результатов обработки инструментальных данных.

Программно-аппаратная реализация системы

В основе разработанной системы лежит концепция “виртуальной сейсмической сети” (ВСС) [Ottemöller, Havskov, 1999], в рамках которой выделяют понятия “сейсмический узел” и “центр обработки данных” (ЦОД). ВСС – это централизованная сеть, где цифровые данные, собранные с удаленных узлов, поступают в ЦОД – точку сбора информации, место, где осуществляется последующая обработка, анализ и хранение данных. Данные поступают в систему в режиме, близком к реальному времени, – информация собирается со всех узлов в непрерывном режиме, задержка для отдельных станций составляет не более 60 мин.

Программное обеспечение, которое входит в состав реализованной системы, заслуживает особого внимания.

1. GNU/Linux – компьютерная операционная система [Stallman, 2012].
2. SEISAN – программное обеспечение для обработки и анализа сейсмологических данных [Ottemöller et al., 2011].
3. SEISNET – программное обеспечение для автоматизации сейсмологических наблюдений [Ottemöller, Havskov, 2004].
4. XEN – гипервизор для платформ IA-32, x86, x86-64, Itanium и ARM [Barham et al., 2003; Colp et al., 2011].

Стоит отметить, что системы SEISNET и SEISAN тесно интегрированы между собой, используют единую базу данных SEISAN, некоторый единый набор бинарных и конфигурационных файлов. Свободная операционная система Linux и программное обеспечение виртуализации XEN предоставляет неограниченные возможности, на базе которых реализована данная система (рис. 1).

Хранилище имеет отдельную аппаратную платформу, реализует концепцию Storage Area Network (SAN) [Padovano, 2003]. Доступ к данным осуществляется по протоколам ISCSI [Satran et al., 2004], что более экономично по сравнению с традиционными для SAN технологиями Fibre Channel. Поскольку система проектировалась как отказоустойчивая с разделяемым доступом к данным, в качестве файловой системы используется OCFS2 [Mushran, 2008]. Для хранения непрерывных цифровых данных и результатов их обработки используется база данных SEISAN. Набор конфигурационных файлов (например, STATION0.HYP, SEISAN.DEF, MULPLT.DEF), калибровочные

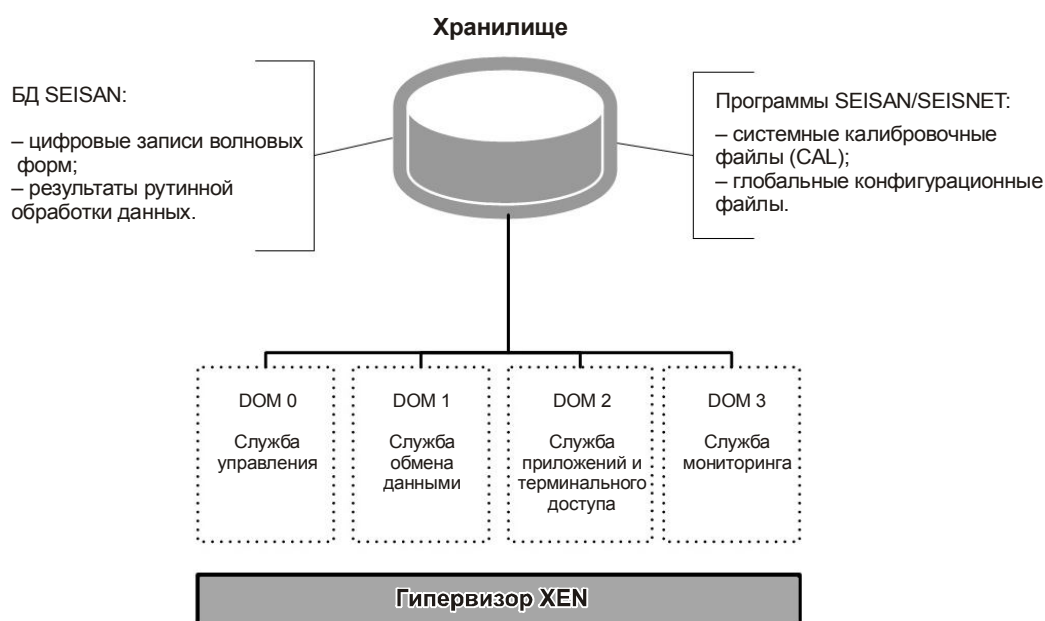


Рис. 1. Общая модель части системы, расположенной в центре обработки данных (ЦОД)

файлы сейсмических станций, бинарные файлы программного обеспечения SEISAN расположены в соответствующих директориях в хранилище вместе с базой данных.

Для работы с данными был разработан специальный набор правил, регламентирующий коллективную работу над единым набором данных и конфигурационных файлов. Глобальные конфигурационные файлы, в которых задаются скоростная модель, калибровочные параметры станций, настройки программы визуализации, могут быть изменены исключительно администратором системы после принятия соответствующего решения. Калибровочные файлы станций также имеют статус глобальных параметров и доступны в директории CAL дистрибутива SEISAN. После внесения изменений в глобальные параметры системы осуществляется обновление всех событий в БД при помощи команды “update”. С другой стороны, каждый пользователь системы может создать собственные файлы в домашней директории, в случае, если такие конфигурационные файлы будут обнаружены в директории пользователя, система будет использовать пользовательские параметры вместо глобальных. Эти изменения не коснутся других участников системы. Такой подход позволяет предоставить каждому специалисту возможность изменить глобальные параметры только в рамках собственной сессии.

Поступающие в систему цифровые данные разделены на два массива. В первом расположены непрерывные волновые формы, которые используются для поиска и детектирования сейсмических событий. Второй массив служит для хранения выделенных событий, ассоциированных с конкретным событием в базе данных REA дистрибутива SEISAN. Выделенные волновые формы формируются на этапе обработки данных и имеют формат SEISAN.

Каждый массив данных представляет собой 3 уровня иерархически вложенных папок.

1. НННН – сокращенное символьное наименование станции (не более пяти символов на английском языке).

2. ГГГГ – год.

3. ММ – месяц.

Вот пример такого архива: /WAV/ARGI_/2011/01/, где WAV – корневая директория, в которой расположены все волновые формы, ARG1_ – директория для волновых форм конкретной станции, 2011 – год, 01 – месяц.

Выделенные события помещаются в директорию IMGГ в каталоге WAV.

Архитектуру системы можно логически разделить на следующие подсистемы:

- сбора и передачи данных;
- хранения данных и результатов их обработки;
- обработки сейсмологических данных;
- графического представления данных и результатов их обработки;
- автоматического контроля за состоянием сети наблюдений.

Однако на практике в состав конкретных программ и модулей системы входит функционал, который перекрывает области действия вышеуказанных подсистем. С точки зрения внедрения, обслуживания и поддержки более удобно понятие службы, которая реализована в виртуальной среде и функционирует в собственном окружении операционной системы Linux.

Одновременный доступ к данным, расположенным в хранилище, имеют четыре основные службы системы, выполняющие функционал вышеуказанных подсистем. Эти службы работают в отдельных виртуальных контейнерах с полным резервированием. Связь между службами системы осуществляется посредством стека протоколов TCP/IP [Socolofsky, Kale, 1991].

1. Служба управления – сервис, созданный для управления системой. На данном узле развернут большой перечень вспомогательного программного обеспечения, предназначенного исключительно для наладки системы в целом и ее отдельных компонентов. Именно в этой точке администратор системы проводит плановые, аварийные и наладочные работы.

2. Служба обмена данными – сервис, выполняющий роль сборщика данных от сейсмических узлов в рамках концепции ВСС, а также данных поступающих из сервиса AutoDRM, баз данных других сейсмологических центров. Именно здесь функционирует система SEISNET, заданы правила сбора данных. В зону ответственности данного узла входит регистрация поступившей цифровой информации в базу данных SEISAN, запуск пользовательских программ-скриптов, использующих программное обеспечение для автоматического детектирования сейсмических событий (CONDET) и автоматического определения времен вступления и амплитуд сейсмических фаз (AUTOSIG, AUTOPIC). (CONDET, AUTOPIC, AUTOSIG – это часть программного обеспечения SEISAN.)

3. Служба приложений и терминального доступа – основной сервис, обеспечивающий взаимодействие операторов и аналитиков (пользователей) с системой. Пользователи подключаются к узлу терминально с использованием протокола SSH-2 [Ylonen, Lonvick, 2006] и программного обеспечения X Window System [Scheifler, 2012]. Удаленные пользователи, имеющие в качестве операционной системы MS Windows, используют PUTTY [Tatham, 2011] и Xming [Xming X Server for Windows. <http://www.straightrunning.com/XmingNotes/>] для подключений. Здесь пользователям доступен весь функционал программного обеспечения SEISAN, данные хранилища, набор дополнительного программного обеспечения, расположенного в личной директории пользователей.

4. Служба мониторинга – сервис, ориентированный на наблюдение за системой. К числу наблюдаемых элементов относятся каналы связи, количество поступающей информации, результаты работы скриптов, количество терминальных пользователей и т.д. Данный сервис реализован с использованием Web технологий.

Подобный подход в реализации, где каждый сервис со своим кругом задач локализован в виртуальной среде, позволяет сделать систему модульной, что существенно облегчает ее обслуживание и масштабирование. Рабочий цикл данных в системе показан на рис. 2.

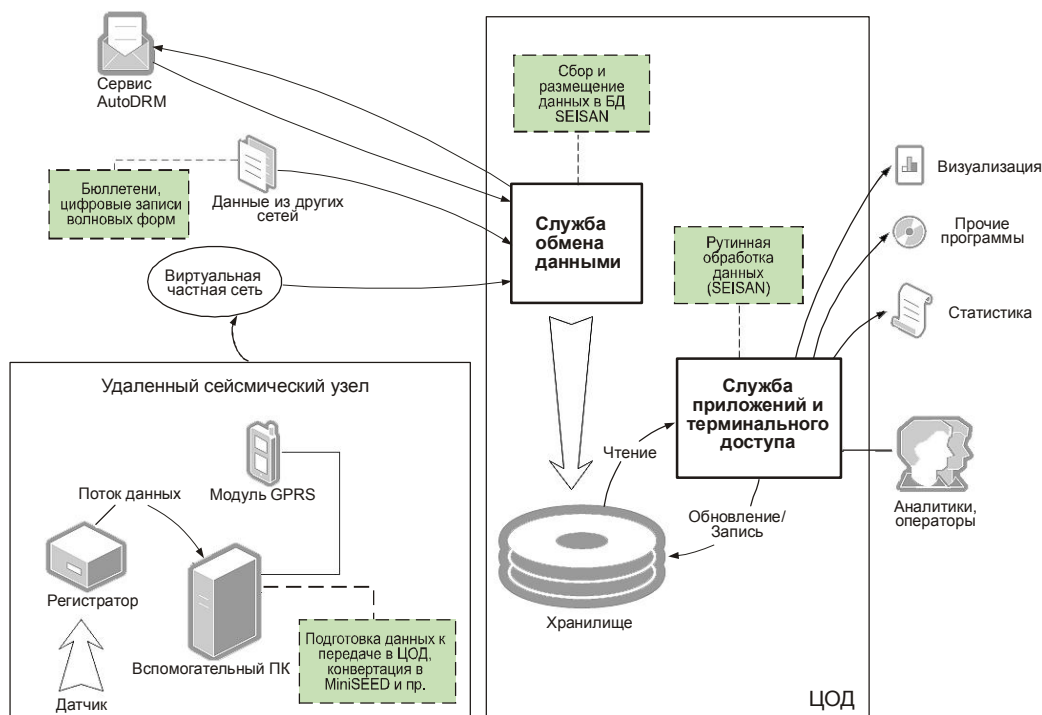


Рис. 2. Рабочий цикл данных в автоматизированной системе

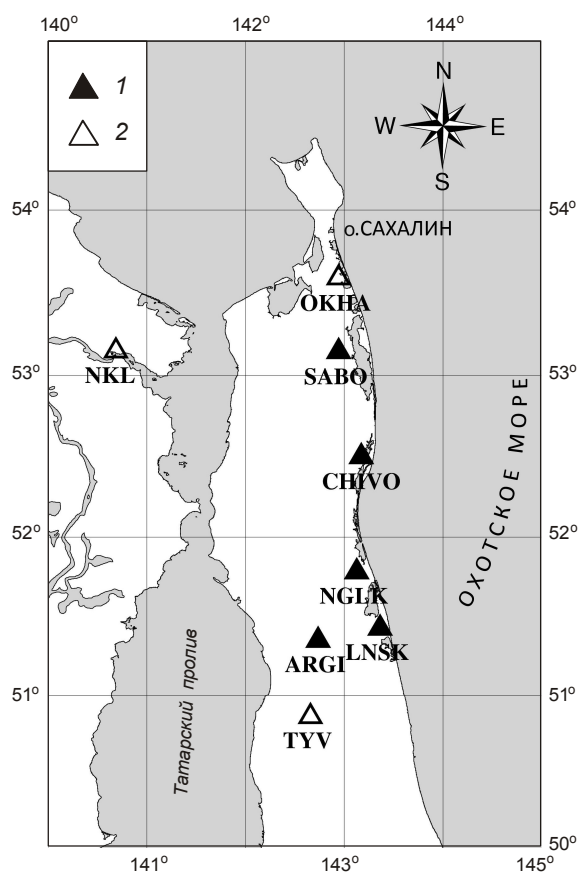


Рис. 4. Локальная сеть сейсмических станций на севере о. Сахалин
1 – станции сейсмического мониторинга; 2 – региональные станции



Рис. 5. Оборудование, расположенное в сеймопавильоне

В качестве сейсмоприемников используются проверенные временем и разными условиями эксплуатации короткопериодные сейсмические датчики LE-3Dlite (Lennartz Electronic, Германия) [Technical Specifications of a LE_3Dlite MKII Seismometer, Lennartz_Electronic. http://www.lennartz_electronic.de]. Сейсмический датчик имеет собст-

венную частоту 1 Гц, а его амплитудно-частотная характеристика на частотах выше собственной частоты колебаний задается постоянным коэффициентом – чувствительностью датчика.

В качестве цифровых регистраторов используются отечественные сейсмические станции Дельта-03 (ООО “ЛогиС”, Россия) [Каталог продукции “ООО Логические Системы”. <http://www.logsys.ru>], которые зарекомендовали себя как надежные и относительно недорогие приборы [Гаврилов и др., 2010]. Шаг дискретизации на всех станциях составляет 125 отсчетов в секунду. Синхронизация времени происходит при помощи встроенного GPS приемника, а формирование опорной частоты часов реального времени осуществляется прецизионным, высокостабильным, термостатированным генератором.

В качестве ПК используется промышленный компьютер модели ECW-281BWD/N270/1Gb [http://www.ieiworld.com/product_groups/industrial/content.aspx?gid=09049552811981014603&id=08330628543982096009&cid=08141362043512651539#.UMZd7M-f9t8]. Эта модель обладает расширенным диапазоном напряжения питания (от 9 до 36 В) и пассивным охлаждением. Использование в качестве накопителя данных твердотельного жесткого диска позволило избавиться от движущихся частей в конструкции и сделать ее нечувствительной к ударам и скачкам напряжения. Рабочий температурный диапазон оборудования составляет от -10 до $+50$ °С, что позволяет эксплуатировать его в более жестких условиях по сравнению с обычными ПК.

Для вспомогательного ПК была выбрана операционная система GNU/Linux. Базовая конфигурация сейсмического узла включает в себя FTP сервер для трансфера данных. Авторами создано приложение, работающее под операционной системой Linux и реализующее протокол взаимодействия с программной частью регистратора Дельта-03, которое запускается по расписанию и загружает данные на жесткий диск ПК. Приложение ведет лог-файл, в котором сохраняется информация о загружаемых файлах и возникающих сбоях. Скорость загрузки данных с регистратора составляет около 200 Кбайт/с при прямом подключении станции к ПК. При такой скорости загрузки непрерывный файл с часовой записью по шести каналам и частотой сбора данных 125 Гц загружается за 1 мин. Для трехканальной записи это время соответствует 30 с.

Для унификации формата регистрируемых данных в рамках системы SEISNET разработанное приложение преобразует файлы, записанные регистратором Дельта-03 в собственных форматах ADB и DDB, в универсальный формат MiniSEEDSteim1. Название часового файла в формате MiniSEEDSteim1 формируется следующим образом: ГГГГ-ММ-ДД-ЧЧмм-СС.НННН_ККК, где ГГГГ – год, ММ – месяц, ДД – день, ЧЧ – час, мм – минута, СС – секунда, I – идентификатор формата файла (в нашем случае I = M, что соответствует формату MiniSEED), НННН – сокращенное символьное наименование станции (не более пяти символов на английском языке) и ККК – количество каналов. Перечисленные временные индикаторы соответствуют началу записи очередного фрагмента файла (например: 2011-01-01-0000-00M.ARG1_003).

Запись регистрируемых данных с сейсмической станции на ПК осуществляется в директорию, указанную в конфигурационном файле приложения config.cfg. К директории с архивом цифровых записей в формате MiniSEED открыт доступ по протоколу FTP для дальнейшей передачи данных. Файлы организованы в “плоскую” структуру, все файлы расположены в одной директории. По умолчанию в конфигурационном файле задан путь: /var/archive.

Лог-файлы приложения хранятся в отдельной папке.

В качестве модема используется 3G роутер OnCell5104 [Moxa Cellular Router. http://www.moxa.com/product/oncell_5004_5104.htm]. Устройство объединяет в себе

3G-модем с возможностью установки двух сим-карт, маршрутизатор и VPN-роутер. Роутер автоматически подключается к сети GSM, распределяет адреса устройствам в локальной сети наблюдений, перенаправляет пакеты данных из локальной сети в Интернет и создает VPN канал с сервером ЦОД. Это упрощает набор программного обеспечения на компьютере станции и снижает нагрузку на него. Роутер работоспособен в диапазоне температур от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для обеспечения электропитания оборудования использован источник вторичного питания резервированный SKAT-V.12DC-18 [Руководство по эксплуатации SKAT-V.12DC-18 исп. 5000. http://www.bast.ru/bastion/product/pasport/skat_v12dc18_5000.pdf]. Блок бесперебойного питания предназначен для оборудования, работающего от напряжения 12 В. Питание приборов происходит от сети при наличии напряжения. При отключении сетевого напряжения блок автоматически переключает питание на аккумулятор. Это позволяет работать в условиях нестабильного электроснабжения и экономить ресурс аккумуляторной батареи. Высокая нагрузочная способность этой модели блока питания позволяет подключать к нему весь комплект оборудования, оставляя значительный запас мощности, и быстро заряжать аккумулятор большой емкости при восстановлении электроснабжения.

Информация с региональной станции NKL в виде станционного бюллетеня поступает в систему путем редактирования файлов базы данных SEISAN. В 2009 г. в рамках реализации Целевой комплексной программы фундаментальных научных исследований ДВО РАН “Современная геодинамика, активные геоструктуры и природные опасности Дальнего Востока России” была установлена широкополосная сейсмическая станция [Ханчук и др., 2011]. В 2012 г. на этой станции была существенно модернизирована система передачи данных, что обеспечило исследователей непрерывными потоками инструментальных данных в близком к реальному времени режиме. Цифровые данные со станции поступают в Вычислительный центр ДВО РАН.

Информация с региональных станций TYV и ОКНА поступает в режиме реального времени в Сахалинский филиал Геофизической службы РАН (СФ ГС РАН). В базу данных системы эти данные поступают в отложенном режиме при помощи ручного добавления в архив после конвертации данных в формат MiniSEED.

В будущем планируется более тесная интеграция региональных и международных сейсмологических сетей для организации единой системы сейсмического мониторинга на севере о. Сахалин.

Можно с точностью до 100 Мбайт оценить объем данных, который будет поступать в систему из локальной сети наблюдений за один год на основе технических характеристик регистрирующей аппаратуры, а также на основе опыта работы с цифровыми форматами данных.

Одна станция, которая имеет три канала для записи, генерирует около 1500 байт/с необработанных данных. Следовательно, восемь станций будут генерировать около 12000 байт/с необработанных данных. Исходя из изложенного выше, в сутки получим следующий объем данных:

$$\frac{(1200 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24)}{1024^3} \sim 0.97 \text{ Гбайт/сут.}$$

В ИМГиГ ДВО РАН повсеместно используется формат MiniSEED. Для унификации исходных данных все волновые формы конвертируются в этот формат. На практике конвертация необработанных данных в формат MiniSEED позволяет осуществить сжатие с коэффициентом 0.67. Следовательно, за год от восьми станций получим около 237.25 Гбайт данных в формате MiniSEED.

Выводы

Разработана новая архитектура системы обработки сейсмологических данных, которая в автоматизированном режиме позволяет собирать данные с удаленных сейсмических станций, организовывать непрерывные потоки информации в базе данных, выполнять рутинную обработку инструментальных данных. Специалистам-сейсмологам предоставлен функциональный интерфейс для работы с исходными данными и результатами их обработки.

Благодаря пакету сейсмологических программ SEISAN/SEISNET, операционной системе Linux и виртуализации на базе XEN, реализованная в центре обработки данных ИМГиГ ДВО РАН система обладает широкими возможностями масштабирования, высокой надежностью, отличается модульностью архитектуры. Отдельные модули (службы) в будущем могут быть перенесены на другое более мощное аппаратное обеспечение без остановки работы всей системы. Вместе с тем такой элемент системы, как удаленный узел, гарантирует передачу данных даже при нестабильном канале связи, что актуально для текущих условий работы локальной сети сейсмических станций.

Таким образом, на базе отечественных элементов сейсмологического оборудования и специально разработанных программ создана гибкая архитектура, которая способна адаптироваться под широкий круг задач современной сейсмологии. В настоящий момент данная архитектура внедрена в ИМГиГ ДВО РАН в рамках системы сейсмического мониторинга на севере о. Сахалин. Дальнейшее развитие реализованной системы создаст надежную опору для интеграции локальной сети станций о. Сахалин с международными и региональными сейсмологическими сетями.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективу сейсмологов Отделения наук о Земле Бергенского университета (Норвегия), которые разработали пакет сейсмологических программ SEISAN/SEISNET и предоставили его в открытом доступе и в исходном коде.

Литература

- Булгаков Р.Ф., Иващенко А.И., Ким Ч.У., Сергеев К.Ф., Стрельцов М.И., Кожурин А.И., Бестрашинов В.М., Стром А.Л., Судзуки Й., Цуцуми Х., Ватанабе М., Уеки Т., Шимимото Т., Окумура К., Гото Х., Кария Й. Активные разломы Сахалина // Геотектоника. 2002. № 2. С.66–86.
- Гаврилов А.В., Коновалов А.В., Никифоров С.П. Результаты полевых и стационарных испытаний регистратора сейсмических сигналов “Дельта 03” // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46, № 3. С.18–28.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Синицын В.И., Шевченко Ю.В., Яцук В.В. Система сейсмологических наблюдений на камчатке // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С.6–27.
- Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Т. 3, № 46. С.22–34.
- Коновалов А.В., Семенова Е.П., Сафонов Д.А. Результаты детального изучения очаговой зоны землетрясения 16 марта 2010 года ($M_w=5.8$) на северо-западе о. Сахалин // Вулканология и сейсмология. 2012. № 4. С.37–49.
- Коновалов А.В., Степнов А.А., Патрикеев В.Н. Организация автоматизированного рабочего места сейсмолога с использованием пакета сейсмологических программ SEISAN // Сейсмические приборы. 2011. Т. 47, № 4. С.34–49.
- Коновалов А.В., Сычев А.С., Гаврилов А.В. Детальные сейсмологические наблюдения на севере Сахалина с целью обнаружения техногенных землетрясений // Проблемы сейсмичности и

- современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: Докл. науч. симпоз., 1-4 июня 2010, г. Хабаровск / Под ред. В.Г. Быкова, А.Н. Диденко. Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2010. С.126–129.
- Сорокин А.А., Королев С.П., Михайлов К.В., Коновалов А.В.* Автоматизированная информационная система оценки состояния сети инструментальных сейсмологических наблюдений “Сигнал-С” // Информатика и системы управления. 2010. № 4 (26). С.161–167.
- Ханчук А.И., Коновалов А.В., Сорокин А.А., Королев С.П., Гаврилов А.В., Бормотов В.А., Серов М.А.* Инструментальное и информационно-технологическое обеспечение сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 3. С.127–137.
- Харахинов В.В.* Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Науч. мир, 2010. 276 с.
- Barham P., Dragovic B., Fraser K., Hand S., Harris T., Ho A., Neugebauer R., Pratt I., Warfield A.* Xen and the Art of Virtualization // 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles, 2003. P.164–177. <http://www.cl.cam.ac.uk/research/srg/netos/papers/2003-xensosp.pdf>
- Colp P., Nanavati M., Zhu J., Aiello W., Coker G., Deegan T., Loscocco P., Warfield A.* Breaking Up is Hard to Do: Security and Functionality in a Commodity Hypervisor // 23rd ACM Symposium on Operating Systems Principles, 2011. P.189–202. <http://www.cs.ubc.ca/~andy/papers/xoarsosp-final.pdf>
- Hanka W., Heinloo A., Jäckel K.-H.* Networked Seismographs: GEOFON Real-Time Data Distribution // ORFEUS Electronic Newsletter. 2000. V. 2/3. <http://www.orfeus-eu.org/Organization/newsletter.html>.
- Johnson C.E., Bittenbinder A., Bogaert B., Dietz L., Kohler W.* Earthworm: A flexible approach to seismic network processing // IRIS Newsletter. 1995. V. 14(2). P.1–4.
- Katsumata K., Kasahara M., Ichiyonagi M., Kikuchi M., Rak-Se Sen, Chun-Un Kim, Ivaschenko A., Tatevossian R.* The 27 May 1995 M_s 7.6 Northern Sakhalin earthquake: an earthquake on an uncertain plate boundary // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2004. V. 94, N 1. P.117–130.
- Kradolfer U.* AutoDRM – The First Five Years // Seismol. Res. Lett. 1996. N 67. P.30–33.
- Mushran S.* OCFS2 A Cluster File System For Linux User’s Guide For Release 1.4. 2008. https://oss.oracle.com/projects/ocfs2-tools/dist/documentation/v1.4/ocfs2-1_4-usersguide.pdf
- Ottmøller L., Voss P., Havskov J.* SEISAN earthquake analysis software for Windows, Solaris, Linux and MacOSx. 2011. <https://www.uib.no/rg/geodyn/artikler/2010/02/software>.
- Ottmøller L., Havskov J.* SEISNET: A general purpose virtual seismic network // Seismol. Res. Lett. 1999. N 70. P.522–528.
- Ottmøller L., Havskov J.* SEISNET: Seismic Network Automation Software, Version 2.3.1. 2004. ftp://billy.geo.uib.no/pub/seismo/SOFTWARE/SEISNET/seisnet_2.3.1.pdf
- Padovano M.* System and method for accessing a storage area network as network attached storage, US Patent No. 6606690. 2003.
- Postel J., Reynolds J.* File Transfer Protocol (FTP), STD9, RFC 959, USC/ISI, 1985. <http://tools.ietf.org/pdf/rfc959>.
- Satran J., Meth K., Sapuntzakis C., Chadalapaka M., Zeidner E.* Internet Small Computer Systems Interface (iSCSI). RFC 3720, 2004. <http://tools.ietf.org/pdf/rfc3720>.
- Scheifler R.W.* X Window System Protocol. X Consortium Standard. X Version 11, Release 7.7. Version 1.0. 2012. <http://www.x.org/releases/X11R7.7/doc/xproto/x11protocol.html>
- Socolofsky T., Kale C.* A TCP/IP Tutorial. RFC 1180, 1991. <http://tools.ietf.org/pdf/rfc1180>
- Stallman R.* Linux and the GNU System. 2012. <http://www.gnu.org/gnu/the-gnu-project.html>
- Tatham S., Dunn O., Harris B., Nevins J.* PuTTY: A free Telnet/SSH client. 2011. <http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty>.
- Utheim T., Havskov J.* The Seislog data acquisition system, Version 8.44. Guide to installation, maintenance and daily operation of the system. 1999. ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/SOFTWARE/SEISLOG/QNX/seislog_manual_8.44.pdf.
- Weber B., Becker J., Hanka W., Heinloo A., Hoffmann M., Kraftet T., Pahlke D., Reinhardt J., Saul J., Thoms H.* SeisComp3 – automatic and interactive real-time data processing // Geophys. Res. Abstr. 2007. V. 9. 09219.
- Ylonen T., Lonvick C.* The Secure Shell (SSH) Authentication Protocol. RFC 4252, 2006. <http://tools.ietf.org/pdf/rfc4252>.

Сведения об авторах

СТЕПНОВ Андрей Александрович – аспирант, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б. Тел.: 8(908)446-50-04. E-mail: myjamm@gmail.com

ГАВРИЛОВ Александр Викторович – младший научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б. Тел.: 8(962)153-49-88. E-mail: gavrilov@imgg.ru

КОНОВАЛОВ Алексей Валерьевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б. Тел.: 8(962)154-61-11. E-mail: konovalov@imgg.ru

ОТЕМОЛЕР Ларс – адъюнкт-профессор, Отделение наук о Земле, Бергенский университет. Allengt. 41 5007, Bergen, NORWAY. Тел.: +47-5558-2616. E-mail: lars.ottemoller@geo.uib.no

New architecture of earthquake data acquisition, storage and processing system

A.A. Stepnov¹, A.V. Gavrilov¹, A.V. Konovalov¹, L. Ottemöller²

¹ *Institute of Marine Geology & Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

² *University of Bergen, Department of Earth Science, Bergen, Norway*

Abstract. The features of new architecture of the automated system for earthquake data acquisition, storage and processing are reviewed in detail. The system is based on SEISAN/SEISNET software. The specific technologies and software are shown in interconnection. The functionality of the system and data life-cycle are presented. An example of the new architecture implementation to the existing seismic monitoring network in the northern part of Sakhalin Island is considered.

Keywords: automated system, data acquisition, seismic network, earthquake, SEISAN, SEISNET, Linux, data base, data life-cycle, telemetry.