

УДК 550.380.3

Программная реализация удалённого управления процессами регистрации и оперативной передачи геомагнитных измерений

© 2016 г. Ф.В. Передерин¹, И.М. Алешин^{1,2}, К.И. Холодков¹,
С.С. Бургучев¹, А.А. Соловьев²

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

² Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия

Описана реализация системы сбора геомагнитных данных, обеспечивающей возможность передачи в режиме реального времени, а также удаленное управление устройствами регистрации. Использование специализированных протоколов для оперативной передачи данных не только минимизирует накладные расходы на передачу служебной информации, но и обеспечивает стабильную трансляцию даже по неустойчивым каналам связи. Удаленное управление устройствами регистрации существенно упрощает их обслуживание и мониторинг.

Ключевые слова: геомагнитные измерения, оперативная передача данных, miniSEED, SeedLink, REST API.

PACS: 93.85.Bc

Введение

До недавнего времени частота регистрации текущего значения геомагнитного поля на большинстве магнитных обсерваторий составляла один отсчет в минуту, а допустимое время задержки – десятки минут. Технически это позволяет использовать для оперативной передачи данных простые текстовые форматы и интернет-протоколы общего назначения, такие как FTP (File Transfer Protocol), HTTP (HyperText Transfer Protocol) и даже SMTP (Simple Mail Transfer Protocol). В настоящее время увеличивается число магнитных обсерваторий, в том числе и на территории России [Soloviev *et al.*, 2015], растет также частота оцифровки в магнитных измерениях – значительное число станций в составе международной сети INTERMAGNET (<http://www.intermagnet.org>) осуществляют секундную регистрацию. Поэтому для хранения и передачи данных, объём которых возрастает и непременно будет возрастать в дальнейшем, целесообразно перейти к использованию специализированных, существенно более компактных форматов данных и соответствующим эффективным протоколам их передачи.

Наибольший практический интерес представляют данные обсерваторий, размещённых в полярных областях, где геомагнитные вариации максимальны. На практике удалённость расположения обычно означает отсутствие стабильного электроснабжения, наличие ограничений на пропускную способность и качество каналов связи, а также затруднённый физический доступ к оборудованию. Это делает задачу создания универсальной системы регистрации геомагнитных данных, обеспечивающей локальное хранение, оперативную передачу данных, мониторинг состояния системы, а также удаленное управление всеми компонентами при минимальном энергопотреблении еще более актуальной.

При разработке такой системы оказалось удобным выделить три компонента (рис. 1): модуль оперативной передачи данных, модуль управления и мониторинга системы и модуль пользовательского интерфейса, обеспечивающего удаленное управление устройствами. Ниже приведено описание назначения каждого из компонентов и пример их практической реализации для магнитометра POS-1 [Сапунов и др., 2003].

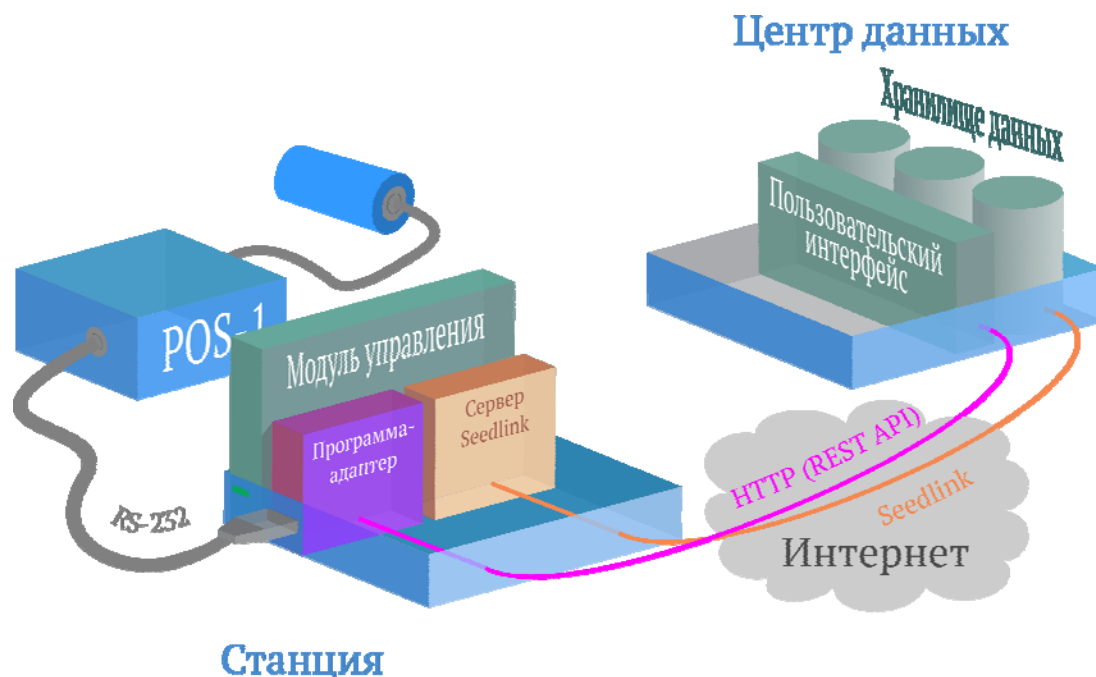


Рис. 1. Схема системы оперативной регистрации и управления оборудованием. Основные компоненты схемы размещаются непосредственно на компьютере, управляющем работой измерительной аппаратуры (модуль управления, сервер передачи данных, программа-адаптер). Пользовательский интерфейс, через который обеспечивается управление оборудованием, может располагаться, вообще говоря, в любом месте, например, в центре хранения данных

Модуль оперативного сбора данных

Регистрация данных в режиме реального времени подразумевает, что получаемые с датчика данные измерений, тут же передаются в центр обработки и хранения данных. При этом необходимо обеспечить гарантированную доставку данных по любым каналам связи, включая нестабильные и каналы со слабой пропускной способностью. Описанные проблемы не имеют простого и технологичного решения при использовании протоколов общего назначения, таких как HTTP, FTP и их разновидностей. Во-первых, применение стандартных протоколов передачи данных подразумевает значительные накладные расходы на передачу служебной информации. Во-вторых, стандартные программные реализации клиентов и серверов для протоколов общего назначения ориентированы на решение максимально широкого круга задач и не используют особенностей передаваемых данных.

Поэтому в нашей разработке использован протокол SeedLink (<http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/services/seedlink/>) – протокол передачи данных, созданный для обеспечения оперативной передачи сейсмических записей [Ильинский и др., 2011]. Протокол обеспечивает устойчивость передачи данных даже в условиях нестабильной связи. Технически протокол основан на формате SEED (<http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/data/formats/>), а именно на “подформате” miniSEED. MiniSEED хранит фрагменты временных рядов для одного или нескольких каналов в двоичном виде и предусматривает сжатие без потерь. Это делает возможным применение этого формата для передачи и магнитных данных.

Компактность и блочная структура томов miniSEED является основой эффективной передачи данных в режиме реального времени, что и реализовано в протоколе SeedLink. В этом протоколе передача miniSEED-томов осуществляется поверх протокола TCP (Transmission Control Protocol). Достоинства такой схемы очевидны: протокол TCP гарантирует доставку данных, исключает дублирование и решает ряд других

технических проблем. Кроме того, размер блока оптимизирован для целей передачи данных, в том числе при использовании нестабильных каналов с низкой пропускной способностью. Блочная структура формата приводит к тому, что потеря части файла не сказывается на чтении сохранившихся блоков.

Имеется большое количество программного обеспечения, созданного для поддержки протокола Seedlink, которое существенно упрощает создание приложений и служб, использующих этот протокол. Это обстоятельство является важным аргументом использования этого протокола в нашей разработке. В данной работе использовалась реализация сервера протокола Seedlink из пакета SeisComp3 (<https://www.seiscomp3.org/>). Созданная нами программа-адаптер при помощи библиотеки libmseed преобразует данные, поступающие от магнитометра, в формат miniSEED (<http://www.iris.edu/hq>) для оптимального сопряжения с сервером Seedlink.

Модуль оперативной передачи данных функционирует следующим образом. Данные с магнитометра по последовательному интерфейсу RS-232 передаются серверу регистрации на вход программы-адаптера, где преобразуются в формат miniSEED. Затем по именованному потоку (“named pipe” или “fifo”, в зависимости от операционной системы) данные заносятся в кольцевой буфер SeedLink-сервера. Отметим, что именно наличие кольцевого буфера в протоколе SeedLink обеспечивает внешний оперативный доступ к данным. Для получения данных SeedLink-клиент, размещенный в дата-центре, инициирует соединение с SeedLink-сервером станции регистрации.

В отличие от привычной схемы, сервером здесь является именно регистратор, к которому для получения данных может подключаться одновременно несколько SeedLink-клиентов. Компьютер-клиент, получающий данные, может выступать в роли SeedLink-сервера, что существенно упрощает организацию сетевых наблюдений: сбор данных с ближайших станций может осуществляться по локальным каналам связи локальным дата-центром, на котором реализовано достаточно стабильное (например, спутниковое) соединение. Такое решение актуально также в связи с ограниченным адресным пространством интернет-протокола четвертой версии. Дефицит сетевых адресов привел к широкому распространению технологии трансляции сетевых адресов (NAT, Network Address Translation), который позволяет транслировать несколько частных IP-адресов в один внешний, ограничивая, тем самым, доступ к узлам частной сети извне. Уменьшение числа вещающих серверов внутри NAT, очевидно, упрощает организацию внешнего доступа к данным.

Модуль управления и мониторинга

Модуль управления и мониторинга обеспечивает удаленное управление всеми устройствами: осуществляется настройка параметров датчика, АЦП и прочих компонентов, запуск и остановку регистрации, а также восстановление функционирования при сбоях. Кроме этого, в задачу модуля входит мониторинг процесса регистрации, оперативное обнаружение нештатных ситуаций с возможным анализом и выявлением причин их возникновения.

Как и в задаче передачи данных, существует ряд универсальных инструментов, пригодных для удаленного управления, таких как, например, TeamViewer, VNC и ряда других. С их помощью можно получить доступ непосредственно к программному интерфейсу регистратора, что формально решает задачу. Однако, как и при использовании стандартных сетевых протоколов для передачи временных рядов, излишняя универсальность решения приводит к необоснованному потреблению ресурсов, не отменяя при этом необходимости разработки специальных средств мониторинга состояния системы, автоматического оповещения возникновения нештатных ситуаций и пр. Поэтому нами было разработано специализированное программное обеспечение, непосред-

венно реализующее удаленные мониторинг и управление устройствами регистрации геомагнитных данных.

Важную часть модуля управления составляет веб-ориентированный программный интерфейс, задачей которого является получение управляющих команд и команд оценки состояния по протоколу HTTP в формате REST API (<http://www.restapitutorial.com/>). Команды, поступающие в модуль управления, можно разделить на две группы. Первая группа команд реализует управление регистратором. Они конвертируются модулем управления в систему команд регистратора по асинхронному интерфейсу (в нашем случае – RS-232) и отправляются на выполнение. Вторая группа команд реализует системные запросы, которые позволяют считать внутреннее состояние комплекса регистрации. Для этого в памяти модуля управления содержатся актуальные конфигурации регистратора и модуля передачи данных, история выполненных команд и измеренные значения магнитного поля за несколько последних часов.

Отметим два важных момента, связанных с этим. Первое – интерфейс взаимодействия с модулем управления является программным, это означает, что он предназначен для взаимодействия между модулями, а взаимодействие непосредственно с пользователем реализует модуль пользовательского интерфейса. Второе – связка HTTP и REST API не обязательна, но крайне удобна по причине поддержки большим количеством программных библиотек, ориентированных на манипулирование данными. Фактически, описание REST-объекта в программе сводится к указанию его URI (англ. Uniform Resource Identifier, унифицированный идентификатор ресурса), а создание объекта, его получение, обновления и удаления осуществляются функциями в составе библиотеки (как, например, это делает Backbone.JS (<http://backbonejs.org>)).

Пользовательский интерфейс

Модуль пользовательского интерфейса представляет собой веб-приложение, задачей которого является предоставление удобного пользовательского интерфейса для отправки управляющих команд и отображение внутреннего состояния комплекса регистрации. Основой сервера является платформа NodeJS (<https://nodejs.org>) – реализация среды выполнения JavaScript. NodeJS поддерживает различные операционные системы и аппаратные архитектуры, благодаря чему веб-сервер является полностью кросс-платформенным. Клиентская составляющая веб-приложения реализована в формате одностраничного приложения (single page application) – все данные обновляются автоматически, без перезагрузки страницы. В основе клиентской составляющей лежит библиотека MarionetteJS (<http://marionettejs.com>). Поступающие с клиентской части запросы на выполнения команд обрабатываются веб-сервером и переадресуются в модуль управления.

Описанная схема удаленного управления была реализована нами для магнитометра POS-1 (<http://magnetometer.ur.ru/content/view/15/9/lang,ru/>). Разработанный пользовательский интерфейс модуля управления предоставляет возможность отображения состояния канала связи и состояния регистрации, управления режимами магнитометра, изменения частоты измерений. Кроме этого доступны: запуск диагностических процедур, изменение параметров передачи измерений в сервер протокола seedlink, управление режимом сниженного энергопотребления, корректировки времени магнитометра, диапазона, информация об устройстве (рис. 2). Ещё одной функцией пользовательского интерфейса является отображение диагностического журнала (рис. 3). Журнал позволяет контролировать состояние магнитометра и обнаруживать нештатное поведение в случаях, когда это необходимо. Кроме этого пользовательский интерфейс отображает график измеряемой величины, что позволяет оперативно оценивать условия установки и качество измерений (рис. 4).

MagState Control Panel

The values here are updated in real time ☐

Property Name	Property Value
Device Status Updated	Jun 14, 2016 4:00 PM Force device update
Commands in queue	0
Registration Status	Running Stop
Sampling Interval (ms)	1000
Device time correction interval	
Diagnostics	General Sampling test
MiniSEED settings	Edit
Stand By	Off Turn on
Device Time	Jun 14, 2016 4:00 PM Fix
Range (pT)	[54400, 56700]
	Center range (pT)
	Apply
ENQ	MagState version 3.03
About	MagState version 3.03 Quantum Magnetometry Laboratory Urals State Technical University Copyright 2013.

Рис. 2. Вид управляющей части пользовательского интерфейса, на ней отображается состояние канала связи и состояние регистрации, а также присутствуют средства управления режимами магнитометра и изменения частоты измерений

MagState Diagnostics

The service log is updated in real time ☐

```

Urals State Technical University
Copyright 2013.'
12:17:32 PM [DEBUG] PosDevice is reading pending response messages...
12:17:32 PM [DEBUG] PosDevice got response message, raw size = 13, de
coded size = 9...
12:17:32 PM [DEBUG] PosDevice response messages: 1 messages read in t
otal.
12:17:32 PM [DEBUG] PosDevice is reading pending response messages...
12:17:32 PM [DEBUG] PosDevice got response message, raw size = 5, de
coded size = 5...
12:17:32 PM [DEBUG] PosDevice response messages: 1 messages read in t
otal.
12:17:32 PM [INFO] Executed.
12:17:37 PM [INFO] Preparing command RUN...
12:17:37 PM [INFO] Executing command RUN with { intervalMilliseconds:
30000 (converted to 30) }...
12:17:42 PM [INFO] Executed.
12:17:42 PM [DEBUG] PosDevice is reading pending response messages...
12:17:42 PM [DEBUG] PosDevice got response message, raw size = 17, de
coded size = 13...
12:17:42 PM [DEBUG] PosDevice got response message, raw size = 22, de
coded size = 22...
12:17:42 PM [DEBUG] PosDevice response messages: 2 messages read in t
otal.
12:17:42 PM [DEBUG] Flushing samples cache (2 samples)...
12:17:42 PM [DEBUG] Done flushing.
12:17:42 PM [DEBUG] PosDevice is reading pending response messages...

```

Рис. 3. Вид диагностической части пользовательского интерфейса – диагностического журнала

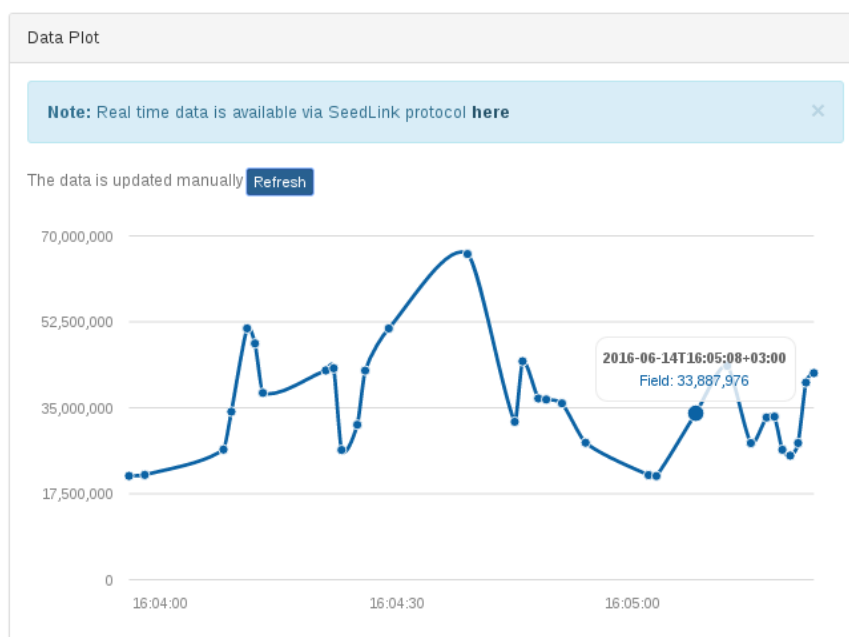


Рис. 4. Вид мониторинговой части пользовательского интерфейса – графика измеряемой величины

Заключение

При создании службы геомагнитных наблюдений достаточно большое внимание было уделено возможности последующего ее развития, адаптации к различным регистраторам. Например, использование магнитометра другого производителя потребует крайне незначительных доработок. Наиболее существенные изменения потребуются внести в пользовательский интерфейс модуля управления и, в меньшей степени, программы-адаптера. Все программные компоненты комплекса регистрации являются кросс-платформенными. Это означает, с одной стороны, что программная реализация модулей не зависит от типа используемой операционной системы. С другой стороны, система может функционировать на компьютерах как с традиционной архитектурой x86, так и на энерго-эффективных платформах с архитектурой ARM. В процессе тестирования мы использовали в качестве регистратора как стандартную рабочую станцию, так и компактный компьютер BeagleBone Black (<https://beagleboard.org/black>) на базе архитектуры ARM с пониженным энергопотреблением (порядка 1–3 Вт). Разработанный комплекс оптимизирован по производительности для работы с ограниченными ресурсами и корректно функционирует в таких условиях. Разработано программное и аппаратное решение для регистратора данных, которое может быть использовано в сети ИНТЕРМАГНЕТ наряду с существующими решениями.

Литература

- Ильинский Д.А., Алешин И.М., Бургучев С.С., Корягин В.Н., Холодков К.И., Маркис Я., Папуля И., Цамбас А. Опыт создания портативной автономной сейсмологической станции, работающей по протоколу реального времени // Сейсмические приборы. 2011. Т. 47, № 1. С.52–67.
- Сапунов В.А., Денисов А.Ю., Савельев Д.В., Хомутов С.Ю., Кусонский О.А., Долманский Ю.К., Rasson J.L. Абсолютный Оверхаузеровский магнитометр POS-1 и опыт его применения на магнитных обсерваториях // Метрологические основы магнитных наблюдений Сибири и Дальнего Востока: Сб. докладов. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2003. С.4–13.

Soloviev A., Sidorov R., Krasnoperov R., Gvishiani A., Kudin D., Grudnev A., Khokhlov A. Improvement of geomagnetic observatories in Russia towards INTERMAGNET standard // 26-th IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) General Assembly 2015 “Earth and Environmental Sciences for Future Generations”. Prague, Czech Republic, Prague Congress Centre, 22 June–2 July 2015.

Сведения об авторах

ПЕРЕДЕРИН Фёдор Викторович – научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8(499) 254-89-97. E-mail: crash@ifz.ru

АЛЁШИН Игорь Михайлович – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1; Геофизический центр РАН. 119296, Москва, ул. Молодежная, д. 3. Тел.: 8(499) 254-89-97. E-mail: ima@ifz.ru

ХОЛОДКОВ Кирилл Игоревич – кандидат технических наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8(499) 254-89-97. E-mail: keir@ifz.ru

БУРГУЧЕВ Степан Сергеевич – инженер, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8(499) 254-89-97. E-mail: sburg@ifz.ru

СОЛОВЬЁВ Анатолий Александрович – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Геофизический центр РАН. 119296, Москва, ул. Молодежная, д. 3. Тел.: 8(495) 930-05-46. E-mail: soloviev@gcras.ru

Software solution for remote control and real time geomagnetic data acquisition

F.V. Perederin¹, I.M. Aleshin^{1,2}, K.I. Kholodkov¹,
S.S. Burguchev¹, A.A. Soloviev²

¹ *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

² *Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Abstract. Geomagnetic data acquisition systems often lack modern real time capabilities and manageability features. We have designed and deployed a prototype station with our nouveau software that implements specialized protocols that minimizes the overhead and handles bad network conditions. To ease supervision and control the station's software expose web API with an interface that allows operator to perform basic tasks.

Keywords: geomagnetic measurements, on-line data transmission, miniSEED, SeedLink, REST API.