

УДК 550.380.13, 550.380.87

© И. М. Алешин, В. Г. Гетманов, А. А. Груднев, М. Н. Добровольский, С. Д. Иванов, В. Н. Корягин, Р. И. Красноперов, Д. В. Кудин, Ф. В. Передерин, А. А. Соловьев, К. И. Холодков

КОМПАКТНОЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО СБОРА И ОПЕРАТИВНОЙ ПЕРЕДАЧИ ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

Предложена схема регистрации и передачи данных в режиме реального времени. Схема реализована на базе одноплатного компьютера с ARM-процессором, имеющим малое потребление энергии, небольшой размер и вес. Использован унифицированный подход к регистрации, передаче и хранению данных, основанный на применении протокола SeedLink для взаимодействия между программными компонентами. Этот протокол позволяет также осуществлять оперативную (в режиме реального времени) передачу данных. В сетях IPv4 информационное взаимодействие устройства и центра сбора данных осуществляется по защищенному каналу с использованием технологии виртуальной частной сети. Реализована возможность удаленного управления как самим устройством, так и соединенным с ним измерительным оборудованием. В качестве примера устройство было адаптировано для работы с рядом магнитных вариометров.

Кл. сл.: регистрация данных, оперативная передача данных, ARM-процессор, SeedLink

ВВЕДЕНИЕ

Возросшая производительность обработки информации, увеличение объемов систем хранения, появление и широкое распространение скоростных каналов связи привели к качественным изменениям в информационных технологиях (ИТ). На наш взгляд, эти изменения обусловлены двумя взаимосвязанными обстоятельствами. С одной стороны, широкое распространение компьютерной техники привело к снижению ее доли в общих затратах на создание конечных продуктов, и соответственно возрастанию роли разработчика. С другой стороны, производительность современных компьютеров позволяет существенно повысить уровень абстракции при взаимодействии с аппаратурой, что дает возможность использовать для разработки значительно более простые в применении средства создания программных продуктов. Последние не только обеспечивают доступ к имеющимся ресурсам без необходимости вникать в особенности реализации, но, как правило, предоставляют большой выбор библиотек, содержащих решения широкого круга задач из разных областей знаний. Новые возможности, предоставляемые современными ИТ, кардинально изменили не только требования к информационным продуктам и сервисам, но и подход к их созданию. Простота реализации удаленного доступа к данным и службам, а также передачи информации в реальном времени привели к развитию облачных серви-

сов, обеспечивающих решение ряда задач, включая хранение данных, выполнение вычислений и пр., с использованием удаленных серверов, не требуя от пользователя каких-либо знаний об аппаратной и программной составляющих службы.

К сожалению, такого рода изменения не затронули системы регистрации геомагнитного поля, включая современные разработки, как, например, [1]. Используемое здесь программное обеспечение ориентировано на физический доступ к регистратору по крайней мере для настройки оборудования. Учитывая специфику геомагнитных наблюдений, требующих размещения обсерваторий в удаленных труднодоступных местах, это по крайней мере не упрощает настройку и обслуживание системы. Для передачи данных используются протоколы общего назначения FTP, HTTP, SMTP, возможность использования протоколов реального времени не обсуждается. Как следствие, отсутствуют регулярные средства удаленного мониторинга и удаленного управления оборудованием.

Формально практически все из перечисленных здесь задач, а также ряд других, могут быть решены средствами, предоставляемыми существующими регистраторами. Так, удаленный доступ может быть организован на основе комбинации доступа по протоколу SSH и технологии Virtual Network Computing [2], а небольшой объем передаваемых данных, даже при секундной регистрации вкуче с большой величиной допустимой временной задержки позволяет организовать опе-

ративную трансляцию измерений штатными средствами операционной системы. Однако решения такого рода будут ненадежными, ресурсоемкими, без возможности тиражирования и масштабирования. Поэтому мы в своей разработке изначально отказались от использования каких-либо программных компонент, поставляемых в составе штатного оборудования, заменив их средствами, отвечающими, на наш взгляд, современному состоянию ИТ. Первая реализация программно-аппаратного комплекса регистрации, передачи данных и управления регистрирующим оборудованием [3] была адаптирована для работы с абсолютным магнитометром POS1 [4], [5]. В данной работе представлен результат включения вариометра FGE [6] в разработанную нами схему передачи данных.

Состав регистрирующего комплекса с использованием оборудования фирмы MinGeo схематически изображен на рис. 1. Аналоговый сигнал вариометра преобразуется в цифровой с помощью 24-разрядного АЦП, с точностью привязки отсчетов по времени порядка 0.01 с.

Чтобы повысить точность временных меток до 1 мс можно использовать модуль синхронизации PalmAcq [8]. Дальнейшая обработка данных происходит в регистраторе, который представляет собой компьютер на базе процессора с архитекту-

рой x86 с минимальным потреблением энергии для систем этого типа. В качестве операционной системы используется один из дистрибутивов Linux. Управление компонентами системы, включая запуск, настройку и контроль функционирования, осуществляется проприетарным программным обеспечением, которое также решает задачи сохранения данных, передачи по протоколу FTP и/или HTTP. На данном этапе мы ограничились модификацией последнего компонента в этой схеме. Кроме того, для упрощения тестирования, модуль синхронизации нами не использовался.

СХЕМА ОРГАНИЗАЦИИ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА БАЗЕ ПРОТОКОЛА SeedLink

Аппаратную основу нашего устройства составляет компактный (размер 85.6×53.98×17 мм), недорогой (цена порядка \$20) одноплатный компьютер, построенный на основе процессора с архитектурой ARM (Advanced RISC Machine). Современные системы оснащены многоядерными ARM-процессорами с тактовой частотой порядка 1 ГГц, оперативной памятью объемом до 1 ГБ, сетевыми интерфейсами Ethernet, WiFi, Bluetooth, несколькими разъемами USB и слотом для установки карты в формате Secure Digital.

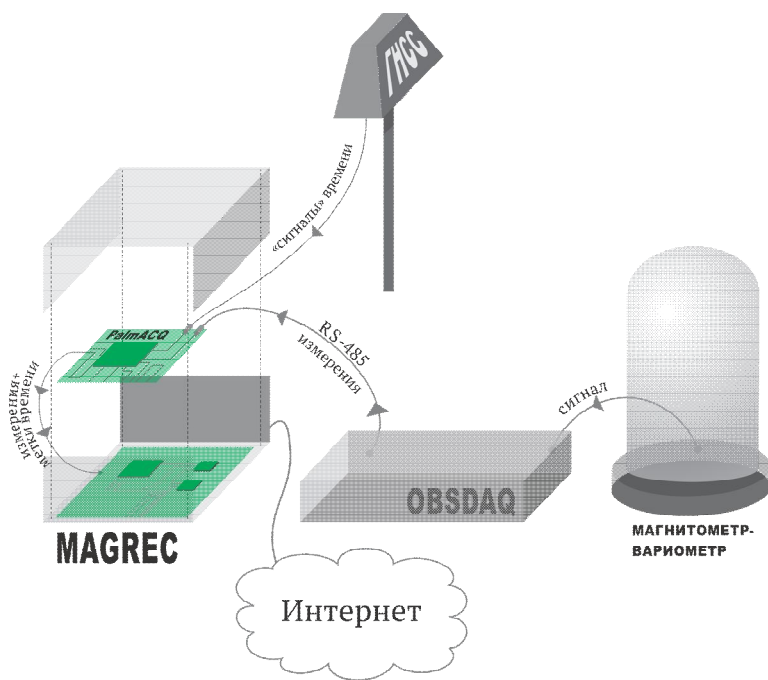


Рис. 1. Схема подключения регистратора Magrec-4.

Измерения магнитометра (в нашем случае это был вариометр FGE [6]) передаются в 24-разрядное АЦП [7]. Результат оцифровки вместе со значениями температур сенсора и электронного блока датчика поступает в блок синхронизации PalmAcq [8], а затем в регистратор [9]

Хотя производительность ARM-процессоров заметно меньше, чем процессоров с архитектурой x86, максимальное потребление составляет всего 3 Вт, что на порядок меньше по сравнению даже с самыми энергоэффективными x86-системами, у которых минимальная потребляемая мощность ~15 Вт. В настоящее время имеется широкий выбор одноплатных компьютеров, среди которых следует упомянуть открытый проект BeagleBone [10], а также продукцию отечественного производителя [11]. Мы использовали продукт от наиболее распространенного производителя Raspberry PI Foundation [12], как и авторы работы [1].

Практически все из перечисленных модификаций ARM-устройств ориентированы на функционирование под управлением операционной системы (ОС). Под ARM адаптированы большинство популярных дистрибутивов Linux, для некоторых платформ доступна ОС Windows 10. Преимущества использования ОС очевидны, главное из которых — доступность штатных инструментов разработки, что существенно упрощает разработку как при создании программного обеспечения, так и при сопряжении с внешними устройствами. При выборе ОС мы остановились на Arch Linux [13], решающим обстоятельством стала возможность тонкой настройки состава установленных пакетов и программ. С целью экономии ресурсов мы стремились обойтись минимальными средствами. В частности, в нашем подходе предполагается, что управление устройствами, изменение настроек и пр. выполняются удаленно с доступом по протоколу SSH, либо из веб-приложения, без обязательного физического доступа к устройству. Это позволяет нам отказаться от использования локальных средств визуализации как программных, так и аппаратных (монитор).

Хотя средства ОС позволяют организовать передачу данных по сетевым протоколам общего назначения, таким как HTTP, FTP и их разновидности, однако стандартные программные реализа-

ции их поддержки ориентированы на решение максимально широкого круга задач без учета их специфики. Нашей задачей является создание системы сбора, локального хранения, а также передачи геомагнитных данных в режиме реального времени. Учитывая возможную удаленность магнитных обсерваторий, система должна обеспечить гарантированную доставку данных по любым каналам связи, включая нестабильные и каналы со слабой пропускной способностью.

Основу нашего решения составляет протокол реального времени SeedLink [14], который широко применяется в сейсмических наблюдениях. Идея функционирования протокола состоит в передаче данных в формате miniSEED [15] средствами протокола TCP (Transmission Control Protocol). Механизм TCP обеспечивает передачу данных, при необходимости устраняет дубликаты, при потере повторяет запрос и уведомляет отправителя о результатах передачи, что в целом гарантирует целостность переданных данных. Имеется несколько программных реализаций серверов и клиентов протокола SeedLink. Мы воспользовались пакетом SeisComp3 [16], разработанным в Центре геофизических исследований (GeoForschungsZentrum), Потсдам, Германия. В состав пакета помимо SeedLink-сервера входит большое количество утилит, удобных для организации непрерывной регистрации данных. Он уже применялся нами ранее для сбора и передачи данных сейсмических [17], накломера [18] и абсолютного магнитометра [3].

Технически оперативная передача данных подразумевает непрерывно функционирующую службу, которая по запросу пользователя предоставляет соответствующий поток данных. В нашем случае такой службой является сервер SeedLink, который транслирует данные, находящиеся в его кольцевом буфере. Последний непрерывно пополняется измерениями, преобразованными в формат miniSEED (см. рис. 2).

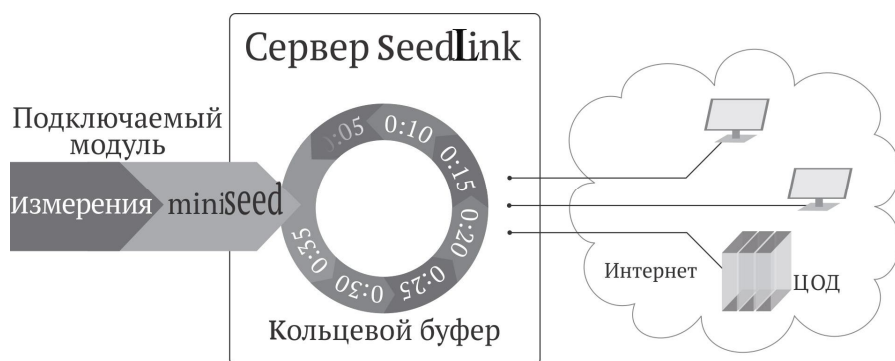


Рис. 2. Схема функционирования сервера оперативной передачи данных.

Измерения передаются на вход модуля "Плагин", где они преобразуются в формат miniSEED. Результат разработки помещается в кольцевой буфер SeedLink-сервера, замещая устаревшие данные. Передача начинается по запросу клиента

Практически весь функционал, реализующий службу, имеется в составе пакета SeisComP, пользователю необходимо лишь обеспечить преобразование потока регистрируемых данных в формат miniSEED. Для этого необходимо создать плагин (plugin) — исполняемый модуль, написанный по определенным правилам. В задачу модуля как раз входит преобразование входных данных в требуемый формат и реализация процедур взаимодействия с SeedLink-сервером. Хотя в составе пакета SeisComP имеется ряд стандартных плагинов, которые можно было адаптировать для работы с магнитометром, оказалось, что их использование неоптимально, т. к. затрудняет настройку системы. Поэтому нами был написан собственный модуль с требуемыми свойствами. Таким образом, при старте компьютера происходит инициализация оборудования, стартует SeedLink-сервер, после чего система готова к регистрации и передаче данных. Для получения данных можно использовать любой SeedLink-клиент, например Geopsy [19], см. рис. 3.

Хотя описанное выше состояние системы решает поставленную задачу получения данных

в режиме реального времени, однако для полноценного функционирования системы стационарной регистрации геомагнитных данных необходимо провести дополнительные настройки как в регистраторе, так и со стороны сервера. Прежде всего требуется реализовать возможность внесения изменений в конфигурацию системы и изменения настроек оборудования, для этого был создан набор скриптов на языке Python. На данном этапе запуск этих скриптов выполняется "вручную", с командной строки, с использованием удаленного доступа по протоколу SSH. В дальнейшем планируется организовать полноценное удаленное управление системой, например, с помощью RESTful web-приложения, аналогично нашей разработке для абсолютного магнитометра POS1 [4].

Еще одной необходимой компонентой системы регистрации является создание и поддержка локального архива регистрируемых данных. Это особенно важно для минимизации риска потери данных при работе в неблагоприятных условиях: удаленное расположение обсерватории, нестабильное электроснабжение, неустойчивые каналы связи. В нашей разработке мы воспользовались

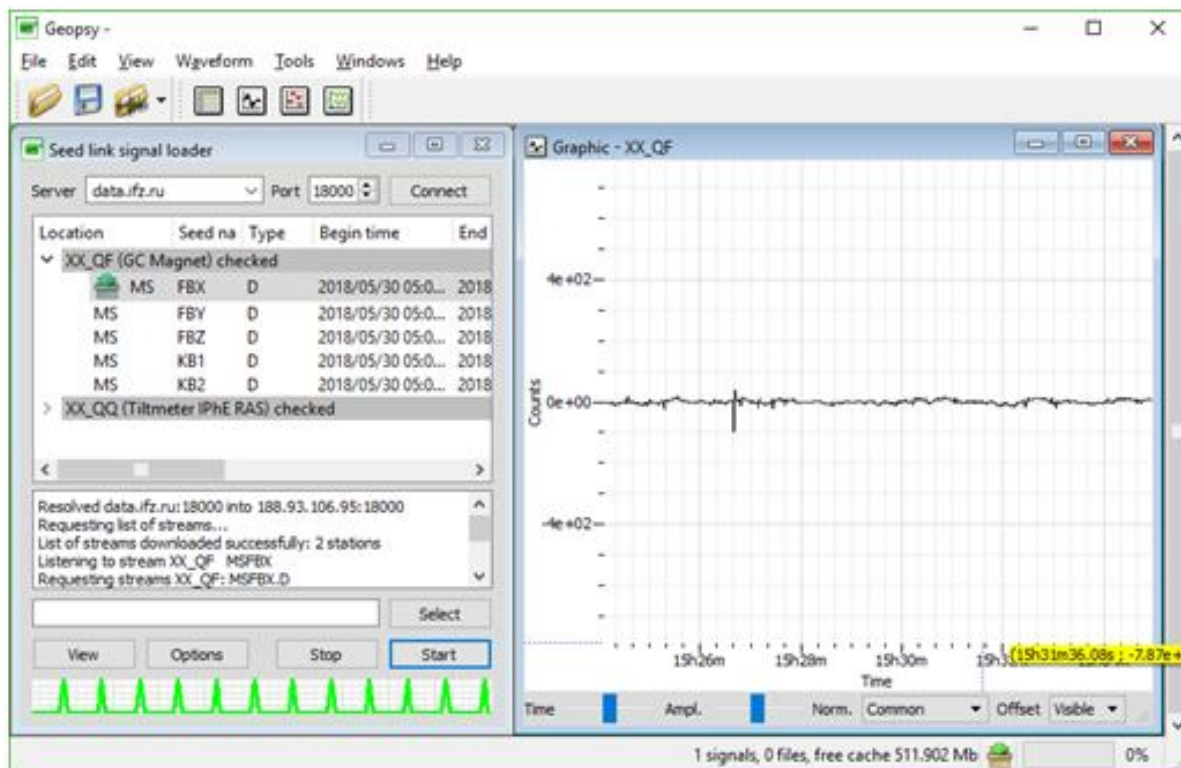


Рис. 3. Снимок экрана свободно распространяемой программы Geopsy [19].

Данные — вариация X-компоненты геомагнитного поля, зарегистрированные тестовой установкой Геофизического центра РАН, принимаются клиентом SeedLink в центре данных ИФЗ РАН

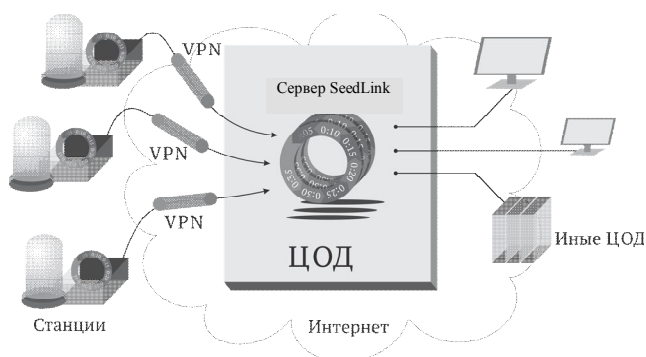


Рис. 4. Схема организации центра обработки данных. Функционирующий в центре SeedLink-сервер ретранслирует данные SeedLink-серверов, обеспечивающих регистрацию данных. Передача осуществляется по защищенному каналу по технологии VPN

утилитой slarchive, входящей в состав пакета SeisComP. Программа slarchive является специализированным SeedLink-клиентом, ориентированным на ведение локального архива данных. Для получения данных, предназначенных к архивации, она подключается к локальному серверу SeedLink. Полученные данные максимально сжимаются и добавляются к архиву, расположенному на локальном носителе. Размер архива определяется на-

стройками утилиты slarchive. Обычно используются суточные архивы для каждой регистрируемой компоненты, число таких архивов зависит главным образом от объема локального хранилища.

В заключение раздела отметим, что локально сохраненные данные используются исключительно как элемент резервного копирования. Создание долговременного архива, а вместе с тем публикация, распространение данных осуществляется непосредственно в центре обработки данных (ЦОД). На рис. 4 приведена возможная схема соответствующей службы, основанной на SeedLink-сервере. Здесь эксплуатируется возможность протокола SeedLink трактовать данные регистраторов как входные каналы сервера, функционирующего в ЦОД. В состав каждого из элементов имеется SeedLink-клиент, который, соединяясь с SeedLink-сервером, обеспечивает доступ к поступающим данным.

Защитить передаваемые данные от несанкционированного доступа можно с помощью технологии частных сетей, см. напр. [20].

РЕАЛИЗАЦИЯ СБОРА ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ НА БАЗЕ ПРОТОКОЛА SeedLink

В качестве демонстрации разработанная нами система сбора данных была использована для ре-

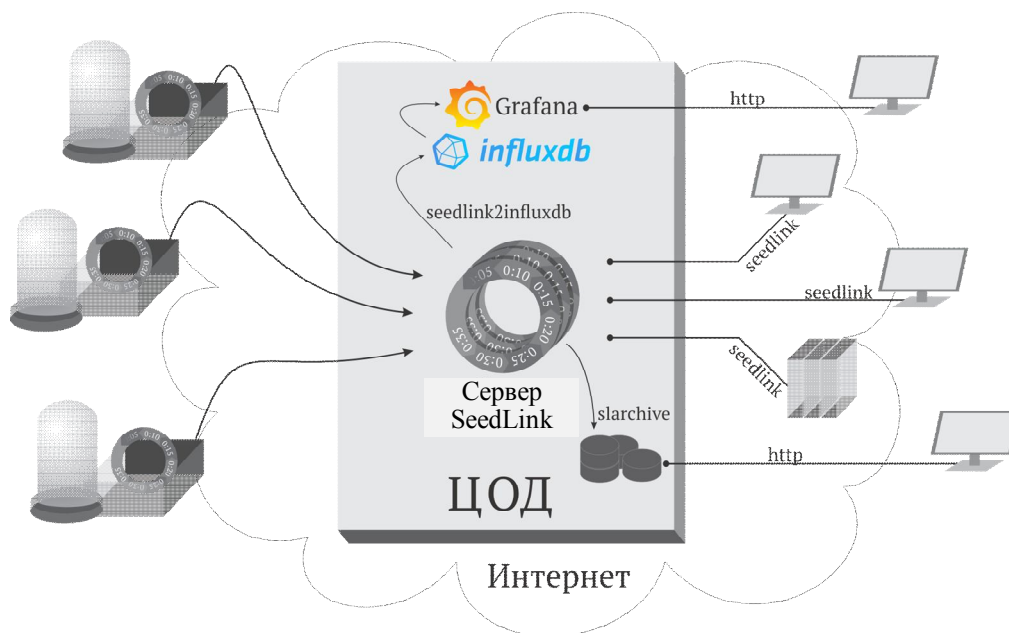


Рис. 5. Схема службы оперативной публикации данных. Необходимой составляющей службы является клиент, предназначенный для получения данных, предоставляемых SeedLink-сервером

гистрации данных вариометра FGE [6], размещенного на территории Геофизического центра РАН (Москва). Для этого в исходной схеме регистрации, изображенной на рис. 1, мы полностью исключили даталоггер MagRec4, заменив его устройством собственной разработки. В качестве аппаратной основы мы использовали одноплатный компьютер RaspberryPI-3B: четырехъядерный ARM-процессор с тактовой частотой — 1.2 ГГц, оперативной памятью — 1 ГБ, максимальной потребляемой мощностью — 2.4 Вт. Операционная система, специализированное программное обеспечение и локальный архив хранятся на SD-карте. Данные, поступающие из АЦП, захватываются разработанным нами плагином, который преобразует их в формат miniSEED, и передаются на вход SeedLink-сервера. Таким образом, мы получаем пять временных рядов в формате miniSEED: три компоненты вариаций магнитного поля с частотой дискретизации 10 Гц, температура внутри сенсора вариометра и температура внутри его электронного блока — с частотой дискретизации 1 Гц. Для обмена информацией с ЦОД используется защищенный VPN-канал, созданный с использованием

свободно распространяемого пакета OpenVPN [21].

Данные измерений передаются в ЦОД, размещенный в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (Москва), все последующие манипуляции с ними осуществляются в этом центре. Как было описано выше, в ЦОД функционирует экземпляр сервера SeedLink, который, выступая в роли клиента, получает оперативные измерения со всех доступных ему регистрирующих устройств, включая данные интересующего нас вариометра. В то же время SeedLink-сервер обеспечивает доступ к полученным им данным всем локальным службам, функционирующим в ЦОД. Рассмотрим в качестве примера схему функционирования службы оперативной визуализации данных (см. рис. 5).

Компонент службы, обеспечивающий поступление оперативных данных, представляет собой SeedLink-клиент, настроенный на нужный канал сервера. Полученные данные также записываются в базу данных InfluxDB [22], адаптированную к работе с временными рядами. Она используется для визуализации данных веб-приложением Grafana [23], рис. 6.

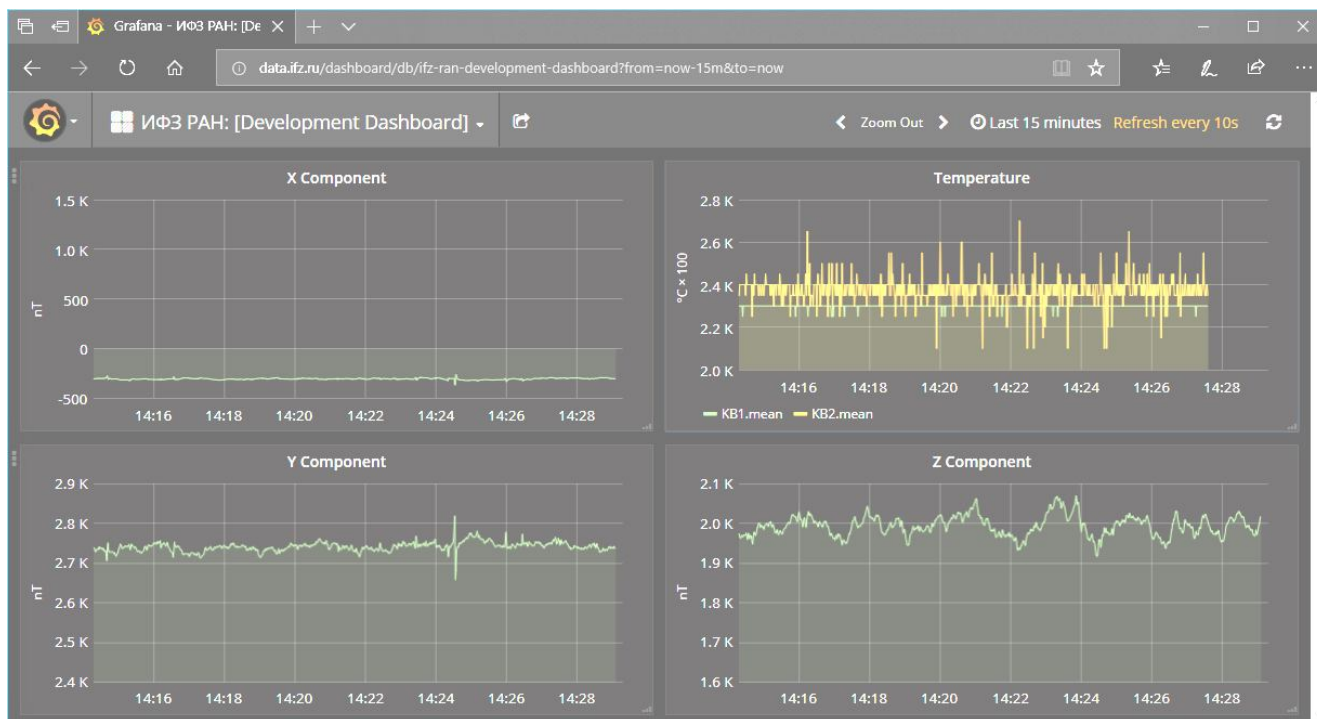


Рис. 6. Визуализация данных вариометра, переданных в ЦОД ИФЗ РАН, на веб-сайте Института. Показано отображение текущего значения X-компоненты вариации геомагнитного поля и значений температур

Описанная схема организации ЦОД с SeedLink-сервером в качестве источника данных оказалась надежной и достаточно гибкой. В частности, она позволяет легко реализовать передачу данных в реальном времени не только внутри ЦОД, но и внешним потребителям с помощью любого клиента SeedLink, например упомянутого ранее пакета Geopsy, см. рис. 3. Для этого достаточно сделать соответствующие настройки сервера и обеспечить доступ по выделенному ТСР-порту.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опытная эксплуатация описанного выше устройства показала, что разработанная и реализованная схема регистрации геомагнитных данных, основанная на использовании специализированного протокола SeedLink, обеспечивает устойчивое и бесперебойное функционирование службы. Все компоненты, использованные в разработке, основаны на открытом программном обеспечении. Использование одноплатных компьютеров с ARM-процессорами позволяет в несколько раз снизить потребление энергии. Тем не менее представленная схема регистрации может быть развернута и на x86-системах, т. к. программное обеспечение является кроссплатформенным. Использование протокола SeedLink позволяет реализовать единый подход к созданию служб, связанных с регистрацией данных, что, в частности, позволит увеличить степень автоматизации поддержки системы. Наконец, наличие большого числа программных продуктов (приложений, библиотек и пр.), ориентированных на работу с данными в формате miniSEED и протоколом SeedLink, существенно упрощают разработку собственных приложений.

Работа выполнена в рамках бюджетных тем Геофизического центра РАН и Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Morschhauser A., Haseloff J., Bronkalla O. et al. A low-power data acquisition system for geomagnetic observatories and variometer stations // *Geoscientific Instrumentation. Methods and Data Systems*. 2017. Vol. 6, no. 2. P. 345–352.
2. Richardson T., Stafford-Fraser Q., Wood K.R., Hopper A. Virtual network computing // *IEEE Internet Computing*. 1998. Vol. 2, no.1. P. 33–38.
3. Передерин Ф.В., Алешин И.М., Холодков К.И. и др. Программная реализация удаленного управления процессами регистрации и оперативной передачи геомагнитных измерений. // *Сейсмические приборы*. 2016. Т. 52, № 4. С. 76–82.
4. Сапунов В.А., Денисов А.Ю., Савельев Д.В. и др. 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. 22–31.
5. Aleshin I.M., Burguchev S.S., Kholodkov K.I. et al. Software for realtime acquisition of geomagnetic data and station management // *Russ. J. Earth. Sci.*, Vol. 16. ES5004. Doi: 10.2205/2016ES000582.
6. Fluxgate magnetometer. Manual. Technical University of Denmark, 2014. Rev. 01/4-2014.
7. 24-bit fast A/D converter module for analog output magnetometers. URL: <http://www.mingeo.com/prod-obsdaq.html> (дата обращения: 25.05.2018).
8. USB data acquisition module with GPS time synchronization. URL: <http://www.mingeo.com/prod-palmacq.html> (дата обращения: 25.05.2018).
9. LINUX based geomagnetic acquisition system. URL: <http://www.mingeo.com/prod-legacy.html#tabs-3> (дата обращения: 25.05.2018).
10. BeagleBoard.org Foundation. About us. URL: <https://beagleboard.org/about> (дата обращения: 25.05.2018).
11. О компании НТЦ "Модуль". URL: <http://www.module.ru/company>.
12. Raspberry Pi Foundation. About us. URL: <http://www.raspberrypi.org/> (дата обращения: 25.05.2018).
13. Arch Linux. URL: <http://www.archlinux.org> (дата обращения: 25.05.2018).
14. SeedLink. IRIS. URL: <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/services/seedlink/> (дата обращения: 25.05.2018).
15. Ahern T., Casey R., Barnes D. et al. SEED Reference Manual. International Federation of Digital Seismograph Networks Incorporated Research Institutions for Seismology United States Geological Survey, 2014. Version 2.4.
16. SeisComp. Applications. Seedlink. URL: <http://www.seiscomp3.org> (дата обращения: 25.05.2018).
17. Ильинский Д.А., Алешин И.М., Бургучев С.С. и др. Опыт создания портативной автономной сейсмологической станции, работающей по протоколу реального времени // *Сейсмические приборы*. 2011. Т. 47, № 1. С. 52–67.
18. Алешин И.М., Иванов С.Д., Корягин В.Н. и др. Оперативная публикация данных наклономеров серии НШ на основе протокола SeedLink // *Сейсмические приборы*. 2017. Т. 53, № 3. С. 31–41.
19. Geopsy project. URL: <http://www.geopsy.org> (дата обращения: 25.05.2018).
20. Алешин И.М., Васильев А.Е., Холодков К.И., Передерин Ф.В. Использование технологий виртуальных частных сетей для организации оперативных систем геофизических наблюдений // *Сейсмические приборы*. 2014. Т. 50, № 1. С. 63–69.

21. OpenVPN. URL: <http://openvpn.net> (дата обращения: 25.05.2018).
22. Influxdata. URL: <https://www.influxdata.com/time-series-platform/influxdb/> (дата обращения: 25.05.2018).
23. Grafanalabs. URL: <http://grafana.com> (дата обращения: 25.05.2018).

Контакты: *Алешин Игорь Михайлович*,
 ima@ifz.ru

Геофизический центр РАН, Москва

(Алешин И.М., Гетманов В.Г., Груднев А.А., Добровольский М.Н., Красноперов Р.И., Кудин Д.В., Соловьев А.А.)

Институт физики Земли им О.Ю. Шмидта РАН, Москва (Алешин И.М., Гетманов В.Г., Груднев А.А., Иванов С.Д., Корягин В.Н., Передерин Ф.В., Соловьев А.А., Холодков К.И.)

Материал поступил в редакцию 28.06.2018

COMPACT ENERGY EFFICIENT ONLINE DATA LOGGER FOR REAL TIME GEOMAGNETIC MEASUREMENTS

I. M. Aleshin^{1,2}, V. G. Getmanov^{1,2}, A. A. Grudnev^{1,2}, M. N. Dobrovolsky¹,
 S. D. Ivanov², V. N. Koryagin², R. I. Krasnoperov¹, D. V. Kudin¹,
 F. V. Perederin², A. A. Soloviev^{1,2}, K. I. Kholodkov²

¹*The Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

This paper describes an online realtime data acquisition system. The design utilizes ARM singleboard computers that bring very low power requirements, portability and light weightness. We have implemented a unified approach to acquire, transfer and store the measurements. The approach takes advantages of SeedLink protocol to establish online realtime data flows between the components of the system. Communication over IPv4 rely on secure virtual private networks. The system features remote management of data logger and all connected devices. For purposes of testing and technology showcase we've implemented support for a range of variometer-type magnetometers.

Keywords: data acquisition, realtime data transfer, ARM processor, SeedLink

REFERENCES

1. Morschhauser A., Haseloff J., Bronkalla O. et. al. A low-power data acquisition system for geomagnetic observatories and variometer stations. *Geoscientific Instrumentation. Methods and Data Systems*, 2017, vol. 6, no. 2, pp. 345–352.
2. Richardson T., Stafford-Fraser Q., Wood K.R. and Hopper A. Virtual network computing. *IEEE Internet Computing*, 1998, vol. 2, no.1, pp. 33–38. Doi: 10.1109/4236.656066.
3. Perederin F.V., Aleshin I.M., Kholodkov K.I. et. al. [Program realization of remote management of processes of registration and operational transfer of geomagnetic measurements]. *Seismicheskie pribory* [Seismic instruments], 2016, vol. 52, no. 4, pp. 76–82. (In Russ.).
4. Sapunov V.A., Denisov A.Yu., Savel'ev D.V. et. al. [The absolute Overkhauserovsky magnetometer POS-1 and experience of its application on magnetic observatories]. *Metrologicheskie osnovy magnitnykh nablyudenij Sibiri i Dal'nego Vostoka. Sb. dokladov* [Metrological bases of magnetic observations of Siberia and the Far East. Collection of reports]. Petropavlovsk-Kamchatskij, IKIR DVO RAN Publ., 2003. pp. 22–31. (In Russ.).
5. Aleshin I.M., Burguchev S.S., Kholodkov K.I. et. al. Software for realtime acquisition of geomagnetic data and station management. *Russ. J. Earth. Sci.*, vol. 16. ES5004. Doi: 10.2205/2016ES000582.

6. Fluxgate magnetometer. Manual. Technical University of Denmark, 2014. Rev. 01/4-2014.
7. 24-bit fast A/D converter module for analog output magnetometers. URL: <http://www.mingeo.com/prod-obsdaq.html> (accessed 25.05.2018).
8. USB data acquisition module with GPS time synchronization. URL: <http://www.mingeo.com/prod-palmaq.html> (accessed: 25.05.2018).
9. LINUX based geomagnetic acquisition system. URL: <http://www.mingeo.com/prod-legacy.html#tabs-3> (accessed: 25.05.2018).
10. BeagleBoard.org Foundation. About us. URL: <https://beagleboard.org/about> (accessed: 25.05.2018).
11. *O kompanii NTC "Modul"* [About the STC Modul company]. URL: <http://www.module.ru/company>. (In Russ.).
12. *Raspberry Pi Foundation. About us.* URL: <http://www.raspberrypi.org/> (accessed 25.05.2018).
13. *Arch Linux.* URL: <http://www.archlinux.org> (accessed 25.05.2018).
14. *SeedLink. IRIS.* URL: <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/services/seedlink/> (accessed 25.05.2018).
15. Ahern T., Casey R., Barnes D. et al. *SEED Reference Manual.* International Federation of Digital Seismograph Networks Incorporated Research Institutions for Seismology United States Geological Survey, 2014. Version 2.4.
16. *SeisCompP. Applications. Seedlink.* URL: <http://www.seiscomp3.org> (accessed 25.05.2018).
17. Il'inskij D.A., Aleshin I.M., Burguchev S.S. et. al. [Experience of creation of the portable autonomous seismological station working under the protocol of real time]. *Seismicheskie pribory* [Seismic instruments], 2011, vol. 47, no. 1, pp. 52–67. (In Russ.).
18. Aleshin I.M., Ivanov S.D., Koryagin V.N. et. al. [The operational publication of these tiltmeters of the NS series on the basis of the protocol SeedLink]. *Seismicheskie pribory* [Seismic instruments], 2017, vol. 53, no. 3, pp. 31–41. (In Russ.).
19. *Geopsy project.* URL: <http://www.geopsy.org> (accessed 25.05.2018).
20. Aleshin I.M., Vasil'ev A.E., Holodkov K.I., Perederin F.V. [Use of technologies of virtual private networks for the organization of operational systems of geophysical observations]. *Seismicheskie pribory* [Seismic instruments], 2014, vol. 50, no. 1, pp. 63–69. (In Russ.).
21. *OpenVPN.* URL: <http://openvpn.net> (accessed 25.05.2018).
22. *Influxdata.* URL: <https://www.influxdata.com/time-series-platform/influxdb/> (accessed 25.05.2018).
23. *Grafanalabs.* URL: <http://grafana.com> (accessed 25.05.2018).

Contacts: *Aleshin Igor' Michaylovich,*
ima@ifz.ru

Article received in edition 28.06.2018