

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

УДК 550.34.03:551.46.083

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ДЕФОРМОГРАФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А. Ю. Рыбушкин¹, М. Д. Парушкин^{2,3}, Д. О. Терешкин^{1,2}, С. В. Панов³

¹Сибирский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”,
просп. Академика Лаврентьева, 13/3, 630090, г. Новосибирск, Россия

²Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

³Институт лазерной физики СО РАН, E-mail: lss@laser.nsc.ru,
просп. Академика Лаврентьева, 13/3, 630090, г. Новосибирск, Россия

Разработана универсальная многоканальная система регистрации и передачи данных для лазерного деформографа и сопутствующей геофизической и сейсмологической аппаратуры, предназначенная для работы в условиях штолен и действующих горных выработок.

Лазерный деформограф, измеритель фазового сдвига, передача данных, техногенные катастрофы

Лазерные деформографы традиционно используются для геофизических исследований деформационных процессов в сейсмоактивных регионах [1–4]. Широкий частотный и динамический диапазон измерения микросмещений позволяет применять подобную аппаратуру в действующих шахтах и рудниках для предупреждения о возможных техногенных катастрофах [5].

Оптические схемы лазерных деформографов строятся, как правило, на основе интерферометра Майкельсона, а критерием адекватности их работы может служить регистрация лунно-солнечного прилива [1]. При этом электронные системы регистрации отличаются значительным разнообразием.

В данной статье представлены результаты разработки универсальной системы регистрации, способной функционировать в условиях шахт и горных выработок в составе лазерного деформографического комплекса, обеспечивающего частоту дискретизации до 100 Гц и измерения фазы с точностью 10^{-3} рад.

ОСОБЕННОСТИ СХЕМНОГО РЕШЕНИЯ

На рис. 1 приведена схема двухканального лазерного деформографа с регистрирующей системой, ключевым компонентом которой является измеритель фазового сдвига (ИФС). Сигналы с фотодетекторов поступают на шестиканальный вход блока ИФС, при измерении часть каналов выбирается в качестве опорных, относительно которых вычисляется сдвиг фаз остальных каналов. Полученный поток данных сохраняется на внутреннем накопителе блока регистрации.

Раздел “Архитектура программного обеспечения верхнего уровня” выполнен при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 16-17-10121).

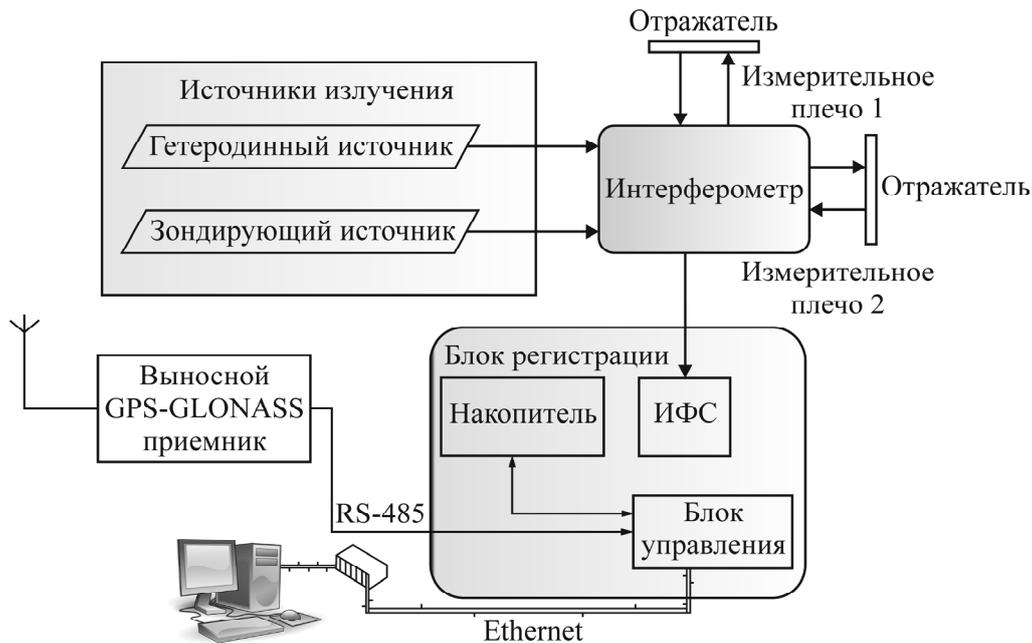


Рис. 1. Схема деформографа с регистрирующей системой

Передача происходит по линии Ethernet, на стандартных протоколах, реализованных поверх стека TCP/IP[6]. Это сделано из следующих соображений.

Использование Ethernet дает возможность объединения устройств в локальную сеть с идентичными или похожими устройствами. Такое объединение может быть продиктовано необходимостью размещения дополнительных регистраторов сейсмических сигналов, оцифровывающих сигналы акселерометров или велосиметров, например АЦП, для получения более полной информации о сейсмической обстановке местности. При этом для построения локальной сети может быть применено стандартное оборудование.

Стандартные протоколы могут работать с устройством с помощью стороннего программного обеспечения. Это необходимо для того, чтобы пользователь имел возможность бесшовной интеграции системы в свои процессы.

Данные могут быть получены по протоколу Seedlink, с помощью системы SeisComp [7] или других программных продуктов, таких как slarchive, а также по протоколу FTP, в виде файлов miniSEED. Помимо этого, для взаимодействия “сервер – ИФС” разработан и реализован специальный протокол, который также позволяет получить поток данных в реальном времени и считывать записанные файлы. Кроме того, блок ИФС предоставляет telnet-интерфейс для удаленного мониторинга состояния системы, управления установками регистрации и управления процессом регистрации.

Управляющий сервер на компьютере запрашивает данные, проводит их предобработку и анализ критериев STA/LTA [8]. После этого данные сохраняются на жестком диске либо в неизменном виде — как miniSEED-блоки, либо могут быть перекодированы в другой необходимый формат. Сервер имеет возможность получения потоков данных одновременно с нескольких устройств.

Для визуализации поступающей информации в реальном времени создана специальная программа, запрашивающая данные у управляющего сервера по разработанному протоколу. Она отображает выбранные потоки данных с одного или нескольких узлов, а также дает возможность управления и контроля.

АППАРАТНАЯ АРХИТЕКТУРА ИФС

Физически блок измерителя фазового сдвига состоит из двух плат — платы формирователей фазовых интервалов (ФФИ) и процессорной. Сигналы с фотодетекторов поступают на входы ИФС, которые соединены с платой ФФИ. Последние преобразовывают входные синусоидальные сигналы в импульсную форму — меандры с уровнями КМОП-логики. Преобразованные сигналы передаются на вход программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), в которой проводится измерение разности фаз между заданными каналами и привязка потока получаемых данных ко времени.

Внутри ПЛИС сигналы поступают в мультиплексор. В соответствии с конфигурацией для каждого выходного канала мультиплексора один из входных каналов выбирается как опорный, а другой как измеряемый. Всего выходных каналов шесть, таким образом на вход вычислителя подается шесть пар сигналов, между которыми и измеряется фазовый сдвиг.

Блок управления контролирует передачу данных, обеспечивая при этом изохронность потока.

Предусмотрена возможность подключения внешних датчиков, таких как сейсмодатчики, датчики давления, температуры. Их показания передаются вместе с потоком данных ИФС.

Временная привязка осуществляется с помощью цифрового синтезатора частоты, опорной частотой для которого служит локально установленный на плате ИФС термостатированный генератор, управляемый напряжением. Контроллер периодически синхронизирует подсистему времени с внешним источником времени — GPS. Из-за требования возможности развертывания системы в шахтах, штольнях и прочих местах, в которых нет уверенного приема сигналов GPS, синхронизация происходит с помощью сигналов от выносного модуля GPS, который находится в зоне видимости спутников. ИФС связан с модулем GPS с помощью витой пары по стандарту RS-485. Сам модуль отправляет по линии один раз в секунду посылки, характеризующие состояние приема сигналов GPS, текущее время и координаты.

Данные из ПЛИС передаются в микроконтроллер (МК), где они сжимаются и сохраняются на внутреннем носителе. В качестве МК выбран микроконтроллер фирмы Atmel AT91SAM9XE512, носителем — MicroSDHC/SDXC-карта, работающая по стандартному SD-интерфейсу в режиме четырехбитной шины. К контроллеру подключено 2 МБ памяти SRAM. Контроллер обслуживает входящие запросы по интерфейсам USB и Ethernet. Запросы бывают двух типов — запросы статуса и запросы потока данных. В первом случае контроллер отправляет необходимую информацию непосредственно после получения запроса, во втором — инициирует передачу данных и отправляет их по мере появления, таким образом осуществляя передачу в реальном времени.

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ

Поскольку ИФС поддерживает несколько стандартных протоколов, целесообразна разработка специализированного программного обеспечения (ПО), взаимодействующего с ИФС, так как стандартные протоколы (Seedlink, FTP) не поддерживают всех возможностей ИФС. В частности, при непрерывной регистрации полезно выполнять запросы и отображение состояния таких элементов системы, как уровни сигналов на фотоприемниках, текущее время системы и состояние приема сигналов GPS. Кроме того, несмотря на то что управление конфигурацией ИФС может быть осуществлено с помощью командного интерфейса, предоставляемого по протоколу telnet, первичная конфигурация должна быть осуществлена через USB.

Программное обеспечение верхнего уровня выполняется на ПК и работает с ИФС. Оно состоит из четырех компонентов: программа конфигурации; сервер сбора данных; программа визуализации потока данных; монитор выполнения сервера. Сначала проводится настройка с помощью программы конфигурации, потом включается монитор, который запускает сервер и следит за его работой.

Сервер сбора данных осуществляет следующие функции: получение данных с измерительных узлов; перекодирование потока данных в соответствии с настройками; сохранение потока данных на диск; предоставление потока клиентской программе для визуализации; обнаружение событий (критерий LTA/STA).

При запуске сервер сбора данных считывает конфигурационный файл и в соответствии с заданными настройками подключается к устройствам в списке, заданным на этапе конфигурации. Сервер инициирует потоковую передачу данных с каждого устройства, к которому подключен. Устройств может быть несколько, что позволяет получать данные как с деформографа, так и с расположенного рядом регистратора сейсмических сигналов.

СПИСОК УСТРОЙСТВ

При старте сервер считывает список устройств из соответствующего конфигурационного файла. Этот список передается менеджеру подключений, который инициирует установление соединения с каждым устройством в списке. При успешном подключении устройство заносится в список активных. Если подключение установить не удастся, менеджер через некоторое время повторяет попытку подключения. Если обнаружен разрыв связи, то устройство, находящееся в списке активных, может быть перенесено в список менеджера подключений.

При подключении сервер запрашивает у устройства его тип, уникальный идентификатор и список поддерживаемых возможностей. В зависимости от них, сервер выполняет инициализацию устройства. Ниже приведен список возможностей, поддерживаемых сервером.

State. Наличие данной возможности означает, что у устройства можно запросить текущее состояние, которое включает в себя: текущее время (если была проведена синхронизация), координаты GPS (если есть), указатели чтения/записи накопителя данных. При инициализации сервер начинает периодически опрашивать состояние устройства.

Configuration. В текущем состоянии разрешено изменение конфигурации устройства. При инициализации устройства с такой возможностью сервер перед началом передачи данных изменяет конфигурацию устройства в соответствии со своими настройками.

Datastream. Устройство может передавать данные в потоковом режиме. Поток данных может быть закрытый — в этом случае скачивается заранее заданное количество блоков, после чего поток закрывается, и открытый — поток закрывается лишь по инициативе сервера. При инициализации сервер запрашивает открытый поток данных.

Deformograph. Наличие данной возможности означает, что устройство является измерителем фазового сдвига и позволяет запросить текущий уровень сигналов на фотодетекторах.

ОБРАБОТКА И СОХРАНЕНИЕ ДАННЫХ

Получаемые с устройств потоки данных состоят из miniSEED-блоков в том виде, в котором они были записаны на внутреннем накопителе устройства. Эти блоки попадают в буфер данных, где проходят анализ LTA/STA и сохраняются на диске или в miniSEED формате, или в мультиплексном.

Клиент является графическим приложением, основная функция которого — визуализация поступающих данных в реальном времени. При запуске клиент считывает свой конфигурационный файл и устанавливает соединение с сервером сбора данных. После того как соединение успешно установлено, клиент запрашивает поток данных с сервера. Это делается через подписки — клиент подписывается на выбранное множество каналов и сервер начинает ему присылать все данные выбранных каналов по мере их получения с устройств. Помимо визуализации данных, клиент также отображает текущее состояние сервера и устройств, к которым он подключен.

Обмен данными между клиентом и сервером. Сервер и клиент представляются отдельными программами, взаимодействующими между собой по специально разработанному протоколу. Это сделано из следующих соображений: во-первых, такое решение позволяет запустить клиента на отдельном от сервера ПК, обеспечивая удаленный мониторинг потока данных; во-вторых, позволяет обеспечить одновременную работу нескольких клиентов; и в-третьих, дает возможность запускать сервер без визуализации данных: например, в том случае, если он запускается в окружении без графической подсистемы, что не редкость для серверов на базе ОС Linux.

Для взаимодействия между узлами распределенных систем рассмотрено несколько потенциальных возможностей:

- разработка собственного протокола обмена данными с нуля поверх TCP/IP;
- использование XML-RPC;
- разработка протокола с помощью библиотек ZeroMQ и ProtocolBuffers.

В данной системе выбран третий вариант. ZeroMQ — это связывающее программное обеспечение для построения распределенных систем, реализующее интерфейс, схожий с API BSD Sockets. ProtocolBuffers — стандарт сериализации/десериализации бинарных структур, разработанный в Google.

Монитор выполнения сервера. Сбой в работе сервера сбора данных не приведет к потере данных, так как они продолжают накапливаться на внутреннем накопителе модуля ИФС. Однако при фатальном сбое, ведущем к завершению выполнения сервера, его придется запускать снова, что не всегда возможно сделать вручную. Для автоматизации подобной задачи служит монитор выполнения. Он является максимально простой программой, которая при запуске считывает конфигурационный файл, запускает сервер сбора данных, и опционально — его клиент. После запуска процесса сервера он начинает следить за его состоянием и в случае аварийного завершения перезапускает сервер.

Программа предварительной обработки данных DefProc. В процессе регистрации сервер сбора данных сохраняет получаемые данные на диск в файлы, которые служат входными для программы DefProc. Программа предназначена для потоковой обработки получаемых файлов и удобства последующего анализа. Она написана на C++ с помощью фреймворка Qt4, что позволяет использовать приложение на операционных системах как семейства Windows, так и семейства Linux.

Описанная система прошла лабораторные испытания в составе лазерного деформографа, аналогичного установленному в штольне сейсмостанции “Талая” Байкальской рифтовой зоны.

ВЫВОДЫ

Применение представленной системы сбора и передачи данных позволяет на базе лазерного деформографического комплекса организовать многофункциональную систему мониторинга за объектами горнодобывающих предприятий. Схемное решение сбора и передачи данных дает возможность использовать как традиционное геофизическое и сейсмологическое оборудование, так и оригинальные датчики и измерительные системы, оснащенные стандартными интерфейсами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багаев С. Н., Орлов В. А., Фомин Ю. Н., Чеботаев В. П. Гетеродинные лазерные деформографы для прецизионных геофизических измерений // Изв. РАН. Физика Земли. — 1992. — № 2. — С. 85–91.
2. Орлов В. А., Панов С. В., Парушкин М. Д., Фомин Ю. Н. Солнечная активность, колебания внутреннего ядра Земли, общепланетарная сейсмичность // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы / отв. ред. Ю. Г. Леонов. — М., 2009. — С. 321–326.
3. Багаев С. Н., Опарин В. Н., Орлов В. А., Панов С. В., Парушкин М. Д. О волнах маятникового типа и методе их выделения от крупных землетрясений по записям лазерного деформографа // ФТПРПИ. — 2010. — № 3. — С. 3–11.
4. Орлов В. А., Панов С. В., Парушкин М. Д., Фомин Ю. Н., Токмолдин С. Ж., Невмержитский И. С., Узбеков Н. Б., Терешкин Д. О. Пространственно разнесенные высокочувствительные лазерные деформографические наблюдения в изучении сверхдлиннопериодных колебаний Земли / Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. Всерос. конф. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011. — С. 145–150.
5. Рассказов И. Ю., Долгих Г. И., Петров В. А., Луговой В. А., Долгих С. Г., Саксин Б. Г., Цой Д. И. Применение лазерного деформографа в системе комплексного геодинамического мониторинга в районе Стрельцовского рудного поля // ФТПРПИ. — 2016. — № 6. — С. 29–37.
6. <https://tools.ietf.org/html/rfc1180>.
7. <http://www.seiscomp3.org/doc/seattle/2012.279/apps/seedlink.html>.
8. Trnkoczy A. Understanding and setting stalta trigger algorithm parameters for the k2, Application Note, 1998, Vol. 41. — P. 16–20.

Поступила в редакцию 28/IV 2017