

Сравнение нодального модуля SmartSolo 5Hz 3C с оборудованием Magseis Fairfield Zland 5Hz 3C на испытательном полигоне PASSCAL.

■ Zheng Tong, Iris PASSCAL

Введение

Представлена оценка узлов SmartSolo 5Hz 3C (SmartSolo nodes), сравнение их характеристик с нодами Magseis Fairfield Zland 5Hz 3C (Fairfield nodes) и другими распространенными датчиками на тестовом полигоне реализованном специалистами компании PASSCAL. Цель этой оценки состоит в том, чтобы измерить уровень шума приборов и определить, являются ли узлы SmartSolo 5Hz3C жизнеспособным вариантом для расширения нодального пула PASSCAL.

Результаты этого исследования показывают, что ноды SmartSolo сравнимы по своим характеристикам с оборудованием Fairfield и других тестируемых датчиков в диапазоне от 0,1 Гц до примерно 30 Гц. В этом частотном диапазоне и узлы SmartSolo, и узлы Fairfield работают тише, чем SerCEL L-28. На частотах выше примерно 30 Гц на испытательных стендах PASSCAL нет когерентного движения грунта, которое можно было бы использовать для сравнения датчиков. Вариации амплитуды между узлами SmartSolos приемлемы и сопоставимы с вариациями, наблюдаемыми для отдельных нодов Fairfield.

Научно-исследовательский центр PASSCAL

Объединенный научно-исследовательский институт сейсмологии (IRIS), Центр сейсмических исследований портативных массивов Континентальной литосферы (PASSCAL) и Центр операций с массивами EarthScope USArray (AOF) в Нью-Мексико Техно поддерживают передовые сейсмологические исследо-

вания фундаментальной геологической структуры и тектонических процессов Земли. Центр предоставляет приборы для Национального научного фонда, Министерства энергетики и других организаций, реализующих сейсмологические эксперименты по всему миру. Поддержка таких экспериментов PASSCAL включает в себя предоставляемое сейсмическое оборудование, техническое обслуживание оборудования, программное обеспечение, архивирование данных, обучение, логистику и установку датчиков в местах исследования.

В табл.1 приведены данные по характеристикам датчиков, используемых в сейсмологии (по данным сайта www.passcal.nmt.edu).

Нодальные системы совмещают сейсмические датчики с регистраторами данных в одном легко разворачиваемом блоке. Эти устройства не требуют большого количества кабелей для подключения датчика к регистратору данных, они позволяют избежать многих серьезных проблем, связанных с кабелями, таких как неправильные типы разъемов, сломанные и пережеванные провода или поврежденные контакты. Они также намного проще в разворачивании, чем обычные комбинации датчиков и регистраторов данных. Их использование может значительно сократить как время установки станции, так и количество необходимого персонала. Их меньший размер также может быть очень полезен для разворачивания с использованием методов транспортировки с ограниченным объемом.

Датчик	Производитель	Энергия	Начальная частота	Затухание	Чувствительность
STS-2	Streckeisen	30 ma @ 12vdc	0.0083 Hz	0.707 critical	1500 v/m/s
CMG-3T	Guralp	70 ma @ 12vdc	0.0083 Hz	0.707 critical	1500 v/m/s
CMG3-ESP	Guralp	70 ma @ 12vdc	0.033 Hz	0.707 critical	2000 v/m/s
CMG-40T	Guralp	50 ma @ 12vdc	0.033 Hz	0.707 critical	800 v/m/s
CMG-40-1	Guralp	50 ma @ 12vdc	1.0 Hz	0.707 critical	2000 v/m/s
Trillium 240	Nanometrics	54 ma @ 12vdc	0.0042 Hz	0.707 critical	1196.9 v/m/s
Trillium 120PA	Nanometrics	54 ma @ 12vdc	0.008 Hz	0.707 critical	1201 v/m/s
Trillium Horizon 120Q	Nanometrics	41 ma @ 12vdc	0.0083 Hz	0.707 critical	1202.5 v/m/s
Trillium 40	Nanometrics	46 ma @ 12vdc	0.025 Hz	0.707 critical	1553 v/m/s
Compact Trillium	Nanometrics	14 ma @ 12vdc	0.008 Hz	0.707 critical	749.1 v/m/s
L-22-3D	Sercel (formerly Mark Products)	passive	2.0 Hz	0.707 critical	87.9 v/m/s
L-28-3D	Sercel (formerly Mark Products)	passive	4.5 Hz	0.707 critical	27.0 v/m/s
Y-28-3D	Oyo-Geospace	passive	4.5 Hz	0.707 critical	32 v/m/s
GS11	Oyo-Geospace	passive	4.5 Hz	0.707 critical	97.4 v/m/s
L-40	Sercel (formerly Mark Products)	passive	40 Hz	0.707 critical	22.34 v/m/s
L-4C	Sercel (formerly Mark Products)	passive	1.0 Hz	0.707 critical	51, 102, 171 v/m/s
S-13	Teledyne Geotech	passive	1.0 Hz	0.707 critical	629 v/m/s
Nodes	Fairfield Zland Nodal	passive	5.0 Hz	0.707 critical	77.6 v/m/s
SmartSolo	Smart Solo IGU-16HR 3C	passive	5.0 Hz	0.707 critical	76.7 v/m/s

▲ Табл. 1. Сравнительные характеристики различного оборудования, используемого в сейсмологии.

Наличное оборудование PASSCAL включает в себя две нодальные системы: узлы Magseis Fairfield ZL3C и блоки Smart Solo IGU-16HR 3C. Их возможности сравниваются в таблице ниже. Оба типа блоков имеют начальную частоту 5 Гц и 24-битный АЦП.

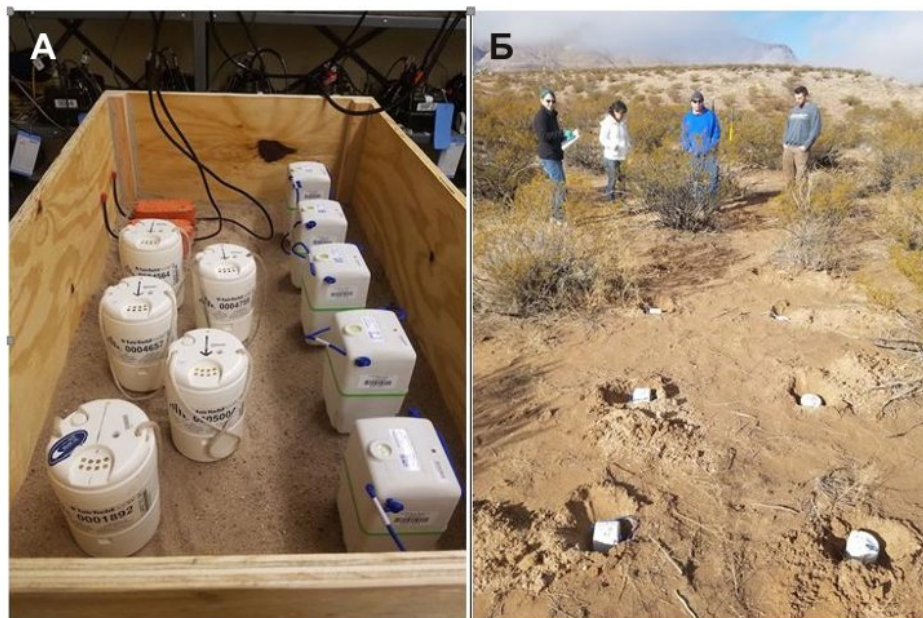
Описание исследования

Для исследования характеристик узлов SmartSolo была проведена серия тестов, в сравнении производительности узлов SmartSolo и Fairfield Zland. Окончательная схематестирования: 5 узлов SmartSolo и 5 узлов Fairfield были разме-

▼ Табл. 2.

Модификация	Размер	Вес	Частота дискретизации	Объем памяти
Fairfield ZLand 3C Nodes	6.4" x 4.6" x 4.6" (без 4.6" центрального датчика)	2.8 кг	250, 500, 1000, или 2000 sps	32GB (500sps частота дает объем ≈388.8Mb day)
Smart Solo IGU-16HR 3C	4.1" x 3.7" x 7.4" (без геофона)	2.4 кг	250, 500, 1000, 2000, или 4000 sps	64GB (500sps частота дает объем ≈388.8Mb day)

► Рис. 1. Размещение датчиков:
А - на испытательном стенде,
Б – в грунте на тестовом полигоне.



щены внутри на испытательном стенде датчиков с Guralp CMG-3T, датчиками Sercel L-22 и Sercel L-28s с цифровыми регистраторами Reftek RT130 в качестве эталона; а 5 нодов SmartSolo и 5 нодов Fairfield были помещены в грунт в одинаковые условия снаружи здания.

Данные этого теста были использованы для характеристики производительности и амплитуды узла SmartSolo по сравнению с узлами Fairfield, Guralp CMG-3T, Sercel L-22 и Sercel L-28 геофонов. Расположение узлов SmartSolo и Fairfield на стенде и внешних датчиках показано на рис. 1а (на стенде) и рис. 1б (в грунте).

Для целей этого теста узлы SmartSolo и Fairfield были запрограммированы с использованием усиления 36 дБ при частоте дискретизации 250 с / с, самой низкой настраиваемой частоте дискретизации. Guralp CMG-3T был записан с усилением предусилителя 1 при частоте дискретизации 200 с, в то время как Sercel L-22s и L-28s были записаны с усилением предусилителя 32, максимальным настраиваемым усилением на Reftek RT130, при частоте дискретизации 200 с. Данные узла SmartSolo выводятся в виде милливольт/сек, в то время как данные

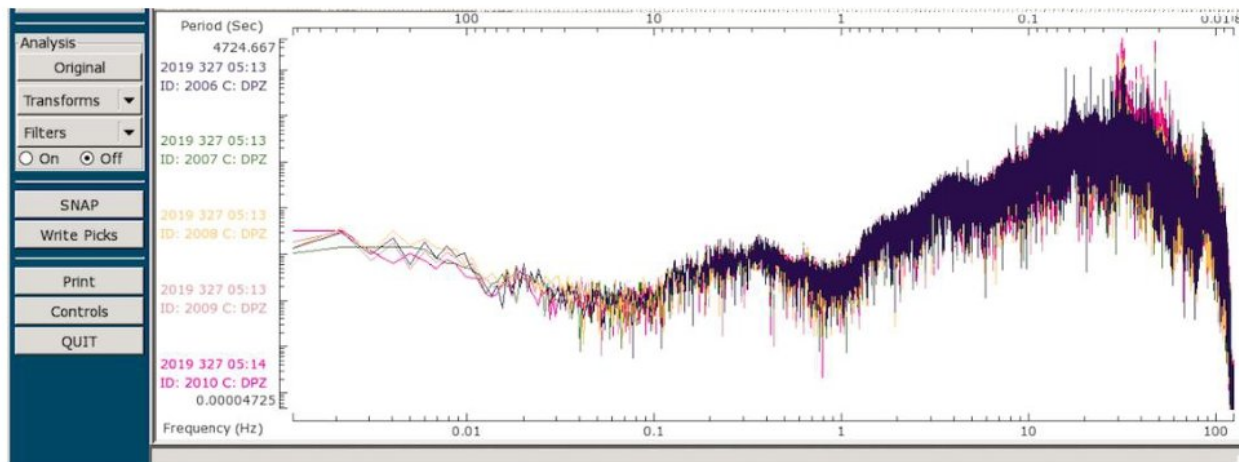
Fairfield и Reftek выводятся в виде отсчетов/сек. Данные, были собраны в период с 22 ноября 2019 года по 25 ноября 2019. 23 ноября 2019 года было зафиксировано локальное землетрясение.

Анализ результатов

Анализ выполнен на вертикальных компонентах датчиков из-за возможных изменений ориентации между внутренними и внешними установками в горизонтальной плоскости. Амплитуда и шум для горизонтальных компонентов узлов SmartSolo сопоставимы с горизонтальными составляющими, регистрируемыми другими датчиками по выполненным ранее тестам.

Стеновые данные временных рядов и спектрограмма фонового шума для 5 узлов SmartSolo (идентификаторы станций с 2006 по 2010 год) представлены на рис.2. Сигналы, регистрируемые этими датчиками, когерентны в диапазоне частот от 0,1 Гц до 30 Гц. В этих данных виден микросейсм. Данные узлов начинают отличаться на частотах выше 30 Гц из-за расположения на стенде, вызывающего изменения фонового шума.

Характеристики и спектрограмма



▲ Рис. 2. Сравнение шума 5 узлов SmartSolo (без коррекции прибора), размещенных внутри на пирсе для сравнения шума (ID: 2006 - 2010). Окно данных примерно 30 минут.

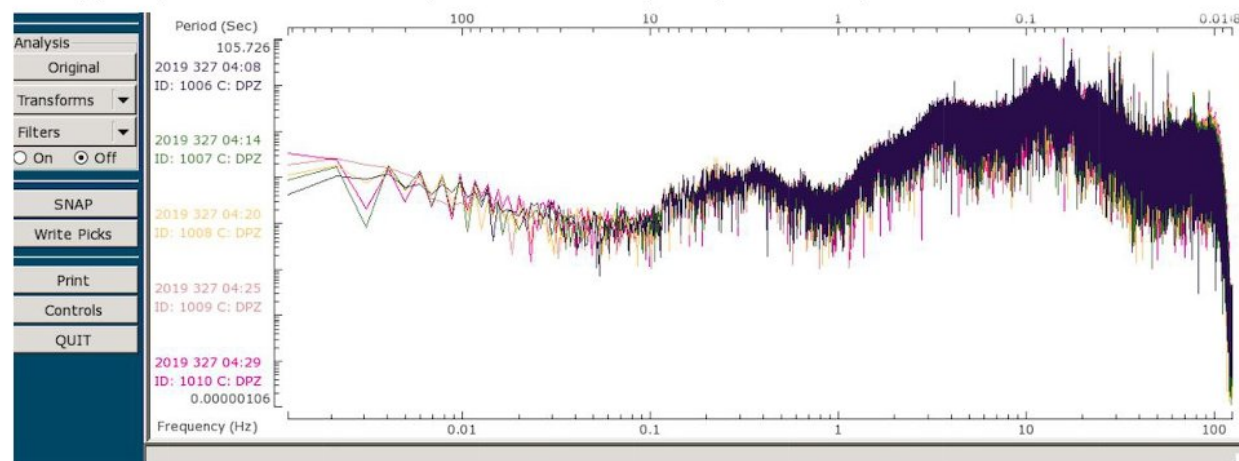
фоновому шуму для 5 узлов SmartSolo, расположенных снаружи (идентификаторы станций от 1006 до 1010), показаны на рис.3. Здесь также видна когерентность ниже 30 Гц. Данные характеризуются более высоким уровнем микросейсм.

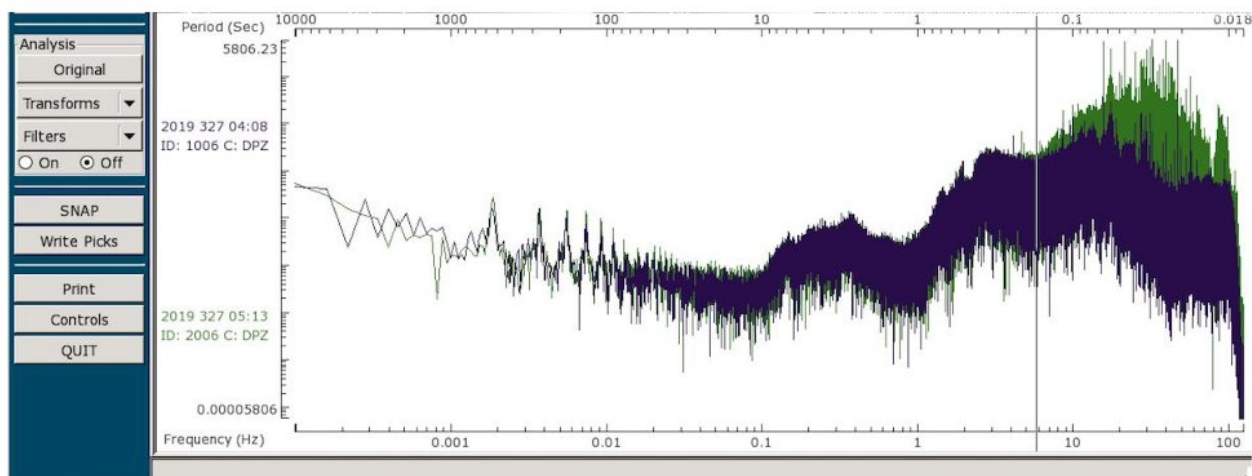
Станции 1006 (снаружи) и 2006 (внутри) были использованы для сравнения уровня фонового шума между двумя местоположениями узлов SmartSolo. Внешние узлы значительно тише, чем узлы пирса выше 7,0 Гц, но два узла когерентны ниже 7,0 Гц (рис. 4). Оба набора данных регистрируют микросейсм (от 0,1 Гц до 1,0 Гц). Обратите внимание, что как внутренние, так и внешние узлы SmartSolo имеют гармони-

ческий шум ниже примерно 0,01 Гц, что значительно ниже рабочего диапазона узлов SmartSolo. Этот гармонический шум не был исследован, но не связан с работой станда из-за наличия этого шума как на внутренних, так и на внешних узлах SmartSolo, а также его отсутствия на других приборах, используемых в этом тесте.

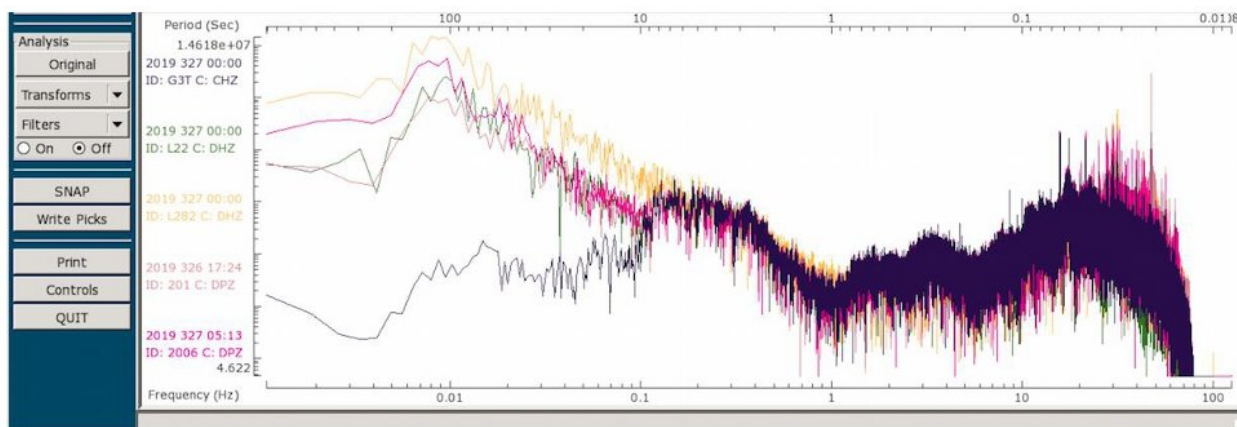
Чтобы учесть различные реакции приборов, использованных в этом тесте, данные были инструментально скорректированы и сопоставлены с откликами некоторых других приборов. Скорректированные данные рассчитывались в диапазоне частот от 0,01 до 40 Гц и сужались до 0,005 Гц на нижней частоте и 80 Гц

▼ Рис. 3. Сравнение шума 5 узлов SmartSolo (без коррекции прибора), расположенных снаружи (ID: от 1006 до 1010). Окно данных примерно 30 минут.





▲ Рис. 4. Сравнение шума между 1 нодом SmartSolo внутри на стенде (ID: 2006, зеленый) и 1 нодом SmartSolo в грунте (ID: 1006, синий). График рассчитан за 2 часа 45 минут, для иллюстрации шума ниже 0,1 Гц.



▲ Рис. 5. Данные фонового шума в сопоставлении с другими датчиками.

на высокой. Эти границы были выбраны для того, чтобы избежать эффекта Найквиста и захватить данные до 0,1 Гц без помех со стороны конуса коррекции прибора. Для сравнения, только данные стенда для CMG-3T (ID: G3T), Sercel L-22 (ID: L22), 1 нода SmartSolo (ID: 2006), 1 нода Fairfield (ID: 201) и 1 Sercel L-28 (ID: L282) обсуждаются в этом отчете.

И SmartSol, и Fairfield, о которых идет речь, находились внутри на стенде вместе с другими приборами. Выводы, сделанные для этой выборки, применимы ко всем узлам SmartSolo и дням теста. Уровень фонового шума SmartSolo соответствует уровню шума узлов Fairfield, датчиков CMG-3T и Sercel L-22 в диапазоне от 0,1 до 30 Гц на стенде. Уровень шума

для L-28 намного выше, чем у этих датчиков ниже 0,1 Гц и выше, чем у других около 1 Гц, где окружающий шум низкий (рис.5).

Сравнение амплитуд на Рисунке 5 за тот же 30 - минутный период времени, что и на рисунках 2 и 3 показывают, что нод SmartSolo (ID: 2006, розовый) более шумный, чем нод Fairfield (ID: 201, лиловый) на частотах ниже 0,01 Гц, что значительно ниже интересующего частотного диапазона. Sercel L-28 (ID: L282, желтый) более шумный для частот ниже 0,1 Гц. CMG-3T (ID: G3T, синий) и L-22 (ID: L22, зеленый) также нанесены на график. Амплитуды узлов SmartSolo по сравнению с датчиком CMG-3T на стенде являются правильными и согласованными

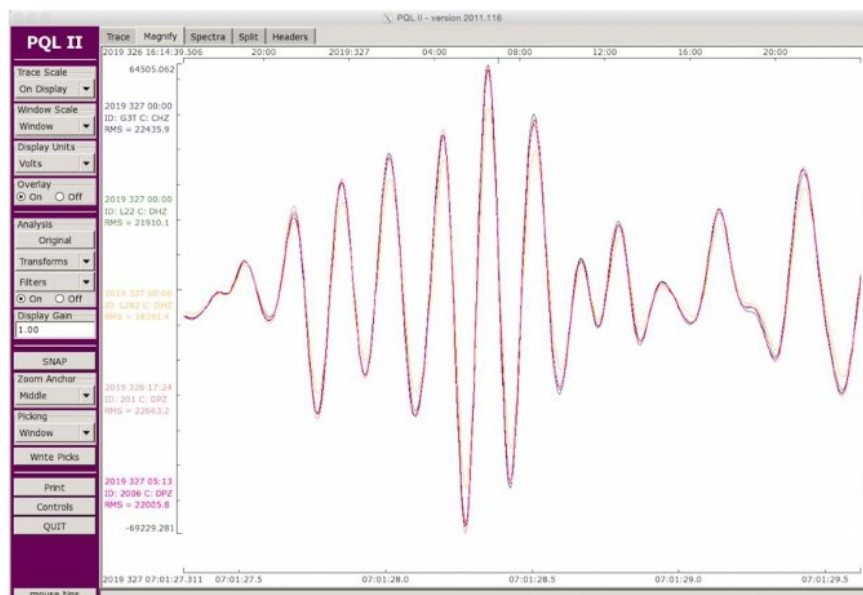


Рис. 6. Сопоставление амплитуд сигналов различных датчиков при регистрации землетрясения. (Та же цветовая схема, что и на рис.5.)

для данных в полосе микросейсмичности от 0,1 до 0,6 Гц. Для проверки амплитуд узлов SmartSolo в диапазоне от 1 до 6 Гц было использовано локальное землетрясение. Самая высокая амплитудная часть землетрясения подтверждает правильность амплитуды и фазы узлов SmartSolo (Рис. 6). Отметим, что амплитуда L-28 примерно на 18% ниже по сравнению с другими датчиками на тестовом стенде.

Выводы

Ноды SmartSolo работают так же хорошо, как и ноды Fairfield, в диапазоне от 0,1 до 30 Гц и могут быть рекомендованы для сейсмологических работ. Кроме того, узлы SmartSolo выгодно отличаются от Guralp CMG-3T и Sercel L-22 в этом диапазоне и являются более тихими, чем Sercel L-28.

Подробнее об авторе



Zheng
Tong

Iris PASSCAL