

Организация обработки сейсмических данных при помощи облачных сервисов. Примеры и перспективы

■ Оболенская А.А., Рябинский М.А., Яндекс.Терра (ООО «СейсмоТек»), г.Москва

В этой статье мы расскажем об опыте применения, интересных аспектах и перспективах облачных сервисов для интерпретационной обработки сейсмических данных на примере сервиса «Кабинет Заказчика» Яндекс.Терры.

Итак, что же такое облачные сервисы?

Основным назначением любого облачного сервиса является оказание услуг клиентам по предоставлению онлайн доступа к разнообразным цифровым ресурсам: программному обеспечению, дисковому пространству, памяти, вычислительным мощностям и т.д. При этом потребление сервисов, предоставляемых «облачными» платформами, может возрастать или уменьшаться в зависимости от повышения или понижения необходимости в них, а пользователи оплачивают только фактическое потребление.

Облачные сервисы состоят из двух частей, соединенных между собой сетью (как правило, Интернетом): пользовательской, включающей в себя локальный компьютер (или сеть компьютеров) и приложение для доступа к облачным сервисам, и облачной, включающей удаленные компьютеры, сервера, системы хранения и т.д., которые все вместе создают облачный сервис. [2]

Преимущества облачных технологий очевидны. Вот лишь некоторые из них:

- Надежное хранение информации любого объема;
- Доступ к данным с любого устройства (персонального компьютера, мобильного телефона, планшета ит.д.) из любой точки планеты, где есть подключение к Интернету;
- Существенное снижение капитальных расходов на построение центров обработки данных, закупку серверного и

сетевого оборудования, аппаратных и программных решений по обеспечению непрерывности и работоспособности, так как эти расходы ложатся на провайдеров облачных услуг. Как следствие, возможность потребителей гибко реагировать на требования рынка [1];

- Экономия на покупке лицензий дорогостоящих программ;
- Вычислительная эластичность: мгновенное предоставление, расширение, прекращение услуг в любой момент времени, без дополнительных издержек;
- Высокие стандарты безопасности работоспособности и отказоустойчивости;
- Стоимость таких услуг весьма привлекательна для широкого круга потребителей и есть тенденция к ее дальнейшему снижению[3].

Как это все начиналось?

Ранние концепции использования вычислительных ресурсов по принципу системы коммунального хозяйства относят ещё к 60-м годам прошлого века. В наши дни одним из лидеров отрасли облачных вычислений является компания Amazon с проектом под названием Elastic Computing Cloud (Amazon EC2) (2006). Слово «облако» когда-то использовалось как метафора, основанная на изображении Интернета на диаграмме компьютерной сети, или как образ сложной инфраструктуры, скрывающей все технические детали, а затем плотно вошло в обиход[3].

Сервисы облачных платформ удобно классифицировать по моделям обслуживания:

- IaaS (Infrastructure as a Service) – инфраструктура как услуга: аренда серверов, устройств хранения данных и сетевого оборудования;

- PaaS (Platform as a Service) - платформа как услуга: аренда платформы, включающей операционную систему и прикладные сервисы, облегчает разработку, тестирование, развертывание и сопровождение приложений без необходимости инвестиций в инфраструктуру и программную среду. Включает в себя IaaS.

- SaaS (Software as a Service) - программное обеспечение как услуга: аренда готовых приложений, включает в себя PaaS и IaaS. Кратко модель SaaS можно охарактеризовать так [2]:

- Программное обеспечение адаптировано под удаленное использование;
- Использование приложения сразу большим количеством пользователей;
- Обновление и модернизация приложения оперативно и прозрачно для клиентов;
- Абонентская плата из месяца в месяц или оплата за объем операций.

Специфика обработки сейсмических данных такова, что вычислительная нагрузка и требуемые компьютерные ресурсы значительно меняются в зависимости от этапа обработки. Особенно эта ситуация усугубляется при необходимости выполнять работы в предельно сжатые сроки, когда необходимо локализованное по времени привлечение максимально возможного числа вычислительных ресурсов. С другой стороны, отнюдь не все сервисные компании могут привлечь достаточное количество проектов для равномерной загрузки своих вычислительных ресурсов в течение оставшегося времени. Неизбежно возникают фазы простоя оборудования.

Все перечисленное выше делает модель предоставления программного обеспечения и вычислительного оборудования «по требованию» очень перспективной и привлекательной. Кабинет Заказчика – это рабочая среда, созданная на компьютерных ресурсах Яндекс. Терры,

оснащенная оперативной памятью, процессорными и дисковыми ресурсами, необходимыми для выполнения намеченных работ. Доступ к Кабинету Заказчика осуществляется из любой точки мира через безопасное Интернет-соединение. Кабинет Заказчика комплектуется предустановленным программным обеспечением для интерпретационной обработки 2D/3D/4D/3C/4C сейсмических данных Prime (Прайм), разработанном в Яндекс.Терре. В качестве одного из первых примеров SaaS, применяемого в нашей отрасли, можно привести проект BLUCUBE [7]. А примером такого типа сервиса в интерпретационной обработке сейсмических данных является «Кабинет Заказчика» Яндекс. Терры.

Кабинет Заказчика – это рабочая среда, созданная на компьютерных ресурсах Яндекс.Терры, оснащенная оперативной памятью, процессорными и дисковыми ресурсами, необходимыми для выполнения намеченных работ. Доступ к Кабинету Заказчика осуществляется из любой точки мира через безопасное Интернет-соединение. Кабинет Заказчика комплектуется предустановленным программным обеспечением для интерпретационной обработки 2D/3D/4D/3C/4C сейсмических данных Prime.

Яндекс.Терра обладает многолетним опытом установки и использования Prime на вычислительных ресурсах компании «Яндекс» - одного из крупнейших представителей в сфере интернет-технологий. За это время:

- Опробована и отлажена конфигурация системного программного обеспечения.
- ПО Prime адаптировано под вычислительную архитектуру Яндекса.

- Выполнено несколько десятков рабочих проектов. Подтверждено высокое качество результатов, получаемых в предельно короткие сроки, при этом обеспечена защита клиентов и Заказчика от неэффективных инвестиций в ПО, вычислительные мощности и техническое сопровождение проектов.

- Получены положительные оценки от нефтяных и сервисных компаний.

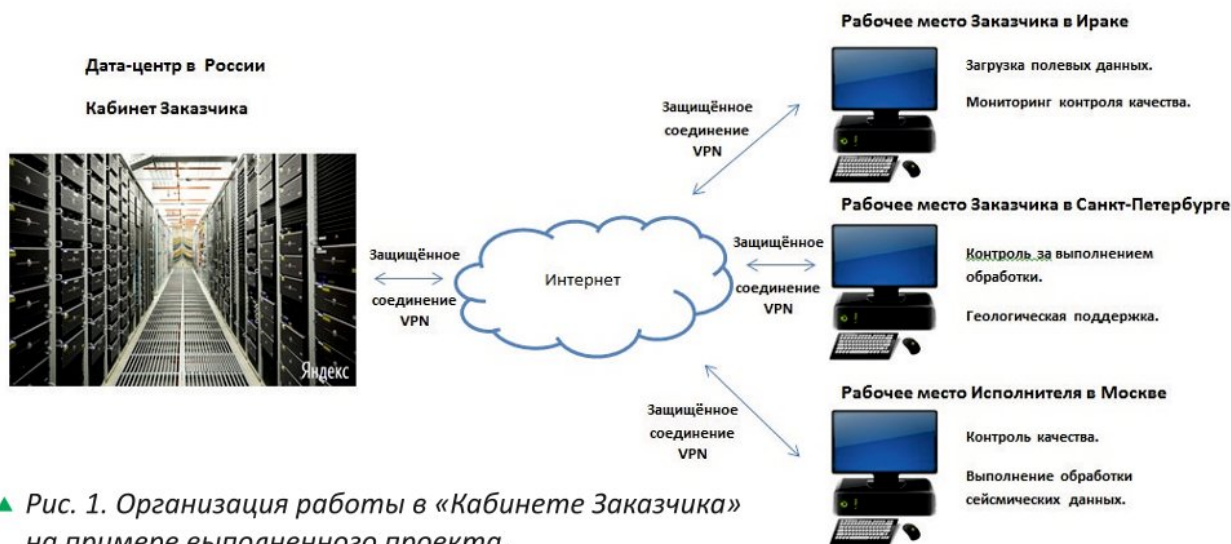
Ранее в статье [8] был опубликован успешный пример применения «Кабинета Заказчика» для интерпретационной обработки данных, полученных в сложных сейсмогеологических условиях. Перед компанией «Газпромнефть Мидл Ист Б.В.» стояла задача проведения полевых работ МОГТЗД в Ираке на участке общей площадью 277 кв.км. с контролем качества и оперативной обработкой сейсмических данных в максимально сжатые сроки с целью скорейшего заложения глубокой скважины. Территория работ характеризовалась значительными перепадами рельефа, надвиговой тектоникой, солями.

Заказчиком и Исполнителем было принято решение, что использование «Кабинета Заказчика» компании «Яндекс.Терра» позволит обеспечить высокое качество результатов работ в условиях сжатых сроков.

Кластер для хранения и обработки сейсмических данных, составляющий основу «Кабинета Заказчика», находился в Москве. Специалисты же, задействованные в проекте, находились в Ираке, Санкт-Петербурге и Москве, при этом проект требовал постоянного и быстрого обмена данными между всеми участниками.

Доступ к Кабинету осуществлялся через защищённый канал, гарантирующий безопасность и конфиденциальность данных. Для пользователей Кабинета было установлено программное обеспечение удаленного графического рабочего стола, необходимое для полноценной интерактивной работы с данными. Техническая поддержка ПО Кабинета осуществлялась сотрудниками Яндекс.Терры. Контроль качества полевых работ, а также интерпретационная обработка и принятие ключевых решений по проекту проводились при помощи российского ПО Prime (Прайм), базирующегося на представлении о неразрывности задач интерпретации и обработки сейсмических данных, основанном на работах выдающегося геофизика, доктора физ.-мат.наук В.М. Глоговского [9].

Инновационный подход с использованием «Кабинета Заказчика» обеспечил возможность совместной работы для



▲ Рис. 1. Организация работы в «Кабинете Заказчика» на примере выполненного проекта.

удалённо размещённых специалистов с доступом к данным из различных географических точек мира, оперативный контроль хода выполнения работ и высокие стандарты безопасности и конфиденциальности данных. По мнению специалистов ПАО «Газпром нефть», возможность оперативных глубинных построений, получаемых в процессе проведения полевых работ, позволяет существенно сократить время на принятие решения при мобилизации бурового оборудования, что в условиях сезонности и временного цейтнота является критичным.

Полный цикл обработки, включающий работы с целью коррекции точки заложения глубокой скважины, составил всего 70 календарных дней!

Из приведенного выше примера может сложиться впечатление, что успешность и эффектность подобных проектов обусловлена преимущественно опытом и навыками специалистов, наличием ПО, удовлетворяющего требованиям технического задания, а также доступом к вычислительным ресурсам. Однако существует ряд немаловажных аспектов, определяющих эффективность работ, которые незаслуженно остаются за кадром.

Как известно, большинство задач обработки сейсмических данных, таких как подавление кратных волн, волн-спутников, миграция, регуляризация и даже обычная пересортировка, на сегодняшний день могут потребовать использования существенных вычислительных мощностей в силу того, что объемы сейсмических измерений на современных проектах достигают десятков терабайт. Для эффективного использования всей мощи облачных вычислений современное программное обеспечение должно уметь «распараллеливать»

ся», причем реализовывать как минимум две модели распараллеливания вычислительных задач: распределение вычислений по нескольким серверам и распараллеливание внутри одного сервера по вычислительным ядрам процессоров.

Без использования алгоритмов распараллеливания простая сортировка такого объема данных займет несколько суток. Нужно заметить, что далеко не каждый алгоритм, предназначенный для распараллеливания, обеспечит эффективность работы ресурсоемких вычислений в целом, особенно если он не обеспечивает отказоустойчивость вычислительных узлов. В связи с этим любой современный программный комплекс по обработке сейсмических данных обязан уметь использовать все новейшие вычислительные возможности, причем использовать их наиболее эффективным образом. Любой современный кластер или суперкомпьютер работает в режиме 24/7 и, следовательно, потребляет большое количество электроэнергии, а также требует определенных затрат на его обслуживание. Поэтому с первых стадий разработки программного обеспечения следует уделять особое внимание эффективности использования вычислительных ресурсов, в частности, равномерности загрузки его серверов и отказоустойчивости каждой процедуры обработки.

Современные кластеры уже сейчас способны работать с довольно большими объемами данных, но далеко не все программные решения (даже лидеры сегодняшнего рынка) смогут использовать их возможности, когда речь пойдет в будущем о петабайтах сейсмических трасс. Поэтому уже сейчас стоит обратить внимание на пока ещё не столь востребованные в геофизике, но активно развивающиеся в других областях специальные технологии распределённых вычислений и анализа «больших данных», такие, например, как MapReduce.

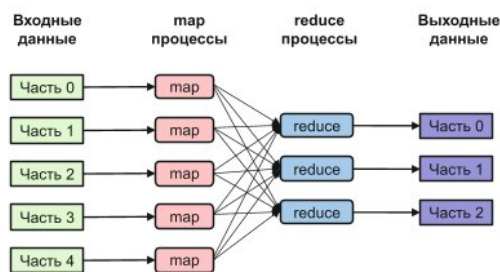
Парадигма MapReduce (MR) [11] провозглашается как основа революционно новой платформы массивно-параллельного доступа к крупномасштабным данным [12]. Так, MapReduce может быть использован для сортировки петабайта данных, что займет всего лишь несколько часов. Параллелизм также дает некоторые возможности восстановления после частичных сбоев серверов: если в рабочем узле, производящем операцию предварительной обработки или свертки, возникает сбой, то его работа может быть передана другому рабочему узлу.[10]

В 2004-м году инженеры компании Google опубликовали статью о разработанной ими модели распределённых вычислений, используемой для параллельной обработки очень больших (порядка нескольких петабайт) наборов данных в компьютерных кластерах. С тех пор появилось множество реализаций этой модели. В 2011-м году компания «Яндекс» решила разработать новую, более надёжную и масштабируемую платформу распределённых вычислений под названием YТ.

В компании «Яндекс.Терра» платформа YТ используется для выполнения ресурсоемких задач обработки больших объемов сейсмических данных. Подобного рода обработка осуществляется в три этапа. На первом этапе сейсмические данные преобразуются из внутреннего формата системы интерпретационной обработки Prime в табличный формат платформы YТ. На втором этапе выполняется цикл необходимых процедур обработки и на третьем этапе полученные результаты обработки преобразуются из табличного формата YТ обратно во внутренний формат системы Prime. Любой сейсмический файл (сейсмограмма, разрез, куб...) можно организовать в виде таблицы по следующей схеме: выбрать поля заголовка трасс, необходи-

мые для дальнейшей обработки (например, NCDP, NSP, NRP...), добавить к ним поле (TRACE) тела трассы и назначить их в качестве столбцов таблицы. Далее, в процессе чтения сейсмического файла, каждая трасса превращается в строку таблицы, столбцы которой заполняются конкретными значениями выбранных полей. После этого над таблицами можно выполнять как простейшие процедуры обработки, такие как сортировка, редакция полей заголовков, одноканальная фильтрация (частотная фильтрация, передискретизация трасс, коррекция амплитуд, сдвиг по времени...), так и более сложные процедуры многоканальной фильтрации, регуляризации, подавления кратных волн, поднятия / погружения волновых полей и даже миграции. Результатом каждой выполненной процедуры является таблица, поэтому для визуального анализа качества как промежуточных, так и конечных результатов необходимо выгрузить данную таблицу (целиком или выборку) из YТ и преобразовать ее в сейсмический файл. Для этой цели используется специальная программа-конвертор, преобразующая данные из формата таблицы YТ во внутренний формат системы Prime, который затем легко можно преобразовать в любой стандартный формат сейсмической записи, например, SEG-Y.

Модель распределённых вычислений MapReduce устроена следующим образом: весь процесс обработки данных разбивается на 2 этапа. На первом этапе (map стадия) все входные данные разбиваются некоторым (неизвестным для пользователя образом) на независимые части. Далее каждая часть обрабатывается пользовательской программой таким образом, чтобы выделить из всего множества входных данных те данные, которые должны быть обработаны совместно. Совместно обрабатываемые данные помечаются определенным



▲ Рис. 2. Модель распределенных вычислений MapReduce.

признаком. Далее все данные с одинаковым значением этого признака передаются на вход второго этапа обработки (reduce стадия) и над ними производится вторая пользовательская операция, результатом которой является соответствующая часть выходных данных.

При полевых измерениях очень часто оказывается невозможным четко соблюсти схему расстановки. Мешают реки, горы, населенные пункты... Кроме того, бывает так, что на одной и той же территории сейсмическая съемка проводится несколько раз, причем по разным схемам расстановки, и все полученные данные нужно объединить в один куб. Таким образом, мы получаем существенно неравномерное распределение трасс по территории. Для того, чтобы перенести данные на равномерную сетку, мы применяем процедуру регуляризации.

Эта процедура очень хорошо распараллеливается и ложится на архитектуру

MapReduce. Поэтому мы стали выполнять ее на УТ одной из первых.

В случае с многоканальной фильтрацией и регуляризацией 3D данных в УТ, данные сначала необходимо разбить на несколько групп с перекрытиями. Затем каждая группа фильтруется или регуляризуется независимо от других, после чего все полученные результаты сливаются в один выходной куб данных. Слияние в области перекрытий осуществляется путем суммирования с соответствующими весами.

Рассмотрим подробнее регуляризацию 3D данных в УТ.

На первом этапе нам необходимо сгруппировать входные данные в соответствие с координатами точек ОГТ, размножив при этом данные в области перекрытий.

Это легко выполнить, используя операцию map, в качестве параметра которой передается программа split, сопоставляющая каждой трассе соответствующий ей номер группы и дублирующая трассы в области перекрытий, приписывая им разные номера групп.

На втором этапе выполняется регуляризация каждой группы трасс при помощи специальной программы, названной в данном случае filter.

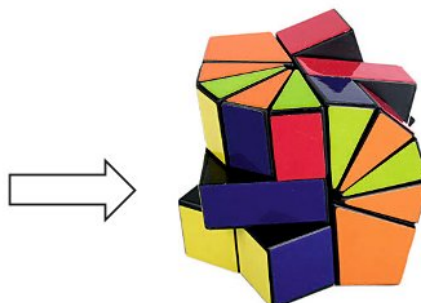
С этой целью запускается операция reduce с ключом группировки, соответствующим номеру группы. Таким образом, гарантируется, что все трассы,

Сейсмическая съемка



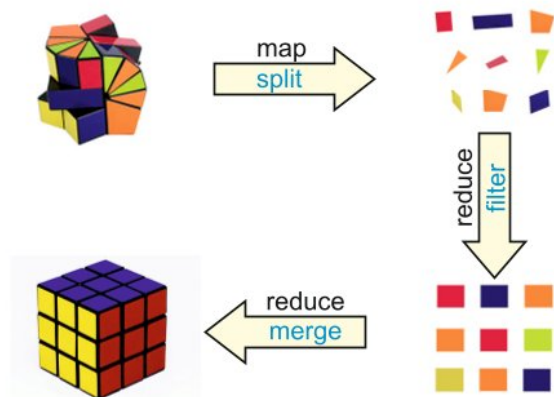
Использован рисунок с сайта <http://fb.eage.org>

Необработанные данные



Использован рисунок с сайта <http://irrl.ru>

◀ Рис. 3. Постановка задачи регуляризации.

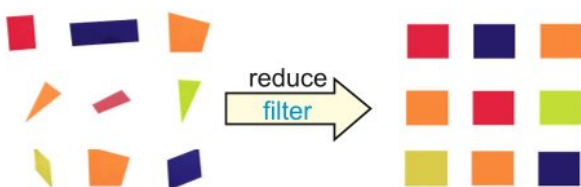


▲ Рис. 4. Регуляризация 3D данных в YT: общая схема.

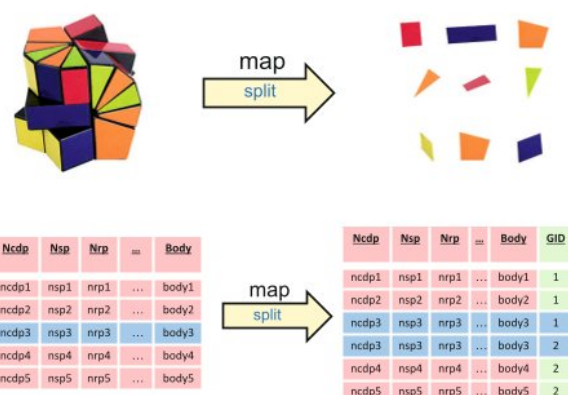
принадлежащие одной группе, будут обработаны одним рабочим процессом. На третьем этапе необходимо скомбинировать трассы с одинаковыми координатами, образовавшиеся в области перекрытий. С этой целью мы суммируем такие трассы с соответствующими весами, запуская операцию reduce с программой merge в качестве параметра.

В результате по сечениям куба равных удалений видно, что после регуляризации были заполнены пробелы в данных, и территория сейсмической съемки теперь равномерно заполнена трассами.

При реализации более сложных алгоритмов обработки сейсмических данных, таких как подавление кратных волн, поднятие/погружение волновых полей или миграция, на YT возникает ряд сложностей, связанных со спецификой данной модели вычислений. В частности, на YT (в отличие от модели MPI) нет возможности обмена данными между рабочими процессами, следовательно, каждый



▲ Рис. 6. Регуляризация 3D данных в YT: reduce (filter).

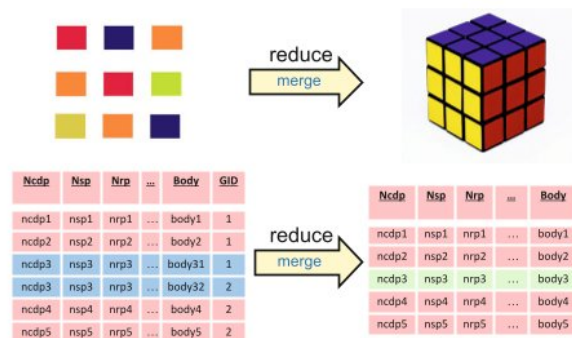


▲ Рис. 5. Регуляризация 3D данных в YT: map.

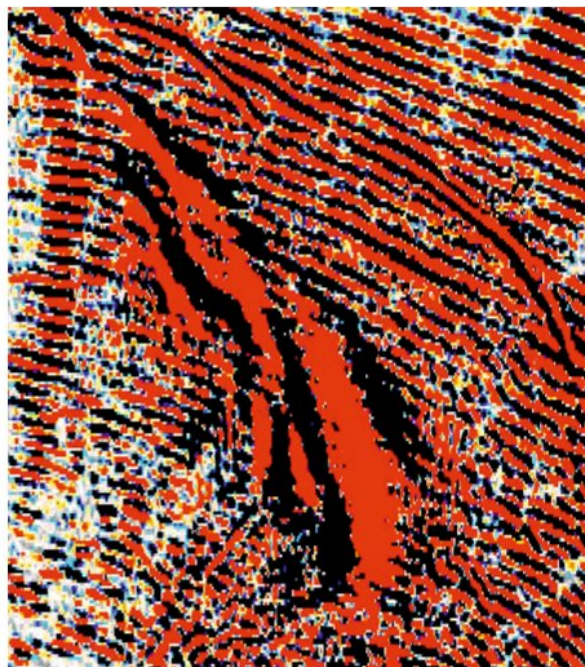
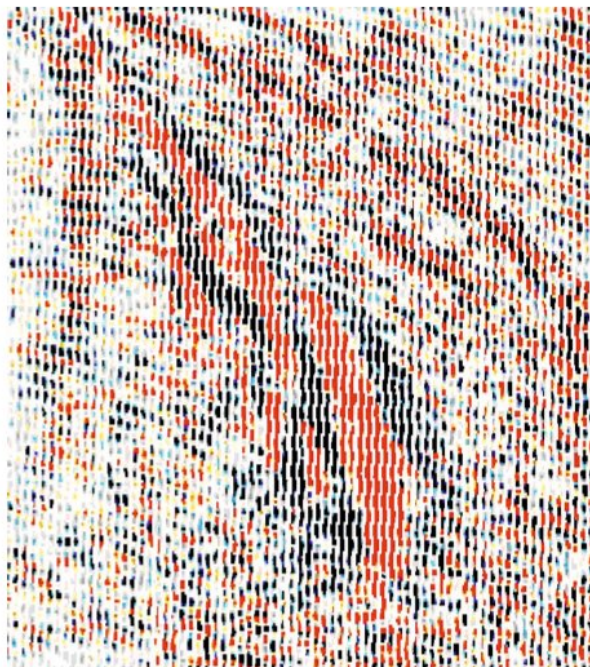
рабочий процесс имеет доступ только к части исходных данных. Зачастую для того, чтобы определить какая именно часть входных данных необходима для получения заданной выходной части данных, нужно выполнить довольно сложный анализ, требующий наличия в распоряжении рабочего процесса всех входных данных. Так как каждый рабочий процесс имеет ограниченный, сравнительно небольшой, объем доступной памяти, выполнение подобного рода алгоритмов на YT стандартным путем оказывается невозможным. Тем не менее, в ряде случаев можно выполнить группировку исходных данных, пользуясь только заголовками трасс, на время «отложив в сторонку» их тела.

Такой подход на YT реализуется следующим образом.

Сначала исходная таблица с данными



▲ Рис. 7. Регуляризация 3D данных в YT: reduce (merge).



▲ Рис. 8. Регуляризация 3D данных в Prime в реализации YT.

разделяется на 2 таблицы: одна содержит только заголовки трасс, а другая — только их тела. Для сохранения соответствия заголовков трасс их телам в каждую таблицу добавляется колонка ID с номерами исходных трасс. Далее таблица с заголовками группируется нужным образом. При этом появляется возможность загрузить в память одного рабочего процесса гораздо большую часть данных. После этого две таблицы (с телами и с сгруппированными заголовками) сливаются обратно в одну таблицу при помощи вычислительного примитива `join`. Таким образом, мы получаем сгруппированные трассы, над которыми далее можно выполнить операцию `reduce`.

Основными преимуществами использования платформы YT для ресурсоемких процедур обработки сейсмических данных являются практически неограниченная масштабируемость и высокая отказоустойчивость как при хранении данных, так и в процессе их обработки. Платформа YT может быть развернута на десятках и сотнях тысяч вычислительных узлов, кроме того, ведется работа над тем, чтобы была возможность развер-

нуть YT на нескольких дата-центрах.

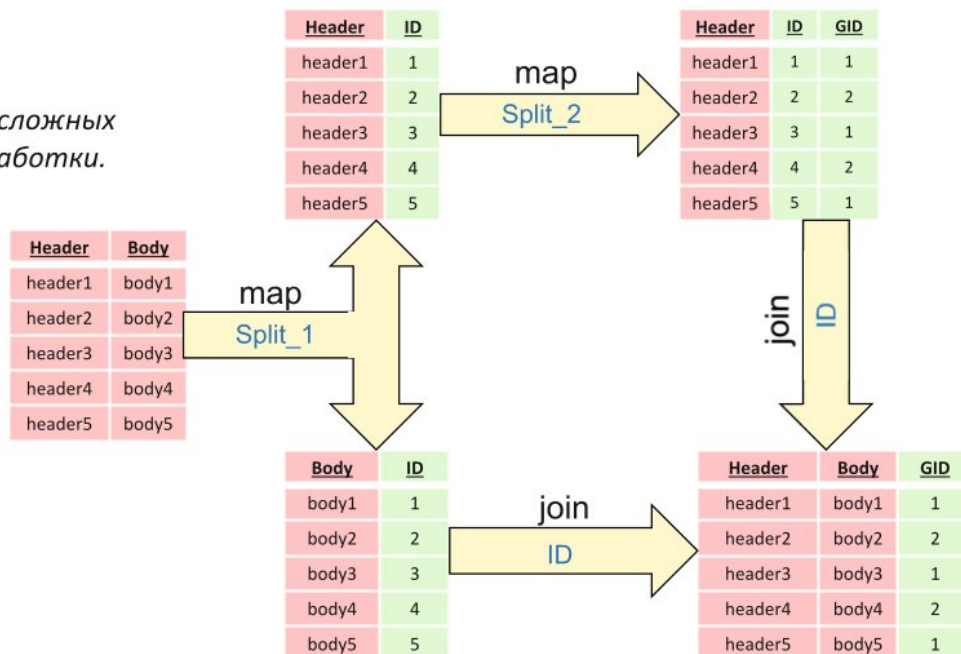
Таким образом, при использовании YT существует потенциальная возможность выполнять процедуры обработки на миллионах вычислительных ядер с гарантированной отказоустойчивостью. Тем не менее, применение YT для осуществления сложных вычислительных алгоритмов на сравнительно небольшом объеме данных (менее 10 Тб) не имеет смысла ввиду больших накладных расходов, связанных с переорганизацией и дублированием данных.

Выводы

Облачные сервисы, безусловно, очень перспективны для нефтегазовой отрасли: они способствуют поддержанию высокой конкурентоспособности исполнителей, позволяют существенно оптимизировать процессы разведки месторождений, защищают инвестиции нефтегазовых и сервисных компаний.

В настоящий момент в нефтегазовой индустрии облачные сервисы применяются недостаточно активно. Одной из причин, по нашему мнению, является тот факт, что сейсмическая информация

► Рис. 9. YT для сложных процедур обработки.



является конфиденциальной и нефтяные компании предъявляют очень высокие требования к безопасности ее нахождения в облаке. Однако компании, предоставляющие услуги облачных сервисов, как правило, не менее своих клиентов заинтересованы в сохранности информации и используют самые передовые технологии. Необходимо понимать, что профессионально работающий крупный провайдер способен обеспечить защиту Ваших данных лучше, чем это могла бы сделать инфраструктура отдельного предприятия.

Яндекс.Терра является ярким примером того, как облачные сервисы на реальных примерах позволяют проводить интерпретационную обработку сейсмических данных в эффективном ключе, с минимальными временными и финансовыми затратами.

Литература

1. Материалы с сайта: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/gg471151.aspx>
2. Материалы с сайта: sd-company.su
3. Раздел Википедии: облачные сервисы.
4. Материалы с сайта: <http://towninform.com/2015/05/cloud-computing/>

5. Материалы с сайта: <http://aws.amazon.com>
6. Материалы с сайта: http://www.cnews.ru/reviews/cloud2015/articles/saas_krizis_ne_dostig_nuzhnoj_glubiny

7. Материалы с сайта: <https://www.software.slb.com/services/infrastructure/private-cloud/blucube?tab=Configuration>

8. Волков Г.В., Диденко И.В., Кузнецов И.К. Инновации в обработке данных сейсморазведки. Опыт практической работы ОАО «Газпром нефть» и Яндекс.Терры (ООО «Сейсмотек»)

9. Материалы с сайта: www.yandex.terra.ru

10. «Mapreduce: Simplified data processing on large clusters» Jeffrey Dean, Sanjay Ghemawat, OSDI'04: Sixth Symposium on Operating System Design and Implementation, San Francisco, CA, December, 2004.

11. Dean, J. and Ghemawat, S. MapReduce: Simplified data processing on large clusters. In Proceedings of the Sixth Conference on Operating System Design and Implementation (Berkeley, CA, 2004).

12. Patterson, D.A. Technical perspective: The data center is the computer. Commun. ACM 51, 1 (Jan. 2008), 105.