

УДК 004.75

Е. В. Биряльцев, П. Б. Богданов,
М. Р. Галимов, Д. Е. Демидов, А. М. Елизаров

Программно-техническая платформа высокопроизводительных вычислений для нефтегазовой промышленности¹

АННОТАЦИЯ. Рассматривается необходимость создания комплексного программно-аппаратного решения организации высокопроизводительных вычислений, взаимодействия с большими данными и трехмерной визуализации в реальном времени для обеспечения производственных процессов в нефтегазовой отрасли.

Приводятся технические решения и результаты, полученные при создании соответствующего высокопроизводительного специализированного комплекса, рассматриваются проблемы и направления дальнейшего развития данного технологического направления.

Ключевые слова и фразы: графические вычисления общего назначения, численное моделирование, распределенные вычисления, кластер GPU, нефтегазовый комплекс, платформа высокопроизводительных вычислений.

Введение

В настоящее время в нефтегазовой промышленности происходит смена технологий. Вовлечение в разработку все более сложных запасов углеводородов, таких как сланцевые нефть и газ, тяжелые нефти, шельфовые залежи и т.д. потребовало увеличить качество геологического прогноза и экономическую обоснованность технических решений. Это достигается все более широким промышленным применением численных моделей, увеличением объема снимаемой на месторождении информации и применением сложных статистических методов. Данные задачи, особенно вариантное решение прямых и обратных задач сейсморазведки [1-3], подземной гидромеханики и геомеханики требуют промышленного применения высокопроизводительных вычислений.

Вместе с тем, только вычислительными задачами потребности не ограничиваются. Математические модели и «умные месторождения» порождают многотерабайтные объемы данных, которые в

¹ (Рекомендована к публикации.... Поддержана...!)

данном контексте могут рассматриваться как Big Data. Полевые и модельные данные являются пространственно-временными полями и требуют, в силу большой значимости в геологии неформализованной информации, оперативного визуального анализа специалистами. Данный анализ в силу распределенного характера нефтяных компаний должен проводиться в удаленном режиме. Таким образом, новые технологические подходы в нефтегазовом секторе требуют согласованного применения высокопроизводительных вычислений, работы с большими данными и оперативной визуализации динамических сцен большой сложности.

Дополнительными требованиями к аппаратно-программным решениям являются экономическая эффективность, простота в сопровождении и возможность модификации для сохранения инвестиций.

Существующие интегрированные решения

Традиционно в программном обеспечении для нефтегазовой отрасли большое внимание уделяется визуализации данных, это связано с особенностями их анализа. Среди существующих платформ визуализации можно выделить Open Inventor [4] от FEI VSG – инструмент для создания программных продуктов со сложной 2D и 3D графикой. Платформа содержит широкий набор средств и методов для визуализации и анализа данных для нефтегазовой промышленности. Платформа активно использует для высокопроизводительной визуализации возможности технологии GPU, а также имеет возможности работы с большими объемами данных. Поддерживаются облачные, настольные и мобильные платформы. Разработка может вестись на языках программирования C++, C# (.NET) или Java. Данный инструмент предоставляет большие возможности для разработки графического программного обеспечения, но в нем отсутствуют средства для организации распределенных вычислений.

Активно развивается такое направление визуализации как “виртуальная реальность”. Среди программно-аппаратных комплексов, наиболее приближенных к рассматриваемой тематике можно отметить решения компании TechViz, которое предоставляет “драйвер” (TechViz XL) и программную библиотеку (TVZLib API), позволяющие прозрачно транслировать 3D OpenGL приложения в “виртуальное” окружение [5].

В настоящий момент работа с большими массивами данных происходит в рамках развиваемой парадигмы Big Data. Наиболее известной и распространенной программной технологией в данной области является Hadoop [6]. Данная платформа обладает широко развитой экосистемой, а также идет процесс активной коммерциализации технологии, несколько компаний строят свой бизнес целиком на создании коммерческих дистрибутивов Hadoop и услуг по технической поддержке. Изначально технология предназначалась в основном для обеспечения высоконагруженных процессов, связанных с функционированием веб-платформ, но идет и успешное внедрение в другие отрасли, в том числе и в нефтегазовую [7]. Крупные программные вендоры предлагают свои решения для хранения, интеграции и анализа данных (IBM BigData, SAP BigData и т.д.). Также, например, можно отметить специализированное программное решение Seismic Hadoop, который позволяет производить обработку сейсмических данных с помощью пакета Seismic Unix в Hadoop окружении от компании Cloudera.

Программными решениями, которое наиболее полно с нашей точки зрения охватывают все аспекты разработки высокопроизводительного программного обеспечения для нефтегазовой отрасли, являются программные платформы компании Hue AS – HueSpace [8] и компании nVidia – Index [9]. Данные платформы позволяют оперировать большими объемами сейсмических данных, производить их обработку и визуализацию. Поддерживается возможность организации вычислений на графических процессорах. Для платформы HueSpace разработку можно вести под различные операционные системы (Windows, Linux) с использованием нескольких языков программирования (C++, .Net, Java), для платформы nVidia Index предлагается использовать только C++ API. Платформы поддерживают расширение функциональности ядра, а также интеграцию с разрабатываемыми приложениями. К сожалению, данные продукты являются проприетарными, и их описание в открытых источниках носит в основном информационный характер, степень готовности к промышленному применению неясна. Также обе платформы построены на основе программно-технических решений компании nVidia, а значит, затруднено использование графических ускорителей других компаний (например, AMD) и альтернативных программных технологий (например, OpenCL).

Таким образом, доступное и апробированное решение, интегрирующее одновременно организацию распределенных вычислений в гетерогенной среде, хранение и обработку больших данных, учитывающее специфику результатов моделирования и удаленную визуа-

лизацию больших данных на различных аппаратных платформах в настоящее время отсутствует.

Предлагаемый подход

Основной проблемой является необходимость обеспечения удаленного доступа пользователей при визуализации больших данных, в том числе динамических данных численного моделирования. Данные моделирования сейсмических процессов имеют характер непрерывных полей и плохо сжимаемы на уровне исходных данных. Большой объем данных визуализации исключает передачу данных для визуализации на клиента по сетям общего пользования. Единственным возможным техническим решением представляется превращение на сервере трехмерных сцен в управляемый пользователем видеопоток, сжатие его до соответствия с пропускной способностью сети и передачу на клиента, что требует использования видеокарт на сервере. Такое решение в промышленном исполнении известно, как GRID технология nVidia с использованием разделяемых видеокарт K1 и K2. Технология GRID поддерживается системами виртуализации Citrix и VMWare.

Второй проблемой является оперативный доступ к большим данным. Сетевые системы хранения архитектуры SAN в настоящее время оснащаются преимущественно интерфейсами Ethernet 1Gb и не обеспечивают требуемой скорости по записи и считыванию к результатам моделирования объемом в несколько терабайт. В последнее время для работы с большими данными получает распространение архитектура DAS, предусматривающая подключение хранилищ большого объема непосредственно к узлам с использованием RAID контроллеров. Возможно, как полностью распределенное хранилище DAS, имеющее дисковые массивы на каждом вычислительном узле, так и хранилище с выделенными узлами хранения. Оба решения имеют свои преимущества и недостатки, однако решение с выделенными узлами более отработано технологически, и оно было принято в предлагаемом подходе. Для доставки данных от вычислительных узлов к узлам хранения предлагается использовать сеть Infiniband FDR, которая по пропускной способности соответствует реальной скорости записи/считывания RAID массива с 16 устройствами SATA 6 Gbit/s.

Очевидно, что вычислительные узлы по соотношению цена/производительность для решения вычислительных задач должны содержать устройства GPU. Основной задачей при выборе кон-

фигурации узла является выбор типа графических ускорителей и технологии работы с ними. В настоящее время известны укорители компаний nVidia, AMD и Intel. Все три поддерживают технологию OpenCL, nVidia поддерживает также технологию CUDA. Учитывая большую скорость развития графических ускорителей, предпочтительней представляется интероперабельная технология OpenCL, что позволяет в будущем модифицировать узлы заменой графических карт на наиболее производительные на момент модификации без привязки к производителю. Де-факто стандартом технологии организации обмена данных между узлами является MPI, таким образом в качестве базового набора организации распределенных вычислений целесообразно принять связку MPI+OpenCL. Учитывая большие скорости счета и большие генерируемые потоки данных, как для обмена, так и для хранения, единственно адекватным вариантом обмена данными на сетевом уровне является сеть Infiniband. Для уменьшения простоев GPU целесообразно на каждом узле реализовать две сети отдельно для передачи данных при моделировании и отдельно для обмена данными с узлами хранения.

Тестирование экспериментального комплекса

На основе предлагаемых принципов и ряда научно-практических исследований [10, 11, 12] был развернут аппаратно-программный комплекс в следующей конфигурации. Аппаратную основу комплекса составляют 6 вычислительных узлов с GPU в составе 2xXeon 2643v2, RAM 256Gb, 4xW9100, сервер доступа в составе 2xXeon 2687v2, RAM 256 Gb, 2xK2, сервер базы данных 2xXeon 2697v2, RAM 384 Gb, 2xRAID массива 16x4Tb. Основная сеть передачи данных Infiniband FDR 4x, управляющая сеть Ethernet 1Gb. W9100 были выбраны как графические вычислители в связи с максимальными на тот момент параметрами пиковой производительности и памяти на одну карту. Процессоры Xeon 2643v2 были выбраны для узлов по критерию максимальной частоты (3,5GHz), так как основная вычислительная нагрузка ложится на GPU и задачей CPU являются, преимущественно, однопоточные операции обмена данными между GPU, а также обмена GPU с сетью. Сервер доступа базируется на разделяемых графических картах K2, обеспечивающих работу на одной карте от 2 до 8 пользователей при работе с трехмерной графикой [13]. Сервер базы данных имеет в своей конфигурации 2 RAID массива из 16 дисков. Один RAID массив предназначался для оперативной работы и имел конфигурацию RAID 5 с SSD кэшем для ускорения оперативной работы и один предназначался для архивного

хранения данных в конфигурации RAID 6 с диском горячего резерва для максимальной надежности.

Вычислительный кластер был протестирован тестом Linpack и показал производительность 36,61 TFlops, что позволило занять 38 место в Топ 50 суперкомпьютеров СНГ в редакции от 28 сентября 2015 года. Для оценки производительности использовалась специализированная версия Linpack [14], предоставляющая возможность использования с картами AMD. Обращает на себя внимание, что данная производительность была достигнута всего на 6 вычислительных узлах, что обеспечивает лучшую в Топ 50 производительность на узел. Максимальная производительность одиночного узла составила 7,3 TFlops, что лучше результата 6,9 TFlops, достигнутого на аналогичной установке GSI Helmholtz Center доктором D. Rorh. Большая производительность на узел, как мы полагаем, была достигнута за счет применения центральных процессоров с большей тактовой частотой, что обеспечило максимальную скорость обмена данных между графическими вычислителями и с сетью.

Система хранения показала скорость поточного чтения около 2 Gbyte/s, скорость последовательной записи порядка 1,8 Gbyte/s, что меньше предельной пропускной способности сети Infiniband FDR 4x (7 Gbyte/s), таким образом, примененное техническое решение по записи/считыванию через сеть не ограничивается ее пропускной способностью.

Система удаленного доступа на XenDesktop Server 6.2 и картах K2 в конфигурации 4 пользователя на карту показала принципиальную работоспособность с большими графическими сценами, однако нам не удалось подключить сеть Infiniband для доступа из виртуальных машин к хранилищу данных. Подключение сетевых дисков в результате было выполнено по сети Ethernet 1Gb, что снижает скорость доступа к большим данным.

В целом комплекс показал принципиальную работоспособность. В настоящее время на основе данной конфигурации разрабатывается программное обеспечение для обработки микросейсмических данных под задачи мониторинга гидроразрыва пласта, определения зон повышенной трещиноватости в сланцевых и традиционных коллекторах и других актуальных задач нефтегазового комплекса.

Заключение

Проведенные работы показали возможность создания аппаратно-программного комплекса из имеющихся стандартных компонент

для задач нефтегазовой промышленности, включающих численное моделирование, обработку больших данных и трехмерную динамическую визуализацию в удаленном режиме. Принятая архитектура и базовые программно-технические решения обеспечивают масштабируемость по вычислительной мощности, объемам хранения данных и количеству пользователей путем наращивания специализированных узлов. Ориентация на интероперабельные программные решения OpenCL обеспечивает дальнейшую модифицируемость с учетом возможной замены производителя графических вычислителей.

Опыт разработки и эксплуатации данного комплекса позволил также выявить узкие места при решении поставленной задачи. К ним относятся в первую очередь большая сложность примененных программных решений. Второй проблемой является недостаточно высокая производительность виртуальных машин и некоторые проблемы их интеграции в общую систему, в частности невозможность подключения сетевых дисков по сети Infiniband. Мы надеемся, что это временная проблема, однако общая эффективность виртуальных машин при выполнении задач, ориентированных на интенсивные вычисления на клиенте существенно, в 2-4 раза ниже, чем на аналогичной не виртуальной машине. Также потенциальной проблемой является недостаточно высокая эффективность системы хранения. Более эффективным подходом является полностью распределенная система хранения, совмещенная с вычислительными узлами, однако ее применение лимитируется отсутствием подходящего программного обеспечения с учетом специфики указанной задачи.

Численные сеточные методы, анализ больших данных методами дисперсионного анализа и визуализация воксельных данных на основе уравнения рендеринга сводятся к операциям с матрицами. Таким образом, на уровне математической постановки задачи все три составляющих программного обеспечения могут опираться на одну и ту же базовую библиотеку работы с матрицами на распределенной системе GPU. Учитывая этот факт, а также вышеприведенные проблемы представляется актуальным разработка фреймворка, обеспечивающего распределенные вычисления, хранение и обработку данных, а также трехмерную динамическую визуализацию на гомогенном наборе узлов, включающих GPU и системы хранения. Это позволит снизить сложность системного и прикладного программного обеспечения, обеспечить полную масштабируемость и модифицируемость и, в конечном счете, снизить стоимость владе-

ния высокопроизводительными комплексами для их применения в нефтегазовом секторе и промышленности в целом.

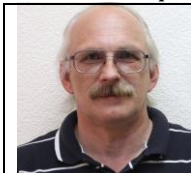
Благодарности. Авторы искренне благодарны компаниям ЗАО “Нефтеконсорциум” и ЗАО “Градиент” за огромную помощь в научно-исследовательских и практических технологических работах оказанную при создании высокопроизводительного комплекса. Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №15-07-05380).

Список литературы

- [1] Biral'tsev, E. Low frequency seismic. Experience in exploration for oil and gas in Russia // WSAM 2013 Winter school on applied modelling Well and Reservoir Characterisation, Dubai, UAE 2013.
- [2] Рыжов, Д. Метод низкочастотного сейсмического зондирования для разведки малоразмерных и сложнопостроенных залежей углеводородов / Е.В. Бириальцев, В.А. Рыжов, И.Р. Шарапов, Н.Я. Шабалин // Тезисы научно-практической конференции «Гальперинские чтения – 2014». Москва, 2014.
- [3] Шабалин, Н.Я. Пассивные микросейсмические исследования – перспективное направление геофизики при поиске, разведке и эксплуатации нефтегазовых месторождений / Н.Я. Шабалин, Е.В. Бириальцев, И.Р. Шарапов, В.А. Рыжов, С.А. Феофилов // Сборник тезисов научно-практической конференции «Эффективность решения геологических задач разведки и эксплуатации методами геофизических исследований». Тюмень, 2012.
- [4] Open Inventor for Oil & Gas, Mining, and Geosciences (High-performance 3D Software Development Tools) // FEI
URL:http://www.openinventor.com/backoffice/wp-content/uploads/OpenInventor-OilGas-Mining-Geosciences_FEI-VSG_BR.pdf
- [5] TechViz.
URL: <http://www.techviz.net/techviz-xl>
- [6] Mark Kerzner, Sujee Maniyam. Hadoop Illuminated // 2014 Open Source Hadoop Book
URL: <http://www.hadoopilluminated.com>
- [7] Jill Febowitz. The Big Deal About Big Data in Upstream Oil and Gas// IDC Energy Insights, 2012.
URL:<https://www.hds.com/assets/pdf/the-big-deal-about-big-data-in-upstream-oil-and-gas.pdf>

- [8] Kelly Walker, Diderich Buch, Integrated GPU Acceleration With Real Time Visualization Of Terabyte Data// NVIDIA GTC 2012, Hue AS/Hue Technology North America
URL:http://hue.no/sites/default/files/S0436-Integrated-GPU-Acceleration-RT-Visualization-of-Terabyte-Data_0.pdf
- [9] NVIDIA Index// Whitepaper, NVIDIA Advanced Rendering Center, May 2014.
URL:http://www.nvidia-arc.com/fileadmin/user_upload/index_2014/documents/nvidia_index_whitepaper.140505.A4.pdf
- [10] Галимов М.Р. Некоторые технологические аспекты применения высокопроизводительных вычислений на графических процессорах в прикладных программных системах / М.Р. Галимов, Е.В. Биряльцев // Вычислительные методы и программирование, 2010. Т. 11, С. 77-93.
- [11] Denis Demidov, Karsten Ahnert, Karl Rupp, Peter Gottschling. Programming CUDA and OpenCL: A Case Study Using Modern C++ Libraries SIAM Journal on Scientific Computing, 12/2012; 35(5). DOI: 10.1137/120903683
- [12] Alan Gray, Anders Sjöström, Nevena Ilieva-Litova, Best Practice mini-guide accelerated clusters// Partnership for Advanced Computing in Europe, May 2013
URL:<http://www.prace-ri.eu/IMG/pdf/Best-Practice-Guide-GPGPU.pdf>
- [13] Andy Currid, Delivering High-Performance Remote Graphics with NVIDIA GRID Virtual GPU // SIGGRAPH 2014 - ID SIG4119
URL: <http://on-demand.gputechconf.com/siggraph/2014/presentation/SG4119-Delivering-High-Performance-Remote-Graphics-NVIDIA-GRID-Virtual-GPU.pdf>
- [14] David Rohr, Matthias Bach, Matthias Kretz, Volker Lindenstruth, "Multi-GPU DGEMM and High Performance Linpack on Highly Energy-Efficient Clusters", IEEE Micro, vol.31, no. 5, pp. 18-27, September/October 2011, doi:10.1109/MM.2011.66

Об авторах:



Евгений Васильевич Биряльцев

Специалист в области специализированных информационных систем, к.т.н., автор более 50 публикаций, в том числе 3 свидетельства о регистрации программ, 2 изобретений, соавтор более 50 научно-технических отчетов по промышленному изучению геологического строения методом низкочастотного сейсмического зондирования. Участвовал в 7 грантах РФФИ, в том числе в одном как руководитель. С 2012 года генеральный директор ком-

	пании ООО «Градиент технолоджи» (резидент Сколково). <i>e-mail:</i> Igenbir@yandex.ru
	Павел Борисович Богданов Специалист в области высокопроизводительных вычислений, к.ф.-м.н., инженер, НИИСИ РАН <i>e-mail:</i> bogdanov@niisi.msk.ru
	Марат Разифович Галимов Специалист в области разработки программного обеспечения для нефтегазовой отрасли, к.т.н., заместитель директора ООО «Градиент технолоджи» <i>e-mail:</i> glmvmrt@gmail.com
	Денис Евгеньевич Демидов Специалист в области высокопроизводительных вычислений с использованием технологий GPGPU, к.ф.-м.н, с.н.с НИИСИ РАН(КазФ МСЦ). <i>e-mail:</i> dennis.demidov@gmail.com
	Александр Михайлович Елизаров Доктор физико-математических наук, профессор КФУ, директор Казанского филиала НИИСИ РАН (КазФ МСЦ), лауреат премии им. Х. Муштари Академии наук Татарстана за лучшую научную работу в области математики(1998 г.); член ученых советов, член Американского математического общества (AMS), Немецкого общества математиков и механиков (GAMM) и Международного общества по индустриальной и прикладной математике (SIAM). <i>e-mail:</i> amelizarov@gmail.com

Образец ссылки на публикацию:

Е. В. Биряльцев, П. Б. Богданов, М. Р. Галимов, Д. Е. Демидов, А. М. Елизаров. Программно-техническая платформа высокопроизводительных вычислений для нефтегазовой промышленности // Программные системы: теория и приложения: электрон. научн. журн. 201?. Т. ?, № ?(??), с. ??-??.

URL:<http://psta.psiras.ru/read/???>

E. V. Biryaltsev, P. B. Bogdanov, M. R. Galimov, D. E. Demidov,
A. M. Elizarov. HPC Platform for Oil&Gas Industry

ABSTRACT. There is a growing need in integrated software and hardware solutions for high performance computing, big data analysis, and 3D realtime visualization in the oil and gas industry.

We describe technical details and results obtained while creating such an integrated software and hardware solution, and talk about challenges and directions for further progress in the technological field.

Key Words and Phrases: general-purpose computing for graphics processing units, numerical simulation, distributed computing, GPU cluster, oil and gas industry, HPC platform.