

УДК 004.421

Б.Т. ЖУМАГУЛОВ, Н.Т. ДАНАЕВ, Д.Ж. АХМЕД-ЗАКИ, О.Н. ТУРАР

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;  
e-mail: turar\_olzhas@mail.ru*

## **Разработка модуля визуализации для Web гидродинамического симулятора ISAR-II с применением CUDA технологии\***

В данной статье описывается модуль визуализации, используемый в информационной системе анализа и разработки (ISAR-II) нефтегазовых месторождений для визуализации выходных данных расчетов на клиентской стороне. Этот модуль использует технологию параллелизации на графических устройствах CUDA, что дает гибкость программе для реализации таких логически сложных алгоритмов прорисовки, как трассировка лучей. Кроме того, в статье приводятся различные тесты, а также анализ и сравнение результатов.

*Ключевые слова:* компьютерное моделирование нефтяных месторождений, визуализация, методы трассировки лучей, технология CUDA.

*B.T. Zhumagulov, N.T. Danaev, D.Zh. Akhmed-Zaki, O.N. Turar*

### **Visualization module development for Web hydrodynamic simulator ISAR-II using by CUDA technology**

This paper describes visualization unit used in informational system of analysis and development (ISAR-II) of oil-gas fields for visualization of calculation output data on client side. This module uses CUDA technology of GPU parallelization which gives program flexibility for implementation such logical complex rendering algorithms like ray tracing. Moreover paper contain description of different experiment and comparison of results.

*Key words:* oil-fields computer modeling, visualization, ray tracing methods, CUDA technology.

*Б.Т. Жұмағұлов, Н.Т. Данаев, Д.Ж. Ахмед-Заки, О.Н. Тұрар*

### **ISAR-II Web гидродинамикалық симуляторының визуализация модулін CUDA технологиясын қолданып құру**

Бұл мақалада есептеулер нәтижесінде алынған мәліметтерді клиенттік жақта визуализациялауға арналған мұнай кен орындарын пайдалану мен талдау ақпараттық жүйесінде (ISAR-II) қолданылатын визуализация модулі сипатталады. Ол модуль сәулелерді трассалау сияқты логикалық тұрғыдан күрделі сурет шағару алгоритмдерін жүзеге асыруға мүмкіндік беретін CUDA графикалық құрылғыларында параллелизациялау технологиясын қолданады. Сонымен қатар, мақалада әр түрлі тесттер мен нәтижелерді талдау және салыстыру келтіріледі.

*Түйін сөздер:* компьютерное моделирование нефтяных месторождений, визуализация, методы трассировки лучей, технология CUDA.

\*Работа выполнена при поддержке Комитета Науки МОН РК, грант № 0728 / ГФ, гранта "Разработка параллельных алгоритмов с применением CUDA технологии для создания Web гидродинамического симулятора".

## 1. Введение

Визуализация модели пласта — очень важная составляющая большинства приложений для моделирования различных задач фильтраций. Суть визуализации состоит в графическом представлении данных с помощью определенных инструментов. В случае моделирования пласта под визуализацией будет пониматься прорисовка полигонов с помощью различных алгоритмов, определяющих цвета пикселей экрана просто по некоторому значению ячейки пласта.

Модель задается распространенным форматом Corner Point [1], представляющий пласт в виде массива ячеек. При визуализации решения сложных задач модель пласта может состоять из нескольких десятков миллионов ячеек. Количество ячеек для расчета не так критично, как для прорисовки, поскольку результаты расчета могут появляться с течением времени, тогда как в случае визуализации даже статичного набора данных необходима гладкая анимация. Особенно, когда расчет происходит на больших кластерах, а визуализация на мобильных или настольных устройствах.

Задача подразумевает интерактивность приложения, то есть пользователь должен иметь возможность взглянуть на модель с разных углов и расстояний. Для корректного вращения и движения модели на экране необходима гладкая анимация, то есть достаточно высокое (40-60) количество кадров в секунду. Что, в свою очередь, подразумевает быструю прорисовку каждого кадра.

В случаях, когда просчет вычислительных моделей происходит на кластерах и, как следствие, генерируется большое количество данных, которые необходимо визуализировать возникают проблемы с достаточной скоростью прорисовки. Решение данной проблемы очень актуально в контексте развивающейся системы мониторинга нефтегазовых месторождений. Эта система позволяющая пользователю быстро получать результат запущенных вычислений без прямого допуска к кластерам и находясь на месторождении. При этом интерфейс для управления вычислениями должен быть максимально оптимизирован.

Кроме того, было реализовано отдельное web-приложение использующее WebGL для визуализации данных в web среде. Подобное приложение очень подходит для использования в настольных и мобильных приложениях при любых условиях для запуска и получения результатов расчетов из любого места.

## 2. Методология решения

Для решения обозначенной проблемы, в первую очередь, нужно искать алгоритмические методы. Это связано с тем, что использованные ранее стандартные алгоритмы растеризации основаны на переборе примитивов модели. Хотя в использованной библиотеке OpenGL этот перебор и осуществляется параллельно на нитях GPU, он имеет плохую линейную асимптотику, и малейшее увеличение количества поступающих данных может привести к "торможению" анимации [2].

В качестве альтернативы алгоритму растеризации можно привести алгоритм обратной трассировки лучей. Этот алгоритм, который часто называют алгоритмом трассировки лучей (Ray Tracing) строит виртуальную модель наблюдателя и просчитывает лучи, испускаемые им, и их пересечения с примитивами сцены.

В отличие от растеризации, алгоритм Ray Tracing [2,3] перебирает примитивы модели только один раз — во время начальной инициализации. После этого, в каждом кад-

ре происходит только поиск конкретного примитива для каждого виртуального луча, пущенного из позиции наблюдателя. Алгоритм трассировки луча подразумевает совместное построение структуры пространственных индексов примитивов. Это структура специальных контейнеров служащая для оптимизации операции поиска примитива. Выделяется несколько видов подобных структур, часто используемых и оптимизированных для различных ситуаций.

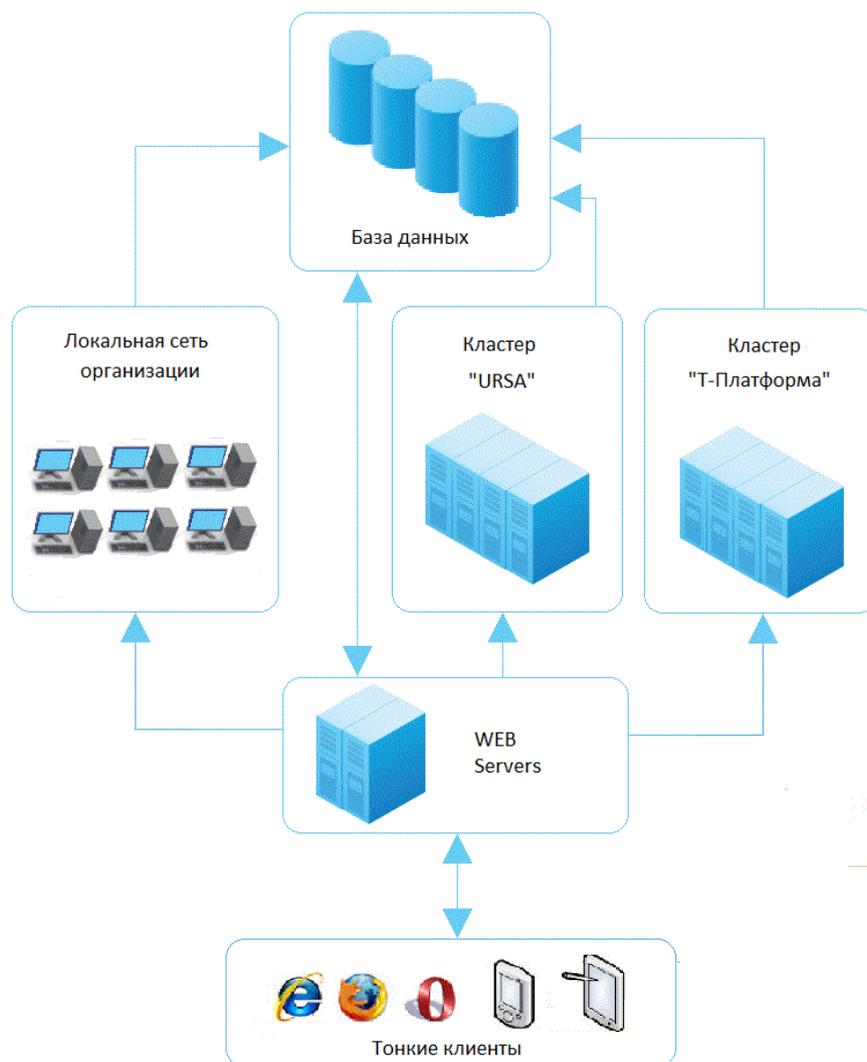


Рисунок 1. Архитектура информационной системы анализа и разработки нефтегазовых месторождений.

В представленном приложении используется структура, называемая Bounding Volume Hierarchy (BVH) [4]. Как становится понятно из названия это дерево ограничивающих объемов примитивов модели. Ограничивающим объемом (Bounding Box) понимается некоторая фигура простой формы (сфера, прямоугольник и т.д.), полностью содержащая рассматриваемый примитив. Причем при трассировке конкретного луча производится проверка на пересечение именно с ограничивающим объемом примитива. Структура BVH была использована из-за того, что она хорошо оптимизирована для рассмат-

риваемого случая, то есть простая визуализация большого массива статичных данных.

В качестве ограничивающего объема был выбран Axis Aligned Bounding Box (AABB), то есть прямоугольник, ребра которого направлены вдоль осей координат. Это было продиктовано формой заданных примитивов, которые являлись треугольниками, образующих попарно грани ячеек, представляющих собой по большей части прямоугольники с малыми деформациями.

На рисунке 1 изображена схематическая архитектура системы информационного анализа и разработки нефтегазовых месторождений. Как видно на этой схеме Web сервер имеет возможность работы либо с локальной сетью, либо с одним из высокопроизводительных кластеров. Здесь кластеры имеют разные характеристики: URSA — 600 Гфлопс, T-платформа — 3.5 ТФлопс.

Немалую роль в решении проблемы играет реализация описанного алгоритма. Для максимальной эффективности создаваемого модуля было решено использовать технологию программирования на графической среде CUDA разработанную компанией NVIDIA. Эта технология наряду с высокой скоростью отличается от шейдерных аналогов тем, что может использоваться для реализации программ, сложных не только с точки зрения ресурсоемкости, но и с точки зрения логической сложности. В связи с объемом работы для реализации пространственных индексов использовался API от компании NVIDIA Optix Ray Tracing Engine [5].

Этот API реализует аналогичные шейдерным программы на технологии CUDA, и использует их для обработки каждого события происходящего на графическом процессоре. NVIDIA Optix был выбран по следующим причинам: он специально оптимизирован для трассировки лучей для многих случаев; в нем реализованы пространственные индексы примитивов; он реализован на базе технологии CUDA.

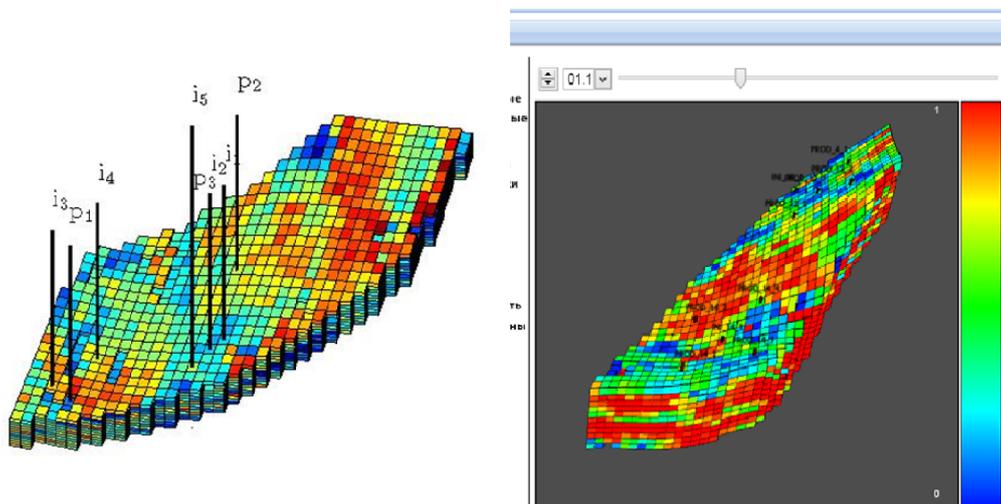


Рисунок 2. Web приложения на Matlab (слева) и WebGL (справа).

Для взаимодействия с другими модулями системы, большинство из которых написаны на языке Java, реализованный модуль был интегрирован в приложение с помощью интерфейса JNI — Java Native Interface [6]. Кроме того в дальнейшем библиотека, в которую был скомпилирован модуль и которая использовалась из кода Java, может быть

оптимизирована для использования в web среде.

### 3. Описание результатов

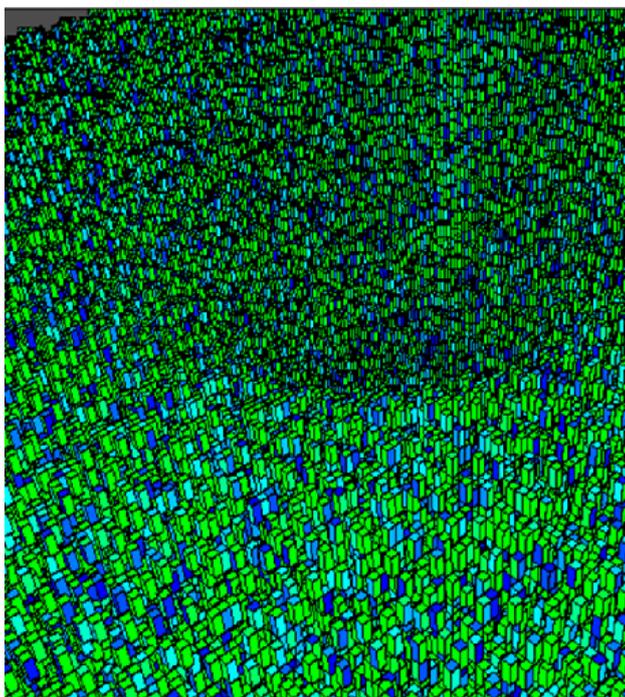


Рисунок 3. Тестирование программы на больших моделях.

Прорисовка первого Web-гидродинамического симулятора была реализована с помощью программы Mathworks Matlab. Для этого использовали панель инструментов MATLAB Reservoir Simulation Toolbox (MRST) созданной компанией SINTEF [7].

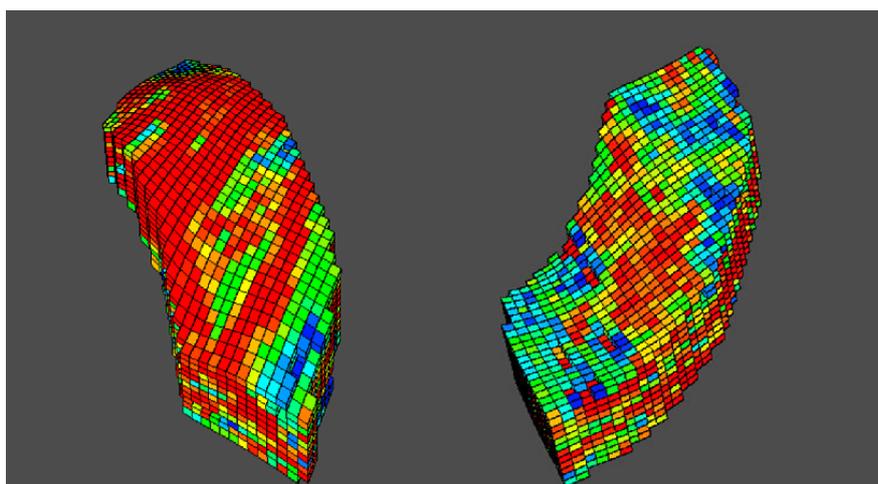


Рисунок 4. Визуализация значения песчаности на последнем варианте программы.

Следующий этап прорисовки был реализован с помощью WebGL. WebGL -библиотека для скриптового языка программирования JavaScript для создания интерактивной

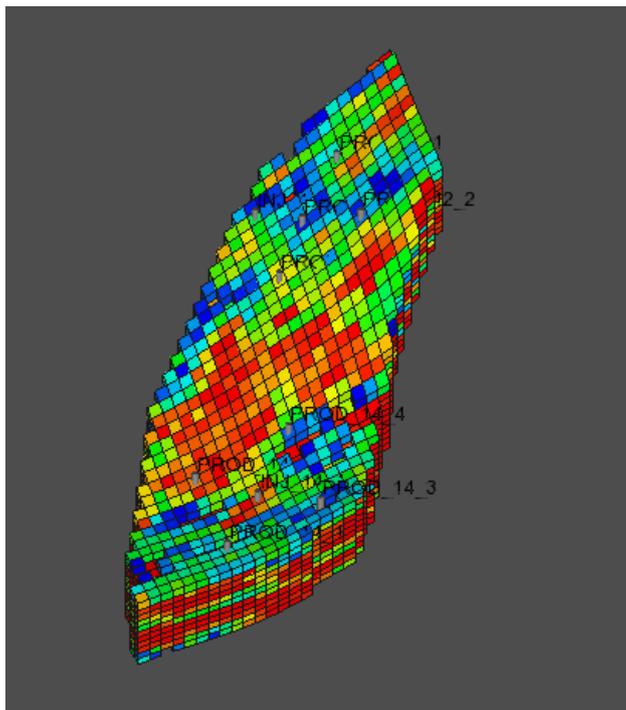


Рисунок 5. Прорисовка модели в среде tNavigator.

3D-графики, созданная некоммерческой организацией Khronos Group [8]. Это приложение могло работать с профилями в 600 тысяч полигонов, которые визуализировали до 8 миллионов блоков в профиле.

Представленная программа тестировалась на скорость визуализации для больших моделей пластов. Заданные модели пластов имели максимальное число полигонов для соответствующего количества ячеек. Таким образом, для сгенерированных тестовых данных, в 6 миллионов полигонов, которые формируют несколько десятков миллионов блоков, программа работает быстро, и анимация остается гладкой. Далее на рисунке 3 показаны критические тесты на сгенерированных моделях.

Кроме того, на моделях реальных месторождений при задании значений в ячейках они отображаются корректным образом (рис. 4), где синие цвета соответствуют малым значениям, а красные — высоким.

Далее проведено сравнение с известными пакетами программ (Schlumberger Eclipse, tNavigator), результаты демонстрирует идентичность полученных графиков (рис. 5). Кроме того, представленный визуализатор может рисовать без разбиения большинство представленных профилей пласта [9]. Тем самым представленный программный комплекс является веб ориентированным и позволяет получить доступ через интернет к визуализацией объемных профилей месторождений.

Были проведены анализ и сравнение проделанной работы с аналогичными исследованиями [10]. В этих исследованиях модуль визуализации осуществлен путем доступа к серверной части, то есть между действиями пользователя и соответствующей анимацией происходит отправка запроса и получения данных. В отличие от этих работ представленный модуль работает на одном устройстве и таким образом достигается необходимая скорость прорисовки без уменьшения количества визуализируемых данных.

#### 4. Планы на будущее

Представленная система является частью проекта "Модернизация информационной системы анализа и разработки (ИСАР-II) нефтегазовых месторождений" по договору № 27, от 04.02.2013, а так же проекта "Разработка параллельных алгоритмов с применением CUDA технологии для создания Web гидродинамического симулятора" по договору № 1361, от 10.04.2012. Изначально по проекту были поставлены цели в части визуализации объемных сложных неоднородных моделей пласта в Web среде, большинство из которых на данный момент реализовано. Запланированы работы касательно полной интеграции разработанного Cuda приложения с мобильными платформами (планшеты, смартфоны и т.д.). В то же время имеется ряд технологических трудностей связанных с отставанием поддержки Cuda технологий существующими техническими возможностями мобильных платформ, а также вопросы программирования на таких сложных платформах, которое требует высоких квалификаций от программистов-реализаторов.

#### Список литературы

- [1] Schlumberger Eclipse. Справочное руководство. // Schlumberger Information Solutions. – 2003. – Версия 2003A\_1. – 2030 p.
- [2] *Akenine-Moller T., Haines E., Hoffman N.* Real-Time Rendering. – Third Edition. – CRC Press. – 2008. – 1045 p.
- [3] *Glassner A.S.* An Introduction to Ray Tracing. – Morgan Kaufmann Publishers. – 1989. – 368 p.
- [4] *Lauterbach C., Garland M., Sengupta S., Luebke D., Manocha D.* Fast BVH Construction on GPUs. // EUROGRAPHICS. – 2009. – V.28. – pp. 1237-1246.
- [5] *Parker S.G., Bigler J., Dietrich A., Friedrich H., Hoberock J., Luebke D., McAllister D., McGuire M., Morley K, Robison A., Stich M.* OptiX: A General Purpose Ray Tracing Engine. // ACM Transactions on Graphics. – 2010. – V.29. – No.4 – 13 p.
- [6] *Liang S.* The Java Native Interface: Programmer's Guide and Specification (The Java Series). – Addison-Wesley Professional. – 1 edition. – 1999. – 320 p.
- [7] *Lie K.-A., Krogstad S., Ligaarden I.S., Natvig J.R., Nilsen H.M., Skaflestad B.* Open source MATLAB implementation of consistent discretisations on complex grids. // Comput. Geosci. – 2012. - V.16. – No.2. – pp. 297–322.
- [8] WebGL - OpenGL ES 2.0 for the Web. – 2009. – (<http://www.khronos.org/webgl/>).
- [9] Суперкомпьютеры в гидродинамическом моделировании. – 2011. – ([http://rfdyn.com/ru/technology/supercomputers\\_hydrodynamic\\_modeling](http://rfdyn.com/ru/technology/supercomputers_hydrodynamic_modeling))
- [10] *Mc Lane J.C., Czech W.W., Yuen D.A., Knox M.R., J.B.S.G. Greensky, Kameyama M.C., Wheeler V.M., Panday R., Senshu H.* Ubiquitous Interactive Visualization of 3-D Mantle Convection through Web Applications Using Java. // Proceedings of 4th International Symposium, ISVC 2008. – 2008. – Part II. – pp. 1011-1021.

## References

- [1] Schlumberger Eclipse. Spravochnoe rukovodstvo. // Schlumberger Information Solutions. – 2003. – Versiya 2003A\_1 – 2030 p.
- [2] *Akenine-Moller T., Haines E., Hoffman N.* Real-Time Rendering. – Third Edition. – CRC Press. – 2008. – 1045 p.
- [3] *Glassner A.S.* An Introduction to Ray Tracing. – Morgan Kaufmann Publishers. – 1989. – 368 p.
- [4] *Lauterbach C., Garland M., Sengupta S., Luebke D., Manocha D.* Fast BVH Construction on GPUs. // EUROGRAPHICS. – 2009. – V.28. – pp. 1237-1246.
- [5] *Parker S.G., Bigler J., Dietrich A., Friedrich H., Hoberock J., Luebke D., McAllister D., McGuire M., Morley K, Robison A., Stich M.* OptiX: A General Purpose Ray Tracing Engine. // ACM Transactions on Graphics. – 2010. – V.29. – No.4 – 13 p.
- [6] *Liang S.* The Java Native Interface: Programmer's Guide and Specification (The Java Series). – Addison-Wesley Professional. – 1 edition. – 1999. – 320 p.
- [7] *Lie K.-A., Krogstad S., Ligaarden I.S., Natvig J.R., Nilsen H.M., Skaflestad B.* Open source MATLAB implementation of consistent discretisations on complex grids. // Comput. Geosci. – 2012. - V.16. – No.2. – pp. 297–322.
- [8] WebGL - OpenGL ES 2.0 for the Web. – 2009. – (<http://www.khronos.org/webgl/>).
- [9] Superkomp'yutery v gidrodinamicheskom modelirovanii. – 2011. – ([http://rfdyn.com/ru/technology/supercomputers\\_hydrodynamic\\_modeling](http://rfdyn.com/ru/technology/supercomputers_hydrodynamic_modeling))
- [10] *Mc Lane J.C., Czech W.W., Yuen D.A., Knox M.R., J.B.S.G. Greensky, Kameyama M.C., Wheeler V.M., Panday R., Senshu H.* Ubiquitous Interactive Visualization of 3-D Mantle Convection through Web Applications Using Java. // Proceedings of 4th International Symposium, ISVC 2008. – 2008. – Part II. – pp. 1011–1021.

*Поступила в редакцию 19 сентября 2013 года*