

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
АТЫРАУСКИЙ ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА  
НАЦИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. аль-Фараби  
НИИ МАТЕМАТИКИ и МЕХАНИКИ КазНУ им. аль-Фараби  
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СО РАН  
ИНСТИТУТ ГИДРОДИНАМИКИ им. М.А. Лаврентьева СО РАН**

**Сборник трудов  
VIII Казахстанско-Российской  
международной научно-практической конференции  
«Математическое моделирование  
в научно-технологических и экологических проблемах  
нефтегазовой отрасли»**

**Атырау, 2014**

УДК 665.6:519.8  
ББК 26.343.1  
М82

**Математическое моделирование в научно-технологических и экологических проблемах нефтегазовой отрасли:** Сборник трудов VIII Казахстанско-Российской международной научно-практической конференции (20-21 июня 2014 г.). – Атырау: Атырауский институт нефти и газа МОН РК, 2014. – 616 с.

ISBN 978-9965- 9895-1-3

В сборник включены доклады VIII Казахстанско-Российской международной научно-практической конференции «Математическое моделирование в научно-технологических и экологических проблемах нефтегазовой отрасли».

Тематика докладов сконцентрирована вокруг следующих научных направлений:

- перспективы развития нефтегазового комплекса;
- математическое моделирование динамики многофазных сред;
- вычислительные и информационные технологии в решении проблем нефтегазового комплекса;
- экологические и социально-экономические проблемы нефтегазового комплекса;
- инновационные технологии в науке, технике и образовании.

УДК 665.6:519.8  
ББК 26.343.1

**Председатель организационного комитета:** Д.У. Кульжанов

**Координатор:** Д.М. Диарова

**Редакционная коллегия:** Б.Б.Оразбаев, Е.Ш.Миназова, З.Б.Бегишанова, Ж.Д. Габбасова, Э.К. Дербисинова, У.К. Койбакова, А.Б. Турниязова

ISBN 978-9965- 9895-1-3

© Атырауский институт нефти и газа, 2014

|   |     |
|---|-----|
| <b>Д.Ж. Ахмед-Заки, М.Е. Мансурова, Б. Маткерим, А.С. Шоманов, Б.А. Кумалаков</b> Распределенный параллельный алгоритм численного решения 3d задачи движения жидкости в упругой пористой анизотропной среде с применением технологий MAPREDUCE и MPI..... | 368 |
| <b>Д.Ж. Ахмед-Заки, О.Н. Турар, Б.С. Дарибаев</b> Визуализация нефтегазового пласта на мобильных устройствах с помощью CUDA технологии.....   | 373 |
| <b>Т.Т. Бекибаев, Б.К. Асилбеков, У.К. Жапбасбаев, К.А. Турегельдиева, А.К. Асилбекова</b> Моделирование соляно-кислотной обработки призабойной зоны скважины с учетом загрязненности породы.....   | 377 |
| <b>А.Я. Бомба, Е.Н. Гладкая</b> О математическом моделировании нелинейных процессов вытеснения нефти с учетом образования трещин гидроразрыва пласта.....   | 381 |
| <b>Ж.Д. Габбасова, Б.Б. Оразбаев, Ш.К. Коданова</b> Математическая модель процесса рассеивания вредных выбросов и их оседания на поверхности земли.....   | 387 |
| <b>З.К. Джуламанова</b> Напряженно-деформированное состояние двух полостей прямоугольного сечения неглубокого заложения в условиях ползучести .....   | 393 |
| <b>Н.Г. Джусамухамбетов, В.А. Яшков</b> Экономико-математические модели оптимизации надежности систем электроснабжения объектов нефтегазового комплекса .....   | 396 |
| <b>Ф.Р. Гусманова, Б.К. Шеркембаева</b> Сыртқы әсері жоқ гидравликалық жетектің орнықтылығы.....  | 400 |
| <b>А.А. Елеуов, Р.А. Елеуова</b> Вычисление собственных значений и собственных векторов матрицы.....  | 407 |
| <b>Д.Б. Жакебаев, А.У. Абдибекова</b> Численный метод решения вырождения МГД турбулентности при больших числах Рейнольдса.....  | 414 |
| <b>Д.Б. Жакебаев, В. Мукамеденкызы, А.П. Кизбаев</b> Численное моделирование возникновения неустойчивости механического равновесия в газовой системе Ar-He.....   | 420 |
| <b>У.К. Жапбасбаев, Е.С. Махмудов, С.А. Рзиев, Т.Т. Бекибаев, Г.И. Рамазанова</b> Расчеты энергосберегающих режимов магистральных насосов.....  | 423 |
| <b>Т.С. Иманкулов, С.Т. Мухамбетжанов, Д.Ж. Ахмед-Заки</b> Проектирование ИСАР-II в рамках концепции I-FIELDS: распределенная высокопроизводительная система анализа гелеполимерного заводнения .....   | 428 |
| <b>С.Ш. Исакова, Л.Ж. Косетова, К.Н. Оразбаева, Б.Б. Оразбаев</b> Анизотропты уақ кеуек ортадағы стационар емес бір текті сұйықтықтың қозғалысының модельдері және сүзгілеу есебін сандық шешу тәсілдері.....   | 434 |
| <b>С.Ш. Исакова, Ж.Ж. Молдашева, Б.Е. Өтенова, Б.Б. Оразбаев</b> Сөйлеудің просодикалық және акустикалық сипаттамаларын зерттеу.....  | 440 |
| <b>Ф.Б. Кайрлиева, А.С. Буканова, Г.Н. Мухамбетова, А.И. Адилханов</b> Применение математических методов для прогнозирования процесса прокаливания нефтяного кокса на АНПЗ.....   | 445 |
| <b>Ш.К. Коданова, Ж. Ж. Калимова, К.Н. Оразбаева, Б.Б. Оразбаев</b> Классификациялау және бейне тану есептерінде жасанды нейрондық желіні қолдану мәселелері.....   | 449 |
| <b>К.Т. Кулманова, Т.Г. Балгереев</b> Особенности моделирования разливов нефти на Каспии.....   | 455 |
| <b>Д. С. Куранаков, Д. В. Есипов, В. Н. Лапин, С. Г. Черный</b> Трёхмерная численная модель зарождения трещин, учитывающая «эффект размера».....  | 460 |
| <b>В.Н. Лапин, С.Г. Черный, Д.В. Есипов, Д.С. Куранаков</b> Трёхмерная модель зарождения и распространения трещины от полости в упругой среде нагруженной постоянным давлением.....   | 466 |
| <b>Д.В. Лебедев, В.А. Перепелкин</b> Фрагментированная программа численного решения уравнения теплопроводности в системе LUNA.....  | 473 |
| <b>Б. Мәткерім, Д.Ж. Ахмед-Заки</b> MDD методологиясын мұнай-газ саласы мәселелерін шешуге арналған жоғары өнімді есептеу қосымшаларын жобалау және өндеуде пайдалану.....  | 477 |
| <b>М.Ж. Мукимбеков, М.Т. Накибаева</b> Моделирование трехмерной задачи трехфазной фильтрации для нагнетания углекислого газа в пласт.....   | 482 |
| <b>А.Н. Мырзашева, Д.К. Тлегинова</b> Математическое моделирование установившегося поля распределения температуры по длине стержня из сплава АНВ-300, при наличии локальной температуры.....  | 487 |
| <b>Б.Б. Оразбаев, К.Н. Оразбаева, Б.Е. Утенова, Л.Т. Курмангазиева</b> Математическое моделирование распространения нефтяного пятна в условиях Северного Каспия.....  | 492 |
| <b>З.Х. Павлова</b> Математическое моделирование напряженного состояния труб магистрального   |     |

21. Biardzki C., Ludwig T. Analyzing Metadata Performance in Distributed File Systems. // In: Malyshkin, V. (ed.): PACT 2009. LNCS. – 2009 – Vol. 5698. – P. 8-18.
22. Ekanayake J., Li H., Zhang B., Gunarathne T., Bae S.-H., Qiu J., Fox G. Twister: a runtime for iterative MapReduce // In: HPDC 2010. ACM. – 2010. – P. 810-818.
23. Bu Y., Howe B., Balazinska M., Ernst M.D., The HaLoop approach to large-scale iterative data analysis // VLDB journal 21(2). – 2012. – P. 169-190.  
<http://en.wikipedia.org/Memory-mapped-file>.
24. Иманкулов Т.С., Мухамбетжанов С.Т., Ахмед-Заки Д.Ж. Моделирование обобщенной плоской фильтрации жидкости в деформируемой среде // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. Вычислительные технологии. – Часть 1, 2013 г., № 3. – с. 183-191.

УДК 519.713; 519:711:53

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО ПЛАСТА НА МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ С ПОМОЩЬЮ CUDA ТЕХНОЛОГИИ

Д.Ж. Ахмед-Заки, О.Н. Турар, Б.С. Дарибаев

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан  
darhan.ahmed-zaki@kaznu.kz, turar\_olzhas@mail.ru, beimbet.daribayev@kaznu.kz

The article examines the use of technology for computing on NVIDIA graphics devices NVIDIA CUDA to render models of oil and gas reservoir. It describes used visualization algorithm and shows test results of a desktop application that uses a special NVIDIA Optix Ray Tracing Engine library for implementing ray-tracing algorithm. There also described the new mobile technology that allows running a program using modules of CUDA technology to draw the reservoir model.

**Введение.** Технология CUDA – одна из самых прогрессивных и передовых в проведении расчетов на видеокартах. Используя все превосходства NVIDIA GPU, CUDA позволяет программисту создавать параллельные алгоритмы, которые могут работать в сотни раз быстрее, чем написанная только на CPU эквивалентная программа. В приложении CUDA CPU используется для выделения памяти буферам, запуска ядер CUDA, и анализа результата. GPU выполняет синхронную обработку огромного количества данных и обеспечивает работу модели, которая может быть применена на большой сетке так, что каждая нить-поток будет отвечать один узел сетки.

В статье рассматривается процесс визуализации с помощью этой технологии и те преимущества, которые она может показать относительно шейдерных языков таких, как OpenGL и DirectX. Визуализация нефтегазового пласта с помощью этой технологии позволит пользователям запускать задачи и работать с большими пластами на малых настольных или мобильных устройствах, тем самым обеспечивая точность и скорость при работах на месторождениях. Основной отличительной чертой визуализации с помощью технологий, предназначенных для параллельных расчетов на видеокартах таких, как CUDA, является возможность реализации сложных алгоритмов Ray Tracing [1], Ray Casting и др., ощутимо оптимизирующих и улучшающих визуализацию. В статье особенный интерес падает на мобильные устройства, которая визуализации нефтегазового пласта реализуется именно на этих устройствах.

**Визуализация с помощью технологии CUDA и специальной библиотеки NVIDIA Optix Ray Tracing Engine.** Рассмотрим вариант вызова функции на видеокарте с использованием классического функционала CUDA, в качестве аргументов для которой

передаются буферы вывода, глубины, координат и цветов, количества примитивов и данных наблюдателя.

```
if( isIntersect( camPos + offset, triangleIndex ) {  
    float zValue = zIntersect( camPos + offset, triangleIndex );  
    if( zbuf[x][y] == -1 || zValue < zbuf[x][y] ) {  
        zbuf[x][y] = zValue;  
        output[x][y] = make_uchar4( color[triangleIndex], 255 );  
    }  
}
```

Здесь приведен код программы простой проверки пересечения луча и треугольника. Переменная `triangleIndex` означает индекс рассматриваемого треугольника. Подразумевается, что этот участок кода выполняется не простым перебором для всех примитивов модели пласта, а находит необходимые примитивы с помощью иерархической структуры контейнеров для примитивов за логарифмическое время работы. Нахождение необходимой структуры пространственных контейнеров и их индексация определяются поставленной задачей, от правильной реализации этой структуры зависит эффективность работы всего модуля визуализации.

Для реализации эффективного алгоритма трассировки лучей была выбрана библиотека NVIDIA Optix Ray Tracing Engine. NVIDIA OptiX был выбран по причине того, что он реализован на базе технологии CUDA, тогда как OpenGL, DirectX и другие библиотеки, применяемые для визуализации, используют для выполнения на видеокарте шейдерные языки, отстающие в производительности от CUDA [2]. Кроме того, CUDA изначально оптимизирована для сложных вычислений, которые необходимы для реализации алгоритма трассировки лучей.

Визуализируемая модель пласта получается путем сканирования реального пласта и задается в специальном формате. На рисунке 1 показана визуализация тестовой сгенерированной модели заданной в том же формате, прорисованная на клиентском настольном приложении в реальном времени.

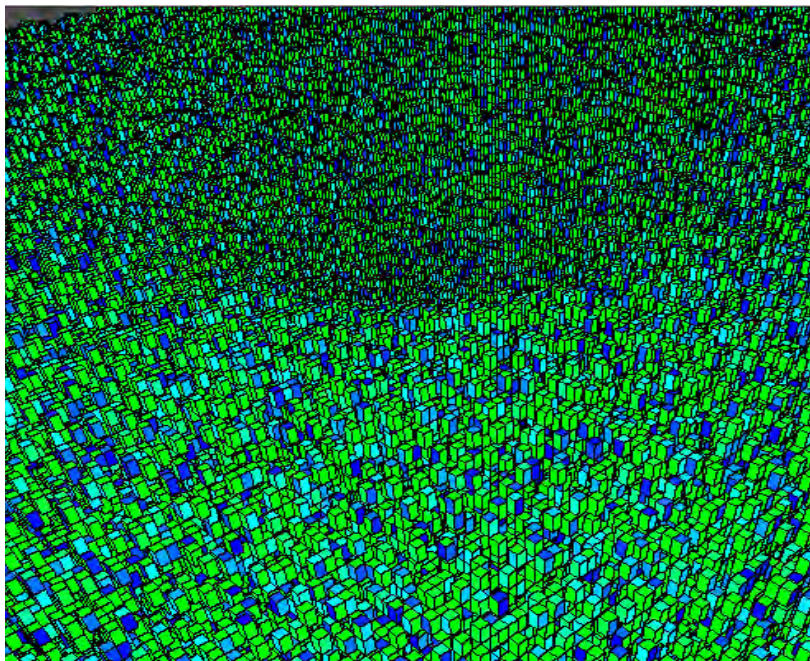


Рисунок 1 - Тестирование работы программы на входных данных, содержащих 6611916 треугольников

Поставленная задача подразумевает визуализацию очень большого количества статичных данных в реальном времени. Лучше всего в данной ситуации подходит построение пространственных индексов в виде BVH деревьев (Bounding Volume Hierarchy), то есть, иерархии ограничивающих объемов [3]. Это бинарное сбалансированное дерево прямоугольников, ориентированных вдоль осей декартовой системы координат, взятых в качестве ограничивающих объемов. Корневым элементом дерева считается ограничивающий объем всей модели. На рисунке 2 показано бинарное дерево, построенное на группе различных двумерных объектов.

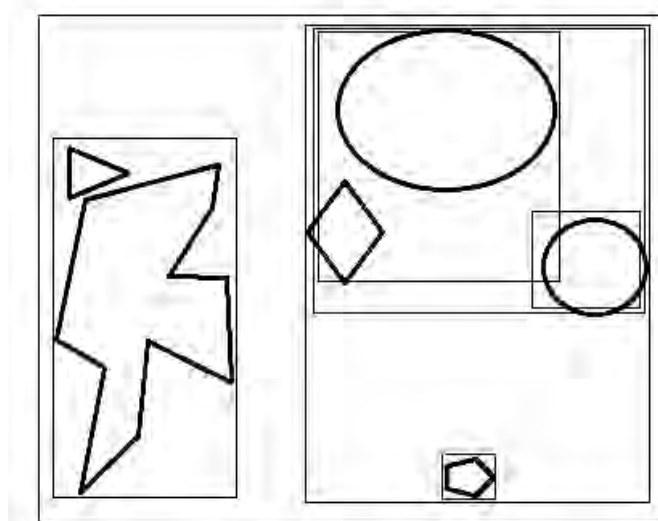


Рисунок 2 – Схематическое представление дерева BVH в двумерном случае

В январе 2014 года был анонсирован технический мобильный процессор в NVIDIA Tegra K1 с поддержкой CUDA. Поэтому было решено реализовать визуализацию нефтегазового пласта, используя технологию CUDA. Tegra K1 создан на базе той же архитектуры NVIDIA Kepler, которая является основой самых быстрых суперкомпьютеров. Tegra K1 – единственный в мире мобильный GPU с поддержкой CUDA, самого инновационного языка для программирования вычислений на GPU. Это означает, что теперь можно рассчитывать на еще более впечатляющую графику, мощные вычислительные возможности и по настоящему уникальные возможности на любом устройстве на базе Tegra K1. Архитектура переменной симметричной многопроцессорной обработки NVIDIA позволяет использовать четыре производительных ядра для задач, требующих максимальной производительности, когда это необходимо, при этом каждое ядро является автономным и автоматически включается и выключается в зависимости от рабочей нагрузки [4]. Китайская компания Xiaomi представила свой первый планшет MiPad, который, по совместительству, является первым коммерческим продуктом на платформе NVIDIA Tegra K1.

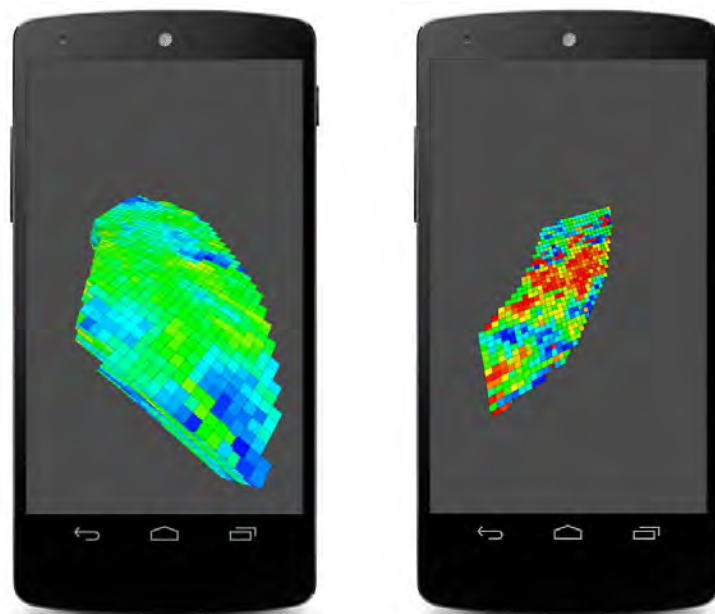


Рисунок 3 – Примеры пластов на мобильном устройстве на разных профилях

При визуализации пласта на мобильных устройствах использовалась технология OpenGL ES 2.0 на базе Android. OpenGL ES 2.0 - подмножество графического интерфейса OpenGL, разработанное специально для встраиваемых систем: мобильных телефонов, карманных компьютеров, игровых консолей. OpenGL ES определяется и продвигается консорциумом Khronos Group, в который входят производители программного и аппаратного обеспечения, заинтересованные в открытом API для графики и мультимедиа. При расчете и визуализации использовались стандартные потоки Android для ускорения прорисовки пласта на мобильных устройствах. На рисунке 3 представлены примеры пластов прорисованных с помощью OpenGL ES 2.0 для мобильных устройств [5].

**Заключение.** Описанный в первой половине статьи алгоритм полностью реализован для настольного приложения и приведены результаты тестов его работы. Для сравнения, аналогичная задача, решенная с помощью классического алгоритма растеризации, обеспечиваемого библиотеками OpenGL или DirectX, может визуализировать только модели, не превышающие нескольких сотен тысяч полигонов. Алгоритм трассировки лучей реализован с использованием языков C++ и Java посредством интерфейса JNI (Java Native Interface). Таким образом, он может быть с легкостью перенесен на соответствующую платформу, в частности на Android.

### Литература

1. Andrew S. Glassner. An Introduction to Ray Tracing. – Academic Press, 1989. – 327 p.
2. NVIDIA® OptiX™ Ray Tracing Engine Programming Guide, Version 3.0. – NVIDIA Corporation, 2012. – 79 p.
3. [http://developer.download.nvidia.com/assets/tools/files/optix/3.0.1/NVIDIA-OptiX-SDK-3.0.1-OptiX\\_Utility\\_Library\\_Reference.pdf](http://developer.download.nvidia.com/assets/tools/files/optix/3.0.1/NVIDIA-OptiX-SDK-3.0.1-OptiX_Utility_Library_Reference.pdf)
4. <http://www.nvidia.ru/object/tegra-k1-processor-ru.html>
5. <http://developer.android.com/training/graphics/opengl/index.html>