



ISSN 1606-146X

№ 3 (57)
2015

Қазақстан Республикасы
Ұлттық инженерлік академиясының
Х А Б А Р Ш Ы С Ы
В Е С Т Н И К

Национальной инженерной академии
Республики Казахстан



CONTENTS

A SOLEMN MEETING DEVOTED TO THE 550 ANNIVERSARY OF THE KAZAKH KHANATE

The speech of the President of the Republic of Kazakhstan, N. A. Nazarbayev at the solemn meeting devoted to the 550 anniversary of the Kazakh Khanate	5
--	---

INFORMATION TECHNOLOGIES AND APPLIED MATHEMATICS

<i>Charibaeva S., Ayaganov Ye. T.</i> Robust control system object with delay	14
<i>Masanov Zh. K., Nurakhmetov B. K., Sartayev K. Z., Myrzageldiyeva Zh. M.</i> Dynamics of deformable manipulators	20
<i>Tuganbaev M. M.</i> Conversion methods in direct and inverse problems of migration	27
<i>Orynbet M. M., Burlibay A. A.</i> Method of optimal boundary control of a class of objects with distributed parameters	33
<i>Agybaev A. S.</i> Uniformly paraperfect mappings	39
<i>Turar O. N., Daribaev B. S., Akhmed-Zaki D. Zh.</i> Development of a high-performance visualization module for a web hydrodynamic simulator	44

MINING AND METALLURGY

<i>Bitimbayev M. Zh., Kuzmin S. L., Oryngozhin Ye. S.</i> Design of a lift for containerized technology on a quarry	51
<i>Bitimbayev M. Zh., Kuzmin S. L., Oryngozhin Ye. S.</i> Application of mine excavators as a lift at containerized technology	56
<i>Adryshev A. K., Seraya N. V., Khayrullina A. A., Daumova G. K.</i> The research of the new complex nanostructured sorbents for cleaning of wastewater in the metal-processing industry	64

NEWS OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

MECHANICS AND MACHINE BUILDING

<i>Ukrainets V. N., Otarbayev J. O., Giris S. R.</i> Action of transport loads normal and tangential to reinforce a two-layer lining's tunnel	74
<i>Korolyov A. V., Tyurin A. N., Korolyov A. A.</i> Whirlpool abrasive - liquid surface treatment	82

О. Н. ТУРАР, Б. С. ДАРИБАЕВ, Д. Ж. АХМЕД-ЗАКИ

Казахский национальный университет им. аль-Фараби

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО WEB СИМУЛЯТОРА

Рассматривается создание специализированного программного модуля визуализации для web симулятора нефтегазовых месторождений. Описываются процесс создания модуля и результаты тестирования программы на «больших» входных данных. Приведены сравнения с программами ведущих производителей аналогичных приложений симуляторов.

Ключевые слова: web симулятор, Ray Casting, Ray Tracing, CUDA.

Бұл мақалада мұнай және газ кен орындарының web симуляторына арнайы программалық визуализациялық модульді құру қарастырылады. Модульді құру процесі мен программаны «үлкен» кіріс мәліметтерінде тестілеу нәтижелері сипатталады. Жетекші өндірушілердің бағдарламаларымен ұқсас симуляторларды салыстыру қарастырылады.

Кілттік сөздер: web симулятор, Ray Casting, Ray Tracing, CUDA.

This paper considers the creation of a specialized visualization module for web simulator of oil and gas fields. It describes the process of creating a module and test results of the program to the «big» input data. Comparisons with programs of the leading manufacturers of similar simulators are presented.

Keywords: websimulator, Ray Casting, Ray Tracing, CUDA.

Введение. Повышение уровня современных вычислительных технологий, позволяющих оперировать с данными экзафлопсного диапазона, а значит и моделировать различные физические и химические процессы, протекающие в областях, на которых строятся вычислительные сетки, содержащие огромное количество элементарных объемов и узлов, в последние годы привело к необходимости развития метода отображения получаемых данных. С этой целью развиваются высокопроизводительные методы визуализации результатов расчетов на высокопроизводительных кластерах и распределенных системах, позволяющие адекватно в плане времени и ресурсов аппаратно прорисовывать эти результаты.

В статье описываются способы оптимизации прорисовки алгоритмически, т.е. с использованием альтернативных алгоритмов, позволяющих улучшить асимптотическую сложность процедуры рисования одного кадра. В частности, приводится описание и преимущество алгоритма Ray Casting, являющегося частным случаем алгоритма трассировки лучей Ray Tracing [1]. Для реализации этого алгоритма используется специальная графическая библиотека NVIDIA Optix [2], работающая на технологии CUDA, поскольку она по умолчанию реализует трассировку лучей в отличие от альтернативных библиотек OpenGL и DirectX, которые применяют по умолчанию алгоритм растеризации. Также приведено множество примеров работы модуля для сравнения с аналоговыми программными продуктами Schlumberger Petrel, Rock Flow Dynamics tNavigator и др. Возможности производительности модуля продемонстрированы с помощью специально созданных стресс-тестов.

Описание проблемы. В случаях, когда визуализация происходит на месте проведения расчетов или тем или иным способом привязана к одному конкретному устройству, можно использовать специальные компьютеры для максимизации производительности прорисовки.

К сожалению, описываемый модуль визуализации не относится к подобному случаю, поскольку ориентирован на применение специалистами удаленно с широкого спектра устройств, включая мобильные устройства, поддерживающие аппаратное ускорение вычислений на видеопроцессорах. Речь идет о визуальном модуле, используемом как в виде приложения на устройстве, так и в виде программы, работающей на платформе браузера, которые обязаны корректно отображать данные результатов расчетов, проводимых на вычислительных кластерах с производительностью в несколько терафлопсов, например кластеров URSA и TPlatform механико-математического факультета Казахского национального университета. С учетом темпов развития Интернета в Казахстане и того, что это программное обеспечение будет использовано специалистами, проблемы передачи визуализируемых данных клиенту не будут здесь рассматриваться. Статья направлена на освещение только визуализации и способов ее оптимизации. Для такого программного продукта критично максимально возможное ускорение как аппаратными, так и алгоритмическими средствами.

Метод визуализации. Для реализации настольного модуля использовались технологии CUDA и алгоритм Ray Casting. При этом в качестве контейнеров будут применяться AABB – параллелепипеды, ориентированные вдоль осей координат.

Этот алгоритм примечателен тем, что для каждого выводимого пикселя построенный луч рассчитывает пересечение только с одним полигоном сцены. Алгоритм Ray Casting широко используется для прорисовки большого количества данных, сцен с таким количеством примитивов, что алгоритмы растеризации с любой степенью оптимизаций физически не могут визуализировать. Это связано с тем, что алгоритмы растеризации, применяемые по умолчанию в библиотеках OpenGL и DirectX, должны сделать перебор по всем видимым объектам визуализируемой модели, тогда как сложность алгоритмов трассировки лучей и, в частности, алгоритма Ray Casting зависит только от количества выводимых полигонов, причем зависит линейно. Это имеет значение, когда количество примитивов в модели становится сравнимым, а то и превосходит количество пикселей на экране монитора.

Архитектура приложения. Наиболее подходящей технологией для реализации описанных алгоритмов является технология параллелизации с использованием GPU. Поскольку альтернативные шейдерные технологии по умолчанию сконструированы и оптимизированы для использования алгоритмов растеризации, то реализовать алгоритм Ray Casting на них крайне сложно и неэффективно. Однако использование изначально оптимизированной для сложных математических расчетов технологии параллелизации на GPU предоставляет инструментарий необходимого уровня гибкости. Поэтому для реализации поставленной задачи хорошо подходит технология CUDA, предоставляемая компанией NVIDIA и показывающая наибольшую эффективность на устройствах этой компании. Для самой визуализации используется фреймворк NVIDIA Optix Ray Tracing Engine [2], предоставляющий функционал для эффективного программирования различных вариаций алгоритма трассировки лучей.

Optix дает возможность работы с инструментарием, аналогичным OpenGL, а именно возможность создания контекста и работы со всеми остальными элементами как с потомками главного контекста программы. В роли шейдеров используются специальные программы, написанные с синтаксисом CUDA программ и скомпилированные в формат rtx.

В программе визуализации, использующей алгоритм трассировки лучей, зачастую необходима определенная индексация визуализируемых полигонов. Так как для каждого пикселя сцены осуществляется поиск пересекаемого полигона, при реализации примитивного перебора асимптотика работы программы возрастает экспоненциально. В этом случае для каждого пикселя сцены придется сделать перебор всех примитивов, находящихся в поле видимости. Даже если этот процесс запускать параллельно на множестве потоков, он будет крайне неэффективен. Поэтому вместе с алгоритмами трассировки лучей почти всегда реализуются различные алгоритмы пространственной индексации.

Под пространственной индексацией подразумевается некоторая структура, содержащая полигоны таким образом, что время поиска нужного примитива значительно сокращается. В описываемой программе использовалось BVH-дерево, в котором потомки являются ограничивающими объемами, построенными над подмножествами примитивов текущего узла.

Примеры работы модуля. Далее приводятся сравнения результатов работы представленного модуля визуализации и аналогичных визуализаторов программ Petrel [3] и tNavigator [4]. Для начала приведены результаты визуализации модели участка Восточный Молдабек месторождения Кенбай [5] АО «Разведка Добыча Казмунайгаз». Данные множества пластов, заданных в рассматриваемом формате, имеют ячейки с «плохими» начальными значениями данных. К примеру, на рисунках визуализации модели месторождения Восточный Молдабек в программе Petrel (рисунок 1) и представленном модуле визуализации (рисунок 2) можно заметить участки, сильно отличающиеся по формату от остальной модели. На этих участках, а также на некоторых поверхностных ячейках значения входных данных равны нулю. Так же, как и программа Petrel (рисунок 3), представленный модуль (рисунок 4) имеет возможность визуализации пласта без отрисовки этих областей.



Рисунок 1 – Неотредактированная модель месторождения Восточный Молдабек, нарисованная в программе Petrel

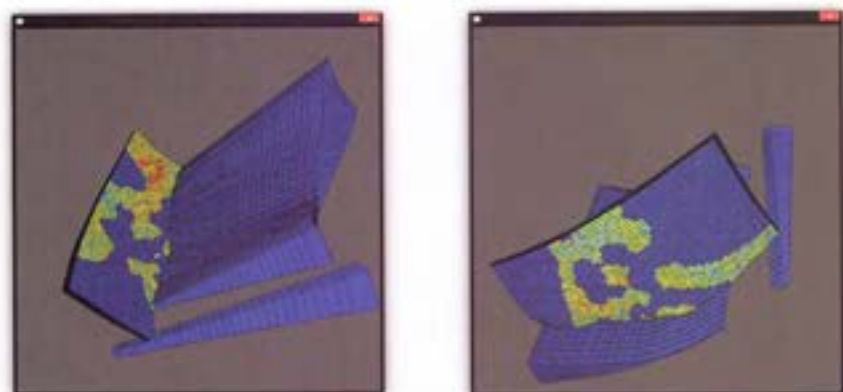


Рисунок 2 – Снимки неотредактированной модели месторождения Восточный Молдабек, сделанные в представленном модуле визуализации

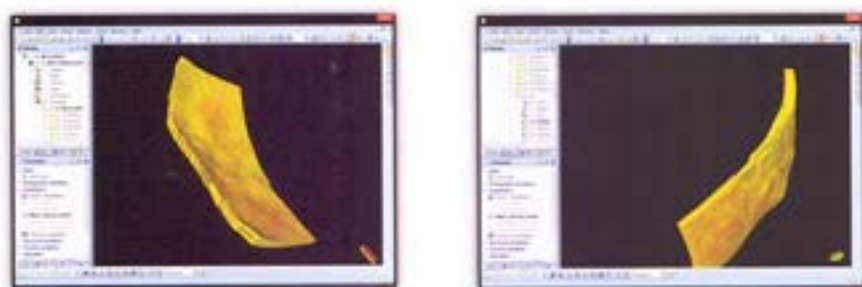


Рисунок 3 – Снимки модели месторождения Восточный Молдабек без ячеек с нулевыми данными, нарисованные в программе Petrel

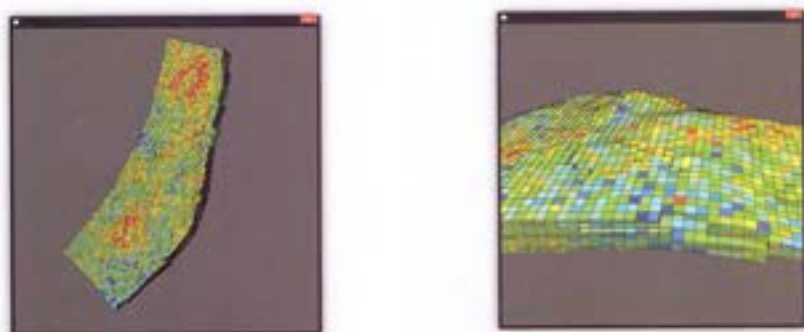


Рисунок 4 – Снимки модели месторождения Восточный Молдабек без ячеек с нулевыми данными, сделанные в представленном модуле визуализации

Также были прорисованы и проведены сравнения результатов на общедоступных моделях пластов MATLAB Reservoir Simulation Toolbox [6].

Данные проекта «Geological Storage of CO₂: Mathematical Modelling and Risk Analysis» (MatMoRA) [7], обладающие размерами: 100x100x21 (рисунок 5 – в программе Petrel [3]; рисунок 6 – по значениям ACTNUM), 100x100x21.

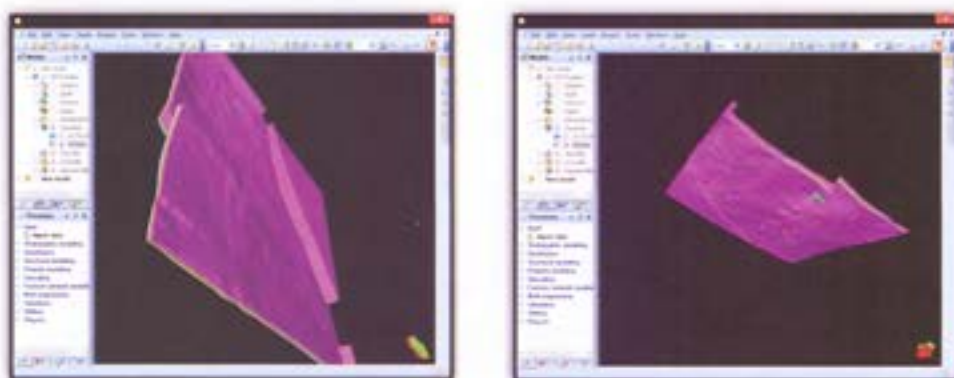


Рисунок 5 – Скриншоты модели 100x100x11

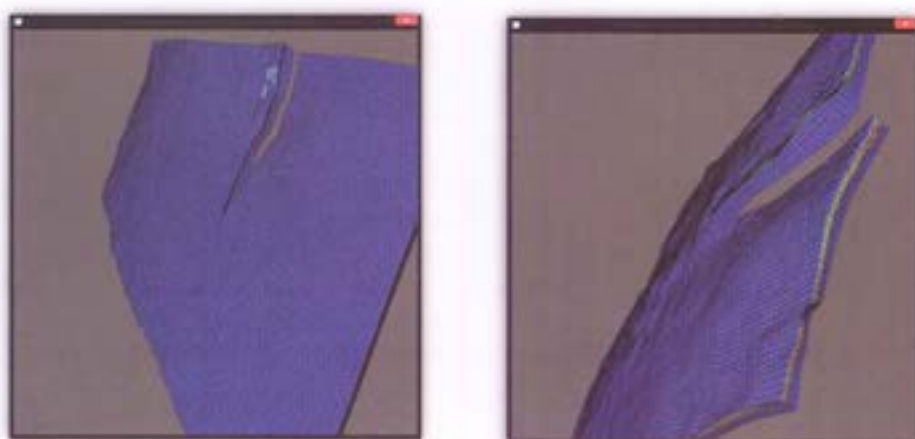


Рисунок 6 – Снимок неотредактированной модели 100x100x11, сделанный в представленном модуле визуализации

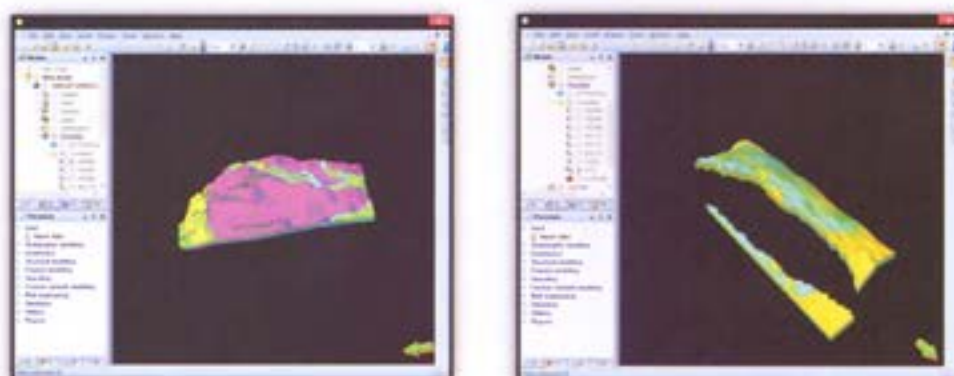


Рисунок 7 – Модель пласта 40x120x20, нарисованная в программе Petrel

Prod
рису
1
600
в се
ритм
поли

для
тест
стан
срав
для

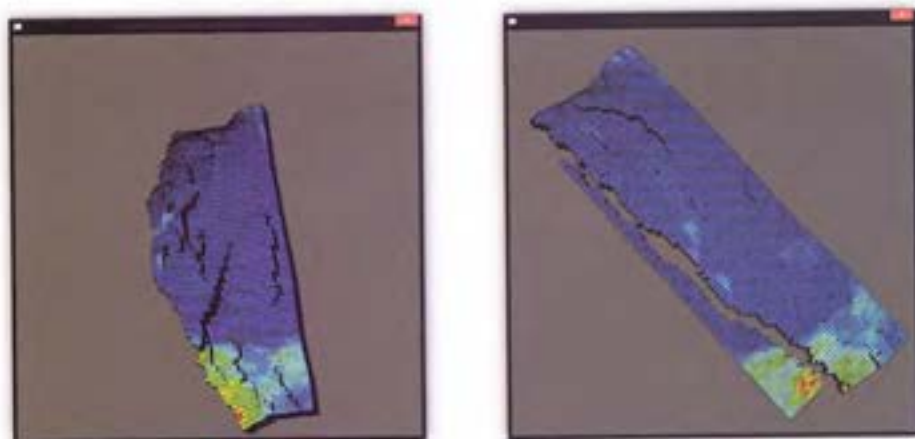


Рисунок 8 – Визуализация модели пласта 40x120x20 в представленном модуле

Данные проекта Sensitivity Analysis of the Impact of Geological Uncertainties on Production [8], обладающие размерами 40x120x20 (рисунок 7 – в программе Petrel; рисунок 8 – после удаления ячеек с нулевыми данными).

В реализованных ранее версиях программы наибольший тест состоял из менее 600 000 полигонов, но даже при нем наблюдался небольшой спад количества кадров в секунду. Новая версия программы, показанная на рисунке 9 и использующая алгоритм трассировки лучей, работала корректно на тесте, состоящем из более 6,6 млн полигонов.

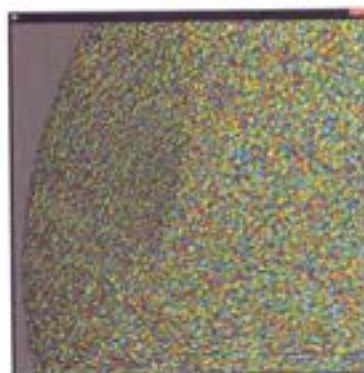


Рисунок 9 – Тестирование работы программы на входных данных, содержащих 6 611 916 треугольников

Таким образом, описан специализированный программный модуль визуализации для web симулятора нефтегазовых месторождений, изложены результаты стресс-тестов, демонстрирующие корректность работы такого модуля визуализации, и представлена ее высокая производительность при визуализации «больших» данных. Даны сравнения с программами ведущих производителей аналогичных приложений симуляторов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Glassner A. S. An introduction to Ray Tracing. – New York: Academic Press, 1989. – 113 p.
- 2 NVIDIA® OptiX™ Ray Tracing Engine Programming Guide, Version 3.0. 2009-2012. NVIDIA Corporation.
- 3 Petrel E&P Software Platform - Schlumberger - www.slb.com/petrel
- 4 Rock Flow Dynamics: tNavigator - www.rfdyn.com/technology
- 5 Анализ и оценка тепловых методов воздействия на прискважинную зону пласта месторождения Кенбай (участок Восточный Молдабек): Отчет по НИР /АО "Разведка Добыча Казмунайгаз", – Алматы, 2007. – 65 с.
- 6 MATLAB Reservoir Simulation Toolbox – <http://www.sintef.no/Projectweb/MRST/Downloadable-Resources>
- 7 Geological Storage of CO2: Mathematical Modelling and Risk Assessment – [http:// www.sintef.no/MatMoRa](http://www.sintef.no/MatMoRa)
- 8 SAIGUP – [http:// www.nr.no/en/SAIGUP](http://www.nr.no/en/SAIGUP)

УДК 6

ПР

Об
карьерс
Кл
ла, кон

Ат
мумкин
жан-эс
Кіа
тау-кез

In t
from the
use.

Key
ing, tech.

На
ляется
тах глу
больш
достав
автоно
смотря
статки.
зуется
борту »