

Обработка информации в гетерогенной среде при визуализации моря для компьютерных симуляторов

Е.Ю. Торгонин

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
ул. Костюкова 46, Белгород, Россия

e.yudek@gmail.com

Аннотация. Исследование посвящено реализации возможности объединения статистических методов и метода гидродинамики сглаженных частиц для создания модели описания жидкости в применении к задаче визуализации моря в компьютерных тренажёрах и симуляторах как на открытых, так и прибрежных зонах. Новая модель описания поведения жидкости позволяет существенно повысить качество и реалистичность результата. Выполнение исследования показало, что объединение двух различных по своей природе методов, даже при относительно небольшом количестве частиц используемых в моделировании методом SPH, позволяет добиться на локальных участках пространства достаточно реалистичных результатов. Сформирована структура разбиения задачи на части по процессам при моделировании поверхностного волнения, позволяющая создать эффективную реализацию параллельных и асинхронных вычислений, эффективно реализуемых в современных гетерогенных вычислительных системах. Проведены эксперименты позволяющие оценить сложность и эффективность предложенной модели разбиения задачи на части. На практике показана возможность получения реалистичного результата визуализации.

Ключевые слова

Симуляторы, системы реального времени, визуализация, GPU, OpenCL.

1 Введение

Используемые на данный момент модели описания жидких сред и моря в частности можно разделить на 2 группы:

Первая группа подходов основана на теоретических моделях или экспериментальных исследованиях, разработанных для того, чтобы описать модель поведения океанской поверхности на глубоководье и представить результаты в виде карты высот. Можно условно разделить эти методы в три основных категории: во-первых, методы, которые описывают океанскую поверхность в пространственной области, затем методы, которые описывают поверхность в спектральном домене и гибридные методы, комбинирующие два первых подхода.

Пространственные методы используют карты высот, вычисленные на основе суммы периодических функций и анимированных применением простого сдвига фаз, чтобы визуализировать океанскую поверхность. Главная цель подходов работающих в пространственной области - представить конфигурацию поверхности воды, используя сумму периодических функций, развивающихся во времени используя сдвиг фаз.

Спектральные подходы используют волновой спектр, чтобы описать поверхность в спектральном домене и используют преобразование Фурье, чтобы преобразовать данные в пространственную область. Подходы данного типа являются наиболее часто используемыми в системах виртуальной реальности, компьютерных играх и киноиндустрии [2].

Наконец, методы сочетающие предыдущие называют гибридными, которые объединяя лучшие свойства базовых подходов позволяют создавать очень реалистичные поверхности, которые могут быть легко анимированы [3].

Вторая группа подходов для описания жидких сред основаны на решении уравнений Навье-Стокса. Используя данные уравнения можно описывать динамику жидких сред и просчитывать потоки жидкости любой сложности. Лагранжевы подходы основаны на частицах переносящих жидкость, таким образом представляя малые объемы этой жидкости. Примером такого подхода является метод гидродинамики сглаженных частиц

(SPH). К таким методам относится и разработанный метод моделирования подводных течений в компьютерных тренажёрах, описанный в работе [4].

Основной недостаток первой группы методов заключается в том, что они статичны по своей сути и не позволяют описывать взаимодействие среды с внешними объектами, например, моделировать след за кораблём или корректно изменять геометрию поверхности моря в прибрежной зоне или при взаимодействии с другими объектами.

Общий основной недостаток второй группы методов - огромные вычислительные затраты, которые могут быть уменьшены при использовании адаптивных структур данных, но всё же они не применимы для реалистичной визуализации жидкостей в системах виртуальной реальности, таких как морские тренажёры.

Симуляторы и тренажёры управляются достаточно комплексной логикой и состоят из множества подсистем, как показано на рисунке 1. В данном исследовании интересны блоки «визуализации», «моделирования внешней среды и природных аномалий» и «моделирования динамики объекта». Эти блоки как правило в тренажёрах имеют свои собственные модели и лишь синхронизируются при работе. Поэтому такие системы сложны в производстве и настройке. Создание каждого нового сценария для тренировки требует больших трудозатрат и часто ручной работы.

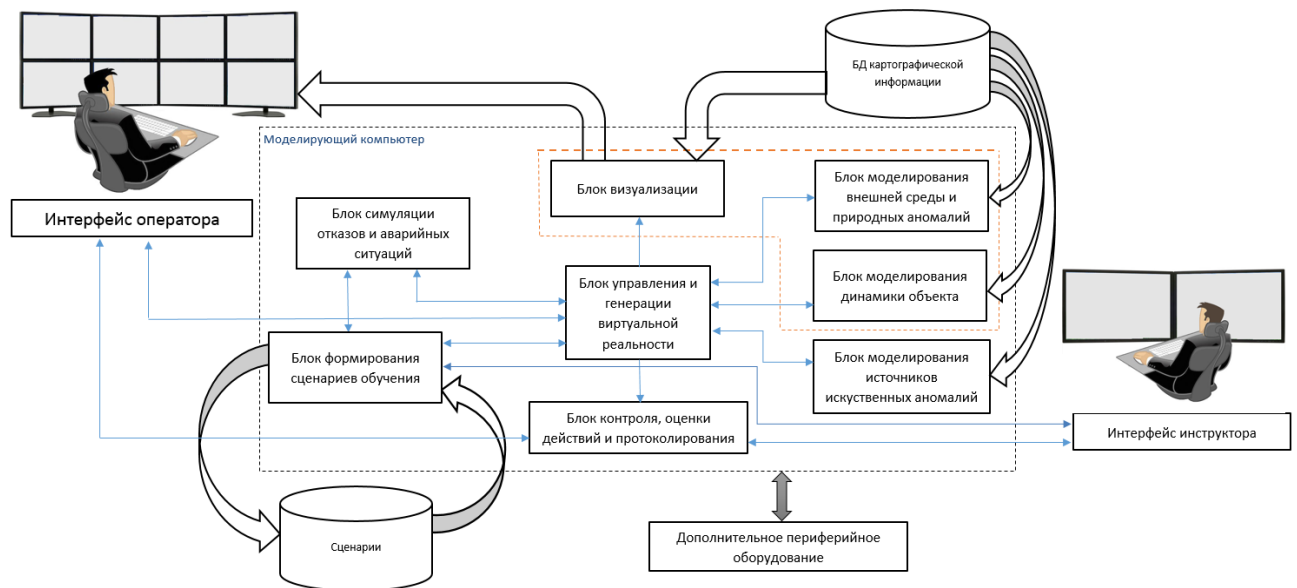


Рис. 1. Структура компьютерного тренажёра

В целях сокращения времени на разработку и упрощение в эксплуатации появляется естественное желание автоматизировать всю работу. В данной статье предлагается использование единой модели описания среды, используемой как при визуализации, так и при расчёте различных сил и параметров в жидкости, которая может иметь обратную связь с блоком моделирования динамики объекта (корабля). Для этого необходимо объединить преимущества двух групп рассмотренных выше подходов описания жидких сред и использовать единую модель как для открытых пространств, таких как открытое море, так и ограниченных, как прибрежные зоны. Использование метода SPH позволит достаточно реалистично описывать влияние внешних сил на поведение корабля, без необходимости в ручную создавать специфические сценарии имитирующие данные процессы.

Вопросам описания и реализации данной модели, а также оценке эффективности обработки информации в гетерогенной среде при использовании современных вычислительных систем (совместного использования процессоров (CPU) x86 архитектуры и графических ускорителей (GPU) по средствам OpenCL) посвящена данная работа.

2 Теоретическая часть

В данном исследовании ставится задача сделать очередной шаг в сторону использования моделей гидродинамики в системах виртуальной реальности, так как это позволит сделать изображение более реалистичным и уменьшит трудоемкость подбора параметров в сравнении с существующими методами.

Достаточно эффективным подходом к физически обоснованной визуализации и построению геометрической поверхности жидкости на больших открытых пространствах, может стать гибридный подход, который объединяет метод [3], использующий карты высот для геометрического представления поверхностных волн, а также SPH подход [4], дающий возможность в реальном времени учитывать изменения в среде,

внутренние силы, течения и соответственно влиять на внешние объекты. При этом объединение методов возможно лишь на локальных участках, там где это нужно.

Проведены исследования, которые показали, что объединение этих двух методов, при относительно небольшом количестве частиц метода SPH, позволяет добиться на локальных участках пространства достаточно реалистичных результатов.

Учитывая, что волны различной частоты имеют различную скорость распространения и могут иметь различную природу возникновения, задачу анимации и визуализации моря можно разделить по процессам и выполнять вычисления параллельно. В рамках предлагаемого метода, поверхностные волны могут быть представлены в виде суммы 3 компонент, предусматривающих обработку различной информации:

$$f(X, t) = C_z \text{Ext}(\text{Flow}) + B_z \sum_{k=1}^n \tilde{k}(\vec{k}, t) e^{-i\vec{k}\vec{x}} + A_z \sum_{i=1}^{M-1} \alpha^i \cdot f_{noise}(2^i X, t) \quad (1)$$

где X - горизонтальная позиция точки (x, z) , высоту которой мы оцениваем; $\text{Ext}(\text{Flow})$ - высота изоповерхности в точке X , построенная в результате моделирования жидкости методом SPH; $\tilde{k}(\vec{k}, t)$ - комплексное число, представляющее и амплитуду и фазу волны \vec{k} во время t ; n - количество гармоник выбираемых из спектра описывающего ветровое волнение, M - количество октав шума применяемого для имитации ряби; α - параметр стойкости, определяющий весовой коэффициент с которым i -ая октава шума влияет на итоговый результат. Параметры A_z, B_z, C_z - некоторые коэффициенты масштабирования, позволяющие учитывать степень вклада в итог визуализации, соответственно SPH метода описания среды, статистического метода описания ветрового волнения поверхности среды и шумовой функции, имитирующей высокочастотные волны, такие как рябь.

Разработанная структура позволяет обеспечить эффективную работу программного комплекса с различными вычислительными устройствами. Поставленную задачу можно представить набором независимых подзадач, как показано на рисунке 2.

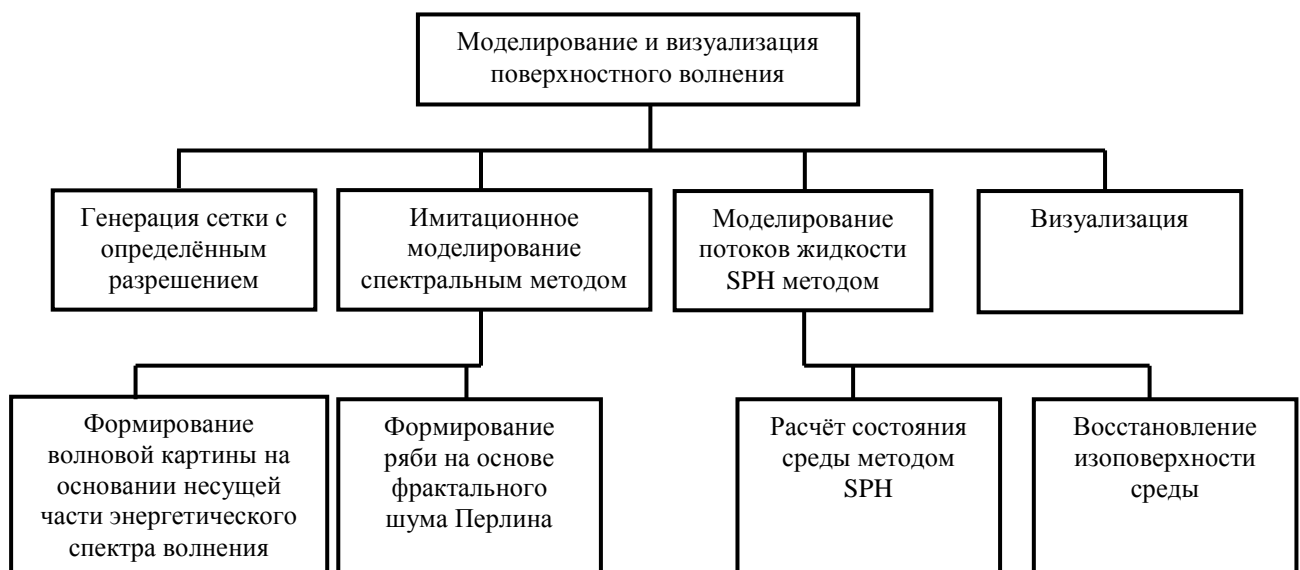


Рис. 2. Структура задачи моделирования поверхностного моделирования после её разделения на процессы

Восстановление изоповерхности происходит независимо от расчёта состояния среды методом SPH на каждом следующем кадре визуализации после получения соответствующих данных. Для описания ветрового волнения в реальном времени имеется возможность обрабатывать данные полученные в режиме on-line из сервиса National Data Buoy Center (рисунок 3), к которому можно получить доступ по адресу <http://www.ndbc.noaa.gov>. Принцип выборки данных описан в работе [3].

Метод SPH, так же, как и статистические подходы очень хорошо распараллеливается. Значит для такой модели описания среды может быть применена вычислительная схема, описанная в работе [5]. А расчёты произведены независимо и параллельно для каждого отдельного участка жидкой среды. Проблема заключается в том, что метод SPH очень сложен для применения в системах виртуальной реальности, когда есть ограничение на время формирования требуемых данных и визуализацию в 30мс, чтобы обеспечить плавность анимации.

Выходом из данной ситуации, может быть тот факт, что внутренние волны и течения гораздо медленнее поверхностных волн, а значит обновлять данные не нужно со столь высокой частотой. Используя подход представленный в работе [1], реализована модель асинхронной обработки информации методом SPH. На рисунке 4, можно заметить, что шаг расчёта методом SPH длиннее, шага расчёта поверхностных волн и

кадров визуализации. Как показал эксперимент, данный подход позволяет без потери в качестве визуализации использовать модель SPH в системе виртуальной реальности, но шаг симуляции всё же не должен превышать 50-100 мс (в зависимости от параметров среды).

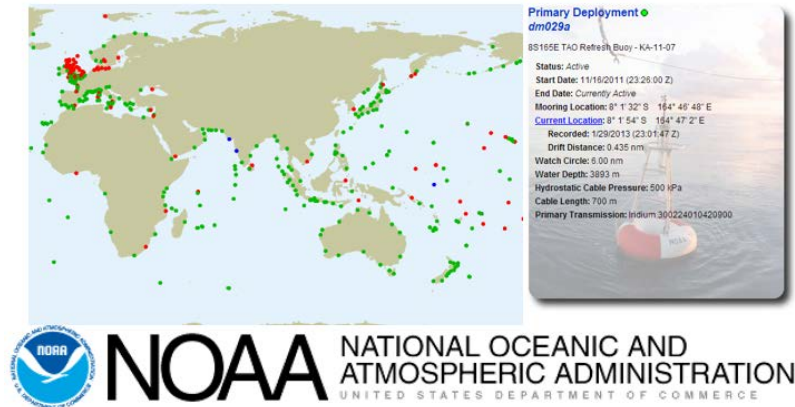


Рис. 3. Страница web-сайта NOAA с данными по буйкам в различных регионах мирового океана

Представление среды в виде набора частиц, как нельзя лучше подходит для её представления в виде иерархии, а точнее октодеревя. Таким образом, подсистема моделирования может динамически при необходимости изменять исполнителей вычислительных задач, переключаясь между CPU и выполнением задач на GPU, используя низкоуровневый фреймворк OpenCL.

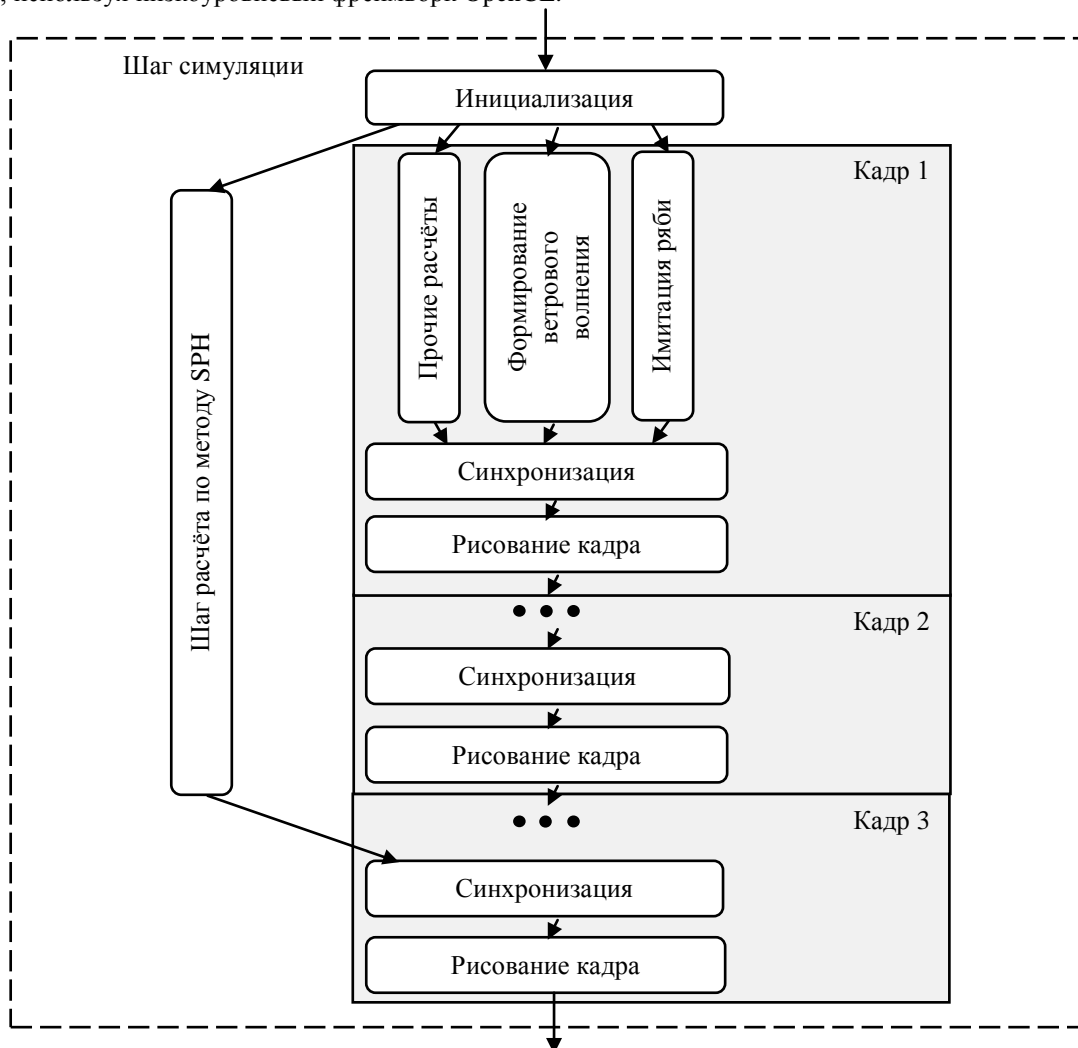


Рис. 4. Асинхронная обработка данных при вычислении характеристик среды методом SPH и методами имитации поверхностного волнения

В настоящий момент разработанный программный комплекс способен эффективно решать комплексные, сложные задачи реалистичного описания поведения и визуализации жидкости со свободной поверхностью.

3 Тестирование

Производительность разработанного программного комплекса зависит от двух основных факторов: эффективность реализованных алгоритмов и время затраченное на планирование задачи в гетерогенной среде. При создании программного комплекса использовался фреймворк OpenCL для использования GPU в качестве вычислительного устройства. Для работы с CPU, использовался пул потоков, созданных с помощью API операционной системы Windows.

При анализе использовался компьютер, оборудованный 4-ядерным процессором Intel Core i5-3550 с частотой 3.3 GHz, графическим ускорителем AMD Radeon HD7850 2Gb VRAM (1,76 TFLOPS) и объёмом оперативной памяти в размере 8 Gb.

В таблице 1 показано количество кадров в секунду выполняемых при визуализации жидкости (поверхности океана) с геометрической сеткой размерностью 256x256 вершин и набором 100 000 частиц для метода SPH. Как видно из таблицы, использование предложенного подхода в гетерогенной среде позволяет повысить производительность.

Табл.1. Анализ эффективности предложенного подхода

Общий размер карт поверхности	GPU	CPU+GPU	CPU
8192x8192	~3	~ 4	~ 0
4096x4096	~7	~ 9	~ 0
2048x2048	~17	~ 20	~ 1
1024x1024	~41	~ 46	~ 3
512x512	~93	~ 109	~ 7

Как показал эксперимент предлагаемый подход хорошо масштабируется, эффективен в гетерогенной среде и позволяет использовать произвольное количество N потоков исполнения. Пример результата визуализации показан на рисунке 5.

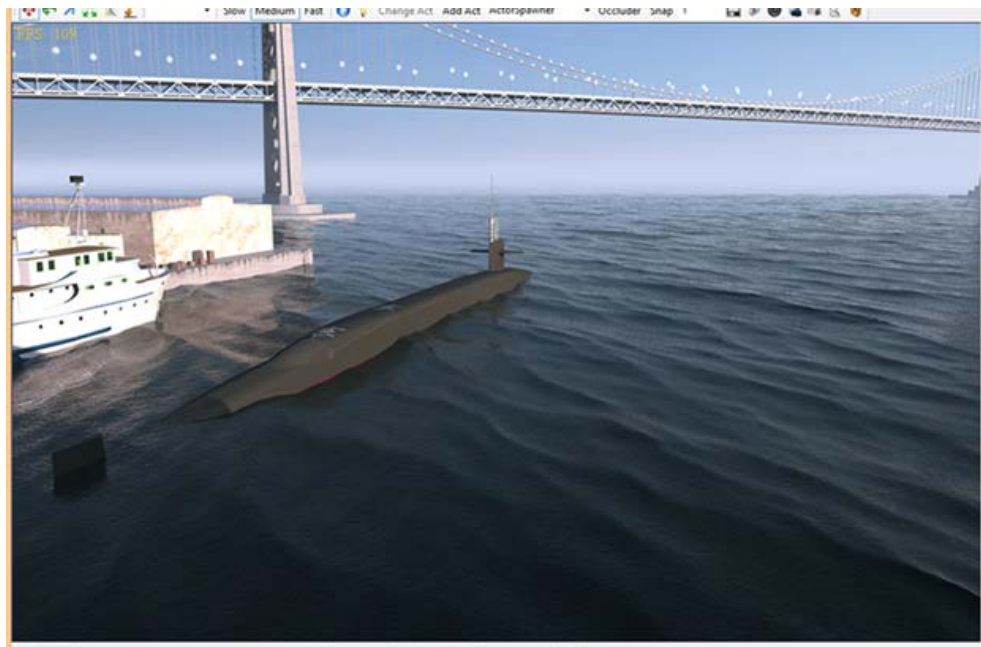


Рис. 5. Визуализация моря, с использованием описанного в данной работе подхода

Проведенные исследования показали, что для поставленной задачи формирования поверхности жидкости на больших открытых пространствах оптимальной методологией проектирования системы планирования и диспетчеризации потоков, выполняющих вычисления модели поведения жидкости на различных участках, является подход с минимизацией взаимоблокировок или так называемый lock-less подход. Подход подразумевает сведение к минимуму объёма разделяемых ресурсов и соответственно сводит к

минимуму вероятность «гонок», так как все потоки работают со своей локальной копией данных и сохраняют результаты в отдельной памяти, сообщая планировщику о завершении работы, который в свою очередь, сообщает всем заинтересованным подсистемам о необходимости обновить данные по новому адресу. Перерасход памяти оправдан, позволяет получить существенный прирост производительности за счёт экономии времени на работу средств синхронизации повсеместно используемых в традиционных lock-based методиках.

Использование средств GPU, как основного вычислительного устройства, позволяет достигнуть наиболее высокой эффективности за счёт большого числа вычислительных блоков.

Использование только GPU устройства для большинства расчётов накладывает ряд издержек, не позволяющих максимально эффективно использовать все доступные ресурсы. Увеличение издержек связано с невозможностью переупорядочивания задач средствами GPU, в связи с издержками передачи данных через шину PCI-E (на тестовой конфигурации системная шина имеет пропускную способность ~22 GB/s) и особенностями доступа к памяти GPU, в отличие от случая использования только CPU вычислительных устройств с общей памятью.

Совместное использование CPU и GPU вычислительных устройств позволяет несколько минимизировать данные издержки и лучшим образом распределить нагрузку.

4 Заключение

В ходе исследования был разработан программный комплекс для параллельного выполнения задачи анимации и визуализации поверхности моря в режиме реального времени, который может эффективно работать в гетерогенных вычислительных системах.

Разработанный подход масштабируется и ориентирован на использование ресурсов GPU для достижения высокой производительности. Используя принцип разбиения задачи по процессам в зависимости от их природы явления, удалось достичь высокой эффективности при обработке информации.

Но следует учитывать, что передача больших объёмов связанных между собой данных по шине для расчётов с помощью GPU устройств может приводить к некоторым издержкам, связанным с ограничениями самой шины PCI-E и особенностями GPU.

Список литературы

- [1] Andrews J. Designing the Framework of a Parallel Game Engine [Электронный ресурс] / J. Andrews. – Режим доступа: <http://software.intel.com/en-us/articles/designing-the-framework-of-a-parallel-game-engine/> - Дата обращения: 03.09.2013.
- [2] Tessendorf J. Simulating Ocean Water [Электронный ресурс] / J. Tessendorf. – Режим доступа: <http://graphics.ucsd.edu/courses/rendering/2005/jdewall/tessendorf.pdf>. - Дата обращения: 03.09.2013.
- [3] Торгонин Е.Ю. Гибридный метод визуализации поверхностных волн для систем виртуальной реальности //Глобальный научный потенциал. Выпуск 11(20). - Санкт-Петербург: ТМБпринт, 2012. –С. 115–120.
- [4] Торгонин Е.Ю. О применении методов SPH для моделирования жидких сред в системах виртуальной реальности //В мире научных открытий. Серия «Математика. Механика. Информатика». Выпуск 12.1. - Красноярск: Изд-во Научно-инновационный центр, 2012. –С. 259–272.
- [5] Торгонин Е.Ю. О распараллеливании вычислительного процесса формирования поверхности жидкости в режиме реального времени. //Научные ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». Выпуск 18/1. - Белгород: Изд-во НИУ БелГУ, 2011. –С. 77–82.