

Применение гетерогенных вычислительных систем для описания процессов в системах виртуальной реальности

Белан В.И.², Белоус Л.Ф.², Поляков В.М.¹, Торгонин Е.Ю.¹, Хутайфа А.¹

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
ул. Костюкова 46, Белгород, Россия

²Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины,
пр. Ленина, 47, Харьков, Украина

belan@ilt.kharkov.ua, belous@ilt.kharkov.ua, p_v_m@mail.ru, e.yudek@gmail.com,
huthaifa1984@gmail.com

Аннотация. Большинство современных вычислительных систем, будь то персональные компьютеры или массивные вычислительные системы, являются гетерогенными. Применение подобных систем даёт множество преимуществ в таких областях как создание систем виртуальной реальности, но в то же время усложняет процесс проектирования программного обеспечения. Исследованиям по созданию эффективных решений для таких систем уделяется большое внимание в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова. Использование НРС систем при создании приложений реального времени позволяет существенно увеличить возможности и эффективность программных решений. В данной работе представлены направления и результаты последних исследований по реализации проектов с использованием НРС, выполняемых в БГТУ им. В.Г. Шухова.

Ключевые слова

Системы виртуальной реальности, гетерогенные вычислительные системы, моделирование и визуализация жидкостей, PBR.

1 Введение

Реализация систем виртуальной реальности требует от разработчиков применения наиболее простых и быстрых алгоритмов описания объектов и процессов, а также методов их визуализации. В то же время аппаратные средства вычислительных систем постоянно развиваются, центральные процессоры и графические ускорители становятся все быстрее и быстрее, что позволяет программистам реализовать все более сложные и физически корректные модели описания поведения объектов реального мира и их визуализации.

В настоящее время мощность многих вычислительных систем позволяет реализовать модели PBR (Physically Based Rendering) для использования в системах виртуальной реальности [1]. Реализация реалистичной визуализации всегда подразумевает использование некоторых базовых физических моделей описания процессов или явлений реального мира. Термин «Physically Based» указывает на использование только физически корректных моделей или приближений, которые являются широко известными и апробированными во многих областях науки и техники. Использование таких методов становится всё более популярным при создании систем виртуальной реальности.

В то же время физически корректные модели описания многих явлений являются сложными для реализации в системах реального времени, поэтому в целях соблюдения некоторой точности и практичности, создаются гибридные модели, сочетающие различные методы.

2 Основная часть

Описанные в данной работе задачи решаются с использованием различных гетерогенных вычислительных систем, различной конфигурации и мощности, что позволяет полноценно оценить эффективность предлагаемых решений.

Для создания фотореалистичных изображений, важное значение имеет реализация непрямого освещения, но его вычисление является дорогим с вычислительной точки зрения и очень сильно зависит от сложности сцены. В то время как его вычисление в режиме off-line и хранение в виде текстур является неприемлемым для большинства систем виртуальной реальности. Такие приложения, как тренажеры и симуляторы требуют реального времени обработки информации или интерактивных подходов для учёта непрямого освещения в трёхмерной сцене.

На данный момент в БГТУ им. В.Г. Шухова проводятся исследования по возможности создания новых методов и алгоритмов вычисления непрямого освещения в реальном времени, позволяющих избежать использования ресурсоёмких методов предварительной обработки информации. Наиболее перспективным можно назвать направление по адаптации метода Voxel Cone Tracing, описанного в работе [2], для применения в различных областях науки и техники. Основной целью является необходимость в представлении и обработке информации об объектах в трёхмерной сцене при освещении, как объектах обладающих большинством свойств материалов реального мира.

На данный момент реализована система виртуальной реальности, реализующая PBR и представляющая собой морской симулятор, который использует в своей работе гибридный метод представления моря на основе гидродинамической модели [3]. Как показали исследования, предложенный метод может применяться в системах реального времени за счёт использования средств гетерогенной среды. Данный метод позволяет учесть, что волны различной частоты имеют различную скорость распространения и могут иметь различную природу возникновения, поэтому задачу представления и визуализации моря можно разделить по процессам и выполнять вычисления параллельно. В рамках предложенного метода, поверхностные волны могут быть представлены в виде суммы 3 компонент, предусматривающих обработку различной информации:

$$f(X, t) = C_s \text{Ext}(\text{Flow}) + B_s \sum_{k=1}^n \tilde{h}(\vec{k}, t) e^{-i\vec{k}\vec{x}} + A_s \sum_{i=0}^{M-1} \alpha^i \cdot f_{\text{noise}}(2^i X, t), \quad (1)$$

где X - горизонтальная позиция точки (x, z) , высоту которой мы оцениваем; $\text{Ext}(\text{Flow})$ - высота изо-поверхности в точке X , построенная в результате моделирования жидкости методом SPH; $\tilde{h}(\vec{k}, t)$ - 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_s, B_s, C_s - 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.

Результаты работы разработанного симулятора, использующего данную модель, показаны на рисунке 1. Для реализации отражений при освещении реализована модель IBL [4, 5] т.е. освещения на основе карт окружения. Которая в свою очередь является частью используемой PBR модели.

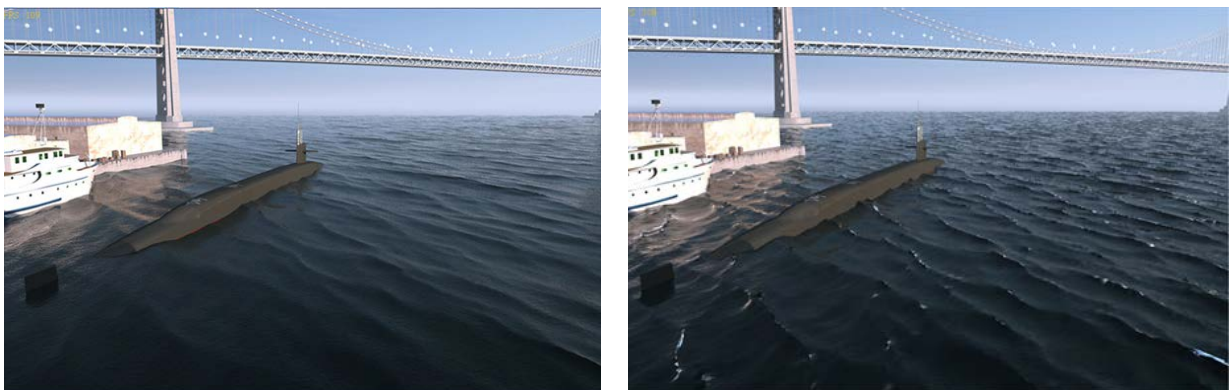


Рис. 1. Примеры визуализации моря в разработанном морском симуляторе.

Производительность разработанного программного комплекса зависит от двух основных факторов: эффективность реализованных алгоритмов и время затраченное на планирование задачи в гетерогенной среде.

Разработанные алгоритмы были протестированы в двух тестовых вычислительных системах. Первая система состоит из CPU 2.4GHz Intel Core 2 Quad Q6600 - четырех ядерный процессор с четырьмя гигабайтами RAM, системной шиной пропускной способностью ~18 GB/s, и графическим ускорителем AMD HD 4850 (~1 TFLOPS в операциях с 32 битными числами).

Вторая система состоит из CPU 3.3GHz Intel Core i5-3550 - четырех ядерный процессор с 8 гигабайтами RAM, системная шина ~22 GB/s, и AMD HD7850 2Gb VRAM (1,76 TFLOPS). Тестовые системы похожи, но

отличаются производительностью отдельных компонент, что позволяет оценить эффективность как масштабирования приложения, так и использования отдельных вычислительных устройств в системе.

Три алгоритма построения и визуализации поверхности моря сравнивались между собой в вычислениях с одинарной точностью с эталонным четырёх поточным приложением на CPU Intel Core 2 Quad Q6600, что отражено на рисунке 2. Большой перерасход памяти в гетерогенной среде (процессор Intel Core i5 и видеокарта HD7850) вызван большим количеством доступных вычислительных блоков и необходимостью дублировать большее количество информации, но оправдан и позволяет получить существенный прирост производительности за счёт экономии времени на работу средств синхронизации. Таким образом, предлагаемый подход хорошо масштабируется, эффективен в гетерогенной среде, позволяет использовать произвольное количество потоков исполнения.

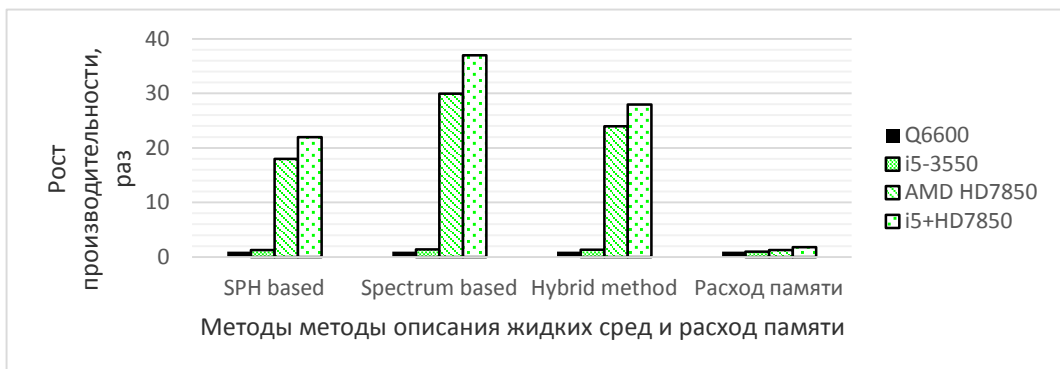


Рис. 2. Тестирование масштабируемости разработанного метода

Использование в качестве дополнительного исполнителя GPU позволяет существенно увеличить производительность по сравнению с системой, использующей множество исполнителей на базе CPU. Это происходит даже в случаях, когда передаются данные между системной памятью и памятью GPU при каждом вызове функции визуализации.

В таблице 1 отражено количество кадров в секунду выполняемых при визуализации жидкости (поверхности океана) с геометрической сеткой размерностью 256x256 вершин и набором 100 000 частиц для метода SPH. Эксперимент проведён на второй, более мощной тестовой системе, где исполняется разработанный гибридный метод (Hb) описания и визуализации жидкой среды. Для сравнения приведены широко известные FFT-метод [6] и SPH [3], использующий 1 миллион частиц.

Табл.1. Сравнительный анализ эффективности предложенного подхода

Общий размер карт поверхности	GPU			CPU+GPU			CPU		
	Hb	FFT	SPH	Hb	FFT	SPH	Hb	FFT	SPH
8192x8192	~3	~4		~ 4	~5		~ 0	~ 0	
4096x4096	~7	~9		~ 9	~11		~ 0	~ 1	
2048x2048	~17	~30	~ 10	~ 20	~34	~ 11	~ 1	~ 2	~1
1024x1024	~41	~57		~ 46	~64		~ 3	~ 4	
512x512	~93	~120		~ 109	~145		~ 7	~ 11	

Как видно из таблицы, разработанный метод даёт возможность используя преимущества методов, основанных на моделях вычислительной гидродинамики, в режиме реального времени реалистично визуализировать жидкие среды, за счёт разработанного метода синтеза поверхностного волнения.

Использование в системе только CPU устройств имеющих доступ к общей памяти практически не накладывает дополнительных расходов при синхронизации. 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, с издержками передачи данных через шину PCI-E, а также особенностями доступа к памяти GPU. Совместное использование CPU и GPU вычислительных устройств позволяет несколько минимизировать данные издержки и лучшим образом распределить нагрузку.

Но как показал эксперимент, использование гетерогенной вычислительной системы с GPU и CPU исполнителями, так же не может идеально масштабироваться. Заметен относительно небольшой рост скорости

выполнения по сравнению с использованием только GPU в качестве исполнителя. Причина этого кроется в невозможности, в некоторых случаях, разделить связанные данные в отдельные кластеры, что вызывает рост объёмов передаваемых по PCI-E шине данных и соответственно увеличивает рост затрат времени на планирование и подготовку данных.

Рисунок 3 показывает результат проверки издержек, возникающих при распараллеливании вычислений, в системе с задействованными от одного до восьми CPU исполнителей (потоков) и двух GPU исполнителей. Проверялась эффективность масштабирования спектрального метода Тессендорфа (FFT), разработанного гибридного метода и SPH-подхода с числом частиц в 1,5 раза больше, чем в гибридном. Выявлено, что среднее время, потраченное на планирование задачи не значительно, разработанный программный комплекс для параллельного выполнения задачи описания динамики и визуализации поверхности жидкой среды позволяет налагать лишь небольшие издержки на планирование и распределение ресурсов.

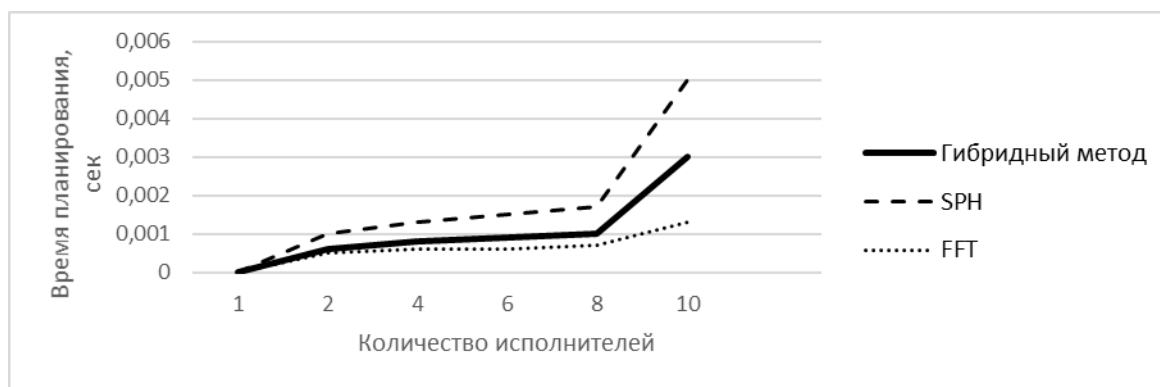


Рис. 3. Среднее время планирования единственной задачи в зависимости от количества исполнителей

Увеличение издержек при использовании GPU в качестве девятого и десятого исполнителей связано с издержками передачи данных через шину в локальную память GPU, к тому же метод SPH не очень хорошо масштабируется в гетерогенной среде, когда требуется перемещать большие объёмы взаимосвязанной информации в память различных вычислительных узлов.

3 Заключение

Выполненное тестирование и анализ работы разработанного программного комплекса позволяет сделать вывод о том, что создание гибридных, хорошо распараллеливаемых методов реализации освещённости и описания процессов реального мира, на примере жидких сред, является эффективным подходом создания систем виртуальной реальности в настоящее время.

Разработанный подход хорошо масштабируется и ориентирован на работу в гетерогенных вычислительных системах. Используя принцип разбиения задачи по процессам в зависимости от их природы явления, удалось достичь высокой эффективности при обработке информации.

Учитывая полученные результаты, в БГТУ им. В.Г. Шухова запланированы дальнейшие работы по созданию PBR системы для гетерогенных систем виртуальной реальности, позволяющей увеличить качество визуализации с целью увеличения эффекта погружения человека в виртуальную среду.

Список литературы

- [1] Matt Pharr, Greg Humphreys: Physically Based Rendering: From Theory to Implementation. *Morgan Kaufmann*, 2010.
- [2] Cyril Crassin, Fabrice Neyret, Miguel Sainz, Simon Green, Elmar Eisemann: Interactive Indirect Illumination Using Voxel Cone Tracing. *Proc. of Pacific Graphics*, 2011.
- [3] Е.Ю. Торгонин: Обработка информации в гетерогенной среде при визуализации моря для компьютерных симуляторов. *Материалы III Международной научно-технической конференции «Высокопроизводительные вычисления (HPC-UA'13)»*. Киев, 2013, 402–407.
- [4] Greg Ward, Paul E. Debevec, E. Reinhard, Sumanta Pattanaink: High Dynamic Range Imaging, acquisition, display, and Image-Based Lighting. *Elsevier*, 2006.
- [5] Paul E. Debevec: Rendering with natural light. *In SIGGRAPH '98: ACM SIGGRAPH 98 Electronic art and animation catalog*, New York, NY, USA: ACM, 1998, 166.
- [6] J. Tessendorf: Simulating Ocean Water. <http://graphics.ucsd.edu/courses/rendering/2005/jdewall/tessendorf.pdf>, 2005. Дата обращения: 03.09.2013.