

УДК 004.2 (004.42)

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ НА КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, ОСНОВАННОЕ НА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ CUDA**

Зеленко Л.С., Крестьянсков С.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

По данным NASA, на околоземных орбитах находятся более 28 000 объектов космического мусора. Большинство этих объектов расположены на орбитах с высоким наклоном, плоскости которых пересекаются, поэтому средняя относительная скорость взаимного пролета составляет около 10 км/с. Вследствие огромного запаса кинетической энергии столкновение любого из этих объектов с действующим космическим аппаратом (КА) может привести к катастрофическому разрушению силовой конструкции аппарата и отказу КА в целом. Эффективных мер защиты от объектов космического мусора размером более 1 см в поперечнике практически нет. Ввиду этого исследования по организации защитных мероприятий для КА и оценке их эффективности приобретают особую *актуальность*. Для решения данных задач требуется более точные знания о количественных характеристиках нестационарных явлений при интенсивных нагрузках, которые инициированы процессами физического или химического взрыва и высокоскоростного удара. Данные процессы, в отличие от квазистатических, являются кратковременными быстропротекающими, сопровождающимися образованием ударных волн, волн сжатия и разрежения, их взаимодействием и отражением от различных дезориентированных поверхностей и движущихся тел и сред. Это приводит к большим деформациям, локальному перегреву вещества, изменению кристаллической структуры и свойств нагружаемых сред, множественным разрушениям и другим необратимым эффектам. Для численной оценки параметров процессов необходимо прибегать к *методам имитационного моделирования*, поскольку проведение натуральных экспериментов в большинстве случаев является экономически нецелесообразным. Кроме того, результаты прямых или косвенных измерений могут оказаться куда менее точными, чем результаты, получаемые при помощи верифицированной математической модели. Основой макромодели является гипотеза о непрерывном изменении характеристик среды в пространстве  $(x, t)$ . Физико-математическая модель содержит общие для всех сред дифференциальные уравнения механики, выражающие фундаментальные законы сохранения массы, импульса и энергии, а также общие для всех сред кинематические соотношения [1]. Для упрощения расчетов в модели были сделаны следующие допущения:

1. среда представлена дискретно, каждая частица не имеет конкретных контактных границ и является точкой аппроксимации среды;
2. направление движения среды определяется путем численного интегрирования уравнений механики сплошных сред;
3. интегрирование осуществляется пошагово через определенные промежутки времени;
4. потеря связи между частицами интерпретируется как разрушение;
5. точное определение границы ударной волны невозможно из-за введения «псевдовязкости», за фронтом волны может наблюдаться не характерная для процесса осцилляция параметров;
6. не учитываются: плазменное состояние, при котором происходит ионизация; дальнедействующие электромагнитные и гравитационные силы; особенности кристаллической решетки (анизотропия, дислокации) и процессы излучения;

7. отсутствуют граничные условия, в результате в месте контакта взаимодействующие объекты «слипаются» и невозможно жестко закрепить границы или задать границы полубесконечных преград.

Наиболее удобным для моделирования задачи высокоскоростного соударения является бессеточный свободно-лагранжев метод – *метод гладких частиц* (smoothed particle hydrodynamics method - SPH), он обеспечивает достаточную точность расчетов, достигаемую при использовании имитационной модели. Кроме того, данный метод универсален и алгоритмически реализуем с применением параллельных вычислений, так как расчет параметров гладкой частицы осуществляется независимо от остальных частиц системы. В связи с этим было принято решение использовать для вычислений параллельную архитектуру графического процессора GPU и технологию CUDA, которая хорошо подходит для обработки больших объемов данных, обеспечивает доступ к набору инструкций графического ускорителя и позволяет управлять его памятью при организации параллельных вычислений. Графический процессор видеокарты состоит из множества нитей, каждая из которых независимо от остальных может обрабатывать данные. В зависимости от модели видеокарты, количество этих нитей различно, но даже на мобильных версиях на ноутбуках достигает числа  $33 \cdot 10^6$ . Очевидно явное преимущество использования графических процессоров перед обычными процессорами в параллельных высоконагруженных вычислениях. В данной работе имеются две задачи, подлежащие распараллеливанию. Первая связана с вычислением параметров частицы через параметры соседей. Общее количество нитей всех блоков в сетке легко покрывает среднее количество частиц, которые будут обрабатываться в программе, что позволяет параметры каждой частицы вычислять на отдельной нити. Решение второй – поиска соседей – также можно ускорить, используя архитектуру видеокарт Nvidia. По аналогии для каждой частицы на отдельной нити определяется её положение в пространственной сетке в следующем итерационном шаге, что позволяет быстро получать соседей частицы из смежных ячеек сетки. Также возможно покрыть количество частиц количеством блоков в сетке, а количество соседей данной частицы количеством нитей в блоке, что позволит через быструю Shared Memory получать данные с соседей и использовать их, что значительно улучшает производительность (рис. 1).

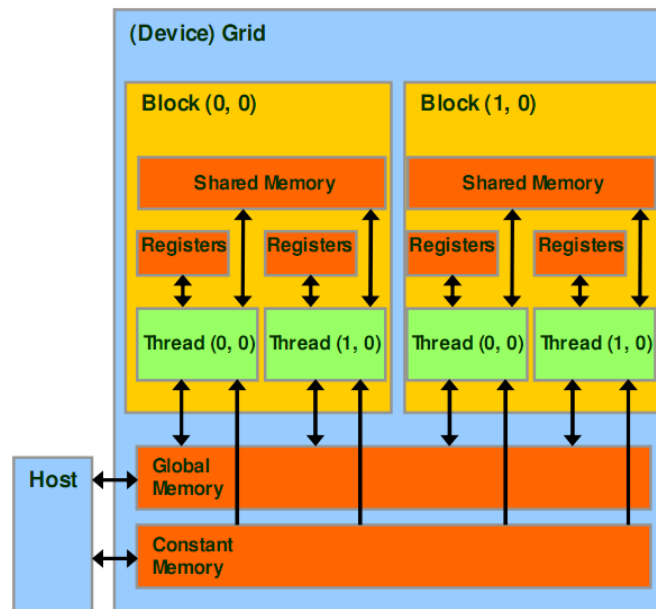


Рисунок 1 - Схема организации памяти в CUDA-видеокарте

#### Список литературы

1. Бабкин, А.В. Прикладная механика сплошных сред. Т. 3: Численные методы в задачах физики взрыва и удара [Текст]/ А.В. Бабкин, В.И. Колпаков, В.Н. Охитин, В.В. Селиванов. – М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2000.