(cc) BY

Шлагов Дмитрий Андреевич
магистрант
Решетникова Елена Васильевна
канд. техн. наук, доцент
Новокузнецкий институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
г. Новокузнецк, Кемеровская область

РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

***Аннотация**: в статье описана библиотека для моделирования клеточных автоматов. Описана также реализация с ее помощью модели HPP, простейшая из моделей клеточных решетчатых газов, которые используются в вычислительной гидродинамике.*

***Ключевые слова**: вычислительная гидродинамика, клеточные автоматы, решетчатые газы.*

Основные уравнения гидродинамики – Эйлера и Навье-Стокса – являются уравнениями в частных производных, аналитические решения которых возможны лишь в некоторых частных случаях. Большинство практических задач требуют использования численных методов [1]. Существуют численные методы, которые позволяют решать эти задачи с высокой степенью точности, например, такие как метод конечных элементов. Однако есть класс задач, для которых данные методы практически не подходят, – симуляция поведения потока жидкости в реальном времени.

Из-за вышеперечисленных недостатков классических математических моделей в гидродинамике для решения задач симуляции поведения потока жидкости в реальном времени появились новые математические методы, основанные на клеточных автоматах [2].

Для моделирования клеточных автоматов была разработана библиотека на языке программирования Rust – статически типизированном языке с автоматическим выводом типов. Rust предлагает довольно высокоуровневые абстракции

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

без штрафов во время выполнения, безопасное управление памятью (но без сборщика мусора) и конкурентное программирование.

Структура библиотеки изображена на рисунке 1. Библиотека предоставляет несколько примитивов и описывает способы их взаимодействия. Структура «Сетка» (Grid) содержит клетки, обеспечивает их перебор на каждом шаге эволюции системы и назначает каждой клетке координату. Так же с помощью примитива окрестности (Neighborhood) для каждой клетки определяются соседи.

Геометрия сетки (четырехугольная, шестиугольная и так далее) определяется окрестностью. Исходя из соображений производительности, желательно реализовать разные сетки для двумерного и трехмерного случаев, но теоретически одна и та же сетка может использоваться для реализации разных клеточных автоматов с разными видами используемых окрестностей, геометрической формой отдельной клетки и количеством измерений.

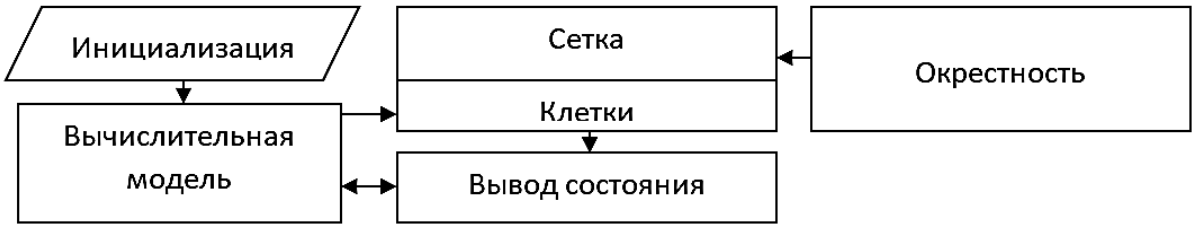

Рис. 1. Структура библиотеки

Сетка содержит один тип клетки. Клетки программируются пользователями библиотеки. Клетками может быть любая структура или тип данных, которые реализуют интерфейс «Клетка» (Cell). Например, клетка из игры «Жизнь» может быть структурой, в которой хранится один из вариантов перечисления «жив-мертв».

Библиотека предоставляет объект «вычислительная модель», который инкапсулирует стратегию вычисления: последовательная, параллельная или распределенная. На данный момент реализованы две стратегии: последовательная и параллельная.

Данный объект инициализируется объектом сетки, для которой установлены размеры, начальное состояние модели и окрестность. Далее запускается

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

эволюция, на каждом шаге которой сетка итерирует все принадлежащие ей клетки, которые в свою очередь изменяются по описанным программистом правилам.

На каждом шаге информация о сетке передается другому примитиву – «потребителю», который может производить обработку информации в клетках или каким-либо образом визуализировать моделируемый процесс. Объект такого типа так же может вмешиваться в процесс эволюции, например, реагируя на ввод пользователя программы.

Описываемая модель обладает свойством естественного параллелизма, что позволяет обобщенно подходить к задачам распараллеливания и распределения вычислений при расчете таких моделей.

Параллельное вычисление реализовано следующим образом. Все клетки хранятся в двух одномерных массивах. Каждый массив поочередно используется для записи, в то время как другой используется только для чтения. Такой подход позволяет серьезно повысить производительность по сравнению с «наивной» реализацией, которая предполагает создание нового массива на каждом шаге.

При инициализации сетки создается «пул» потоков, количество которых определяется пользователем. Далее на каждом шаге каждый из этих потоков выполняет замыкание, параметром которого является изменяемая ссылка на часть одного из двух массивов, не пересекающаяся с другими частями. Это условие поставлено для обеспечения потокобезопасности параллельных обращений на запись в одному массиву, чтобы при этом не пользоваться lock-based и lock-free подходами к конкурентному программированию, так как каждый из данных подходов обеспечивает существенные штрафы производительности или увеличивает количество потребляемой памяти. Второй же массив используется только для чтения – оттуда клетки получают данные о еще не измененных соседях. На следующем шаге ссылки на массивы для чтения и записи меняются местами.

Для тестирования разработанной библиотеки была реализована модель HPP. HPP – двумерный клеточный автомат решетчатого газа на регулярной квадратной сетке. Каждая клетка может содержать от нуля до четырех частиц, но не

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

больше одной частицы на направление. Для рассматриваемой модели существует единственное правило столкновения, которое обрабатывается поочередно с процессом переноса частиц из одной клетки в другую. Столкновение происходит в случае, когда в клетке находится только две частицы, направленные в противоположные стороны. Направление частиц, участвующих в столкновении, изменяется на прямой угол по отношению к предыдущему.

Результаты проведенного моделирования показали удобство разработанной библиотеки для решения задач с использованием клеточных автоматов, корректность предоставляемых библиотекой примитивов для реализации моделей клеточных автоматов, а также быстродействие библиотечных алгоритмов.

Исходный код библиотеки выложен в открытый доступ на сайте Github.

Модель HPP хорошо подходит в качестве тестовой модели на основе клеточных автоматов решетчатых газов, однако не показывает требуемого поведения и не подходит для решения задач вычислительной гидродинамики. С помощью разработанной библиотеки планируется реализовать более точную модель FHP и метод решетчатого уравнения Больцмана.

Список литературы

1. Dieter A. Wolf-Gladrow. «Lattice-Gas Cellular Automata and Lattice Boltzmann Models – An Introduction». – 2005.

2. Шлагов Д.А. Клеточные автоматы в вычислительной гидродинамике [Текст] / Д.А. Шлагов, Е.В. Решетникова // Инновационные технологии в науке и образовании: Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 24 июля 2016 г.) / Редкол.: О.Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – №3 (7). – С. 212–214.

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)