

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра математического обеспечения вычислительных комплексов и
информационных систем

**ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВХОДНО-
ВЫХОДНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 441 группы

направления 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование
информационных систем

факультета компьютерных наук и информационных технологий

Долгова Дениса Валерьевича

Научный руководитель:

д.ф.-м.н., профессор



Д.К. Андрейченко

Зав. кафедрой:

д.ф.-м.н., профессор



Д.К. Андрейченко

Саратов 2022

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

Компьютерное моделирование – это один из эффективных методов исследования, описания и изучения сложных систем. Метод позволяет проводить эксперименты с вычислениями в тех случаях, когда реальная постановка эксперимента затруднена или может дать непредсказуемый результат.

Под динамической системой понимается множество таких элементов (объекты, процессы), для которых однозначно определена функциональная зависимость между временем и положением в пространстве каждого элемента системы. Благодаря этому закону существует возможность прогнозировать будущее поведение динамической системы по начальному состоянию, а закон получил название закона эволюции. Динамическая система – это математическая модель эволюции реальных объектов (механические, физические, химические, биологические), состояние которой в любой момент времени определяется её начальным состоянием.

Параллельный алгоритм [1] — алгоритм, который может быть реализован по частям на множестве различных вычислительных устройств с последующим объединением полученных результатов и получением корректного результата. Параллельные алгоритмы важны, поскольку многопроцессорные системы постоянно совершенствуются, а число ядер в современных процессорах увеличивается.

Цель бакалаврской работы – Рассмотреть принцип работы параллельных алгоритмов моделирования динамических систем и исследовать эффективность их реализации на основе OpenMP.

Поставленная цель определила **следующие задачи:**

1. изучить основные возможности технологии параллельного программирования OpenMP
2. изучить основные методы численного интегрирования задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений и реализующие

их стандартные программные средства

3. изучить основные возможности распараллеливания по независимым определяющим параметрам задач численного моделирования непрерывных динамических систем

4. изучить основные возможности распараллеливания по независимым определяющим параметрам и независимым входным функциям

5. исследовать возможность и эффективность распараллеливания на основе многопоточности стандартных программных средств численного интегрирования задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений

Методологические основы параллельных алгоритмов моделирования динамических систем представлены в работах Эндрюса Г.Р., Эхтера Ш., Лупина С.А, Посыпкина, Левин М.П, Андрейченко Д.К., Велиева В.М., Ерофтиева А.А., Портенко М.С.

Практическая значимость бакалаврской работы: Использование параллельных алгоритмов моделирования непрерывных динамических систем позволяет существенно ускорить процесс определения состояния объектов в динамической системе.

Структура и объём работы. Бакалаврская работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованных источников и 1 приложения. Общий объём работы – 105 страниц, из них 71 страница – основное содержание, включая 21 рисунок и 3 таблицы, список использованных источников информации – 22 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Основные возможности технологии параллельного программирования OpenMP» посвящен теории разработки параллельных методов, рассматривается процесс создания параллельных алгоритмов, который, в большинстве случаев состоит из 4 основных этапов:

1. Разделение вычислений на независимые подзадачи
2. Выделение информационных зависимостей между подзадачами
3. Масштабирование набора подзадач
4. Распределение задач между процессорами

В разделе рассматривается технология OpenMP: её методы и средства создания параллельных областей. В разделе перечислены основные директивы OpenMP, которые были использованы при написании программы расчета дальнейшего передвижения плавсредства.

В разделе описаны следующие фундаментальные определения:

Компьютерное моделирование – метод описания абстрактной модели некоторой системы, позволяющий проводить эксперименты с вычислениями в тех случаях, когда реальная постановка эксперимента затруднена или может дать непредсказуемый результат.

Динамическая система - это математическая модель эволюции реальных объектов (механические, физические, химические, биологические), состояние которой в любой момент времени определяется её начальным состоянием.

Параллельный алгоритм — алгоритм, который может быть реализован по частям на множестве различных вычислительных устройств с последующим объединением полученных результатов и получением корректного результата.

Эффективность использования процессов параллельным алгоритмом является основным показателем успешности распределения подзадач между процессорами. Для этого необходимо обеспечить равномерное распределение вычислительной нагрузки между процессорами и

минимизировать количество информационных взаимодействий, которые существуют между ними.

Стоит обратить внимание, что требования для минимизации информационных обменов между процессорами и обеспечения равномерной загрузки процессов вычислительной системы носят взаимно–противоречивый характер. Например, в последовательной программе информационные взаимодействия в принципе отсутствуют.

Балансировка вычислительной нагрузки может сильно усложниться, если схема вычислений имеет свойство изменяться в процессе решения задачи. Причиной этого могут быть неоднородные сетки при конечно–элементном численном моделировании задач математической физики, разреженность матриц, использование адаптивных алгоритмов численного анализа, для которых в принципе оценить время выполнения невозможно.

Кроме того, используемые на этапах проектирования оценки вычислительной сложности решения подзадач могут быть приблизительными. И наконец, количество подзадач может изменяться в процессе вычислений. В подобных ситуациях может потребоваться перераспределение базовых подзадач между процессорами в ходе выполнения параллельной программы, т.е. потребуются выполнить динамическую балансировку вычислительной нагрузки.

Второй раздел «Численное интегрирование задачи Коши и параллельный алгоритм моделирования динамических систем» посвящен рассмотрению некоторых методов численного интегрирования задачи Коши, а также реализации динамической системы с одной степенью свободы, смоделированной задачей Коши для нелинейного дифференциального уравнения второго порядка. Был смоделирован генератор автоколебаний, в котором гарантированно достигался предельный цикл при любых начальных условиях.

Раздел содержит постановку задачи, модельные уравнения, а также результаты вычислений для последовательных и параллельных расчетов с использованием директив OpenMP.

В случае данной задачи, при каждом фиксированном значении параметров p решение задачи Коши, в том числе и ее численное интегрирование явно– неявным методом Адамса либо «жестко устойчивым» ФДН–методом может быть выполнено независимо, т.е. параллельно. Т.е. численное интегрирование задачи Коши выделяется в отдельную задачу, и соответствующие задачи могут выполняться параллельно.

Так, опытным путём было установлено, что численное решение нежесткой задачи Коши параллельным методом, выполненное на четырёх ядерном процессоре Intel core i7-1065g7 примерно в три раза быстрее последовательного.

Как следует из полученных результатов, применение технологии OpenMP позволяет успешно распараллеливать вычисления на основе многопоточности даже при использовании адаптивных алгоритмов численного моделирования, когда время выполнения отдельных задач невозможно предсказать априорно. При этом применение директив распараллеливания циклов и директив создания наборов задач оказывается примерно одинаковым по эффективности. Это объясняется тем, что стандартные алгоритмы планировщика работы потоков OpenMP используют динамическую балансировку вычислительной нагрузки по имеющимся процессорам с целью их более равномерной загрузки.

Исходя из результатов, можно ожидать, что применение «жестко устойчивого» ФДН-метода численного интегрирования для «жестких» задач будет гораздо более эффективным по сравнению с явно-неявным методом Адамса (и другими «нежесткими» методами типа явного метода Рунге-Кутты).

Также можно ожидать, что эффективность как применения «жестко устойчивых» методов численного интегрирования, так и распараллеливания

вычислений будет возрастать с ростом размерности динамической системы.

Третий раздел «Динамические модели с входными и выходными функциями» посвящен рассмотрению принципам работы динамической системы, была сформулирована задача расчета различных вариантов дальнейшего передвижения плавсредства, а также составлены модельные уравнения. Движение динамических систем, подобных той, что описана в задаче, моделируется системами обыкновенных дифференциальных уравнений и связанных с ними посредством граничных условий и условий связи уравнений в частных производных при соответствующих начальных условиях. Данные математические модели названы комбинированными динамическими системами.

В разделе приведены результаты работы параллельных и последовательных вычислений поведения 10-секционного 500-метрового транспортирующего трубопровода для 20 заданных маршрутов. Вычисления проводились на четырёх ядерном процессоре Intel core i5 4460 с тактовой частотой 3.2 ГГц. Было произведено несколько параллельных и последовательных вычислений, в результате которых было установлено, что параллельные вычисления положений секций трубопровода производятся в среднем в 4 раза быстрее (10,5 минут), чем последовательное вычисление каждого маршрута (40 минут).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распараллеливание основного процесса на отдельные подзадачи позволяет решить задачу достаточно быстро, за счёт того, что каждый из потоков решает свою часть задачи. Благодаря параллельному алгоритму динамическая система получает описание для каждого элемента достаточно быстро.

Технология OpenMP содержит в себе описание директив компилятора, библиотечных процедур и переменных окружения, предназначенных для программирования многопоточных приложений. Данная технология была использована при реализации описанного в работе алгоритма.

Распараллеливание собственно численного интегрирования задачи Коши как такового невозможно. Однако распараллеливание численного моделирования динамических систем по независимым значениям характерных параметров системы оказывается достаточно эффективным.

Параллельный алгоритм, описанный в работе, успешно справляется с задачей распараллеливания вычислительного процесса.

Можно ожидать, что эффективность применения «жестко устойчивых» методов численного интегрирования и распараллеливания вычислений будет возрастать при увеличении размерности динамической системы.

В ходе данной работы была поставлена задача расчета значительного количества вариантов дальнейшего передвижения плавсредства. Варианты можно рассчитать параллельно, поскольку рассматриваемая динамическая система является в значительной степени нелинейной и каждый из вариантов можно рассчитать независимо друг от друга.

Основные источники информации:

1. Эндрюс Г.Р. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования. М.: ИД Вильямс, 2003
2. Ш. Эхтер, Д. Робертс Многоядерное программирование. М.:Питер, 2010

3. Гергель, В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем/ В.П. Гергель. М.: Изд-во Моск.ун-та, 2010
4. Лупин С.А., Посыпкин М.А. Технологии параллельного программирования. М: ИД «ФОРУМ», ИНФРА-М, 2011
5. Левин М.П. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012
6. Андрейченко Д.К., Велиев В.М., Ерофтиев А.А., Портенко М.С. Теоретические основы параллельного программирования. Саратов 2014
7. Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П., Моделирование, анализ и синтез комбинированных динамических систем; Учебное пособие; Саратов: ООО Издательский дом “Райт - Эксмо”, 2013