МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Новосибирский национальный исследовательский государственный университет"
(Новосибирский государственный университет)
Структурное подразделение Новосибирского государственного университета –
Высший колледж информатики НГУ
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Создание модуля для параллельного решения бигармонического уравнения методом Монте-Карло

Дипломный проект
на квалификацию техник

Студент IV курса — Семенов С.А.
гр. 903а2 — "___"_________2013

Научный руководитель — Лукинов В.Л.
к.ф-м.н., н.с ИВМиМГ СО РАН — "___"_________2013

Новосибирск
2013

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

API - Интерфейс программирования приложений (иногда интерфейс прикладного программирования) (англ. application programming interface) – набор готовых классов, процедур, функций, структур и констант, предоставляемых приложением (библиотекой, сервисом) для использования во внешних программных продуктах.

MPI - Message Passing Interface (интерфейс передачи сообщений) – API для передачи информации, который позволяет обмениваться сообщениями между процессами, выполняющими одну задачу.

ВВЕДЕНИЕ

Дипломная работа посвящена созданию эффективной библиотеки для численного решения первой краевой задачи для бигармонического уравнения методами Монте-Карло.

Официальной датой рождения метода Монте-Карло принято считать 1949 год, когда была опубликована статья С. Улама и Н. Метрополиса [1] . Сам термин был предложен еще во время Второй мировой войны выдающимися учеными XX века математиком Дж. фон Нейманом и физиком Энрико Ферми в Лос-Аламосе (США) в процессе работ по ядерной тематике. Хотя методы Монте-Карло были известны и до 40-х годов, интенсивное развитие статистическое моделирование получило несколько позже в связи с появлением компьютеров, что позволило проводить вычисления больших объемов. С другой стороны, более широкое распространение получает статистическое описание тех или иных сложных физических процессов в связи с чем методы Монте-Карло все более активно используются во многих научных областях (теория переноса, теория массового обслуживания, теория надежности, статистическая физика и др.).

Основными преимуществами данных методов являются:

- физическая наглядность и простота реализации,
- малая зависимость трудоемкости задачи от размерности,
- возможность решения задач со сложной геометрией,
- оценивание отдельных функционалов от решения без запоминания значений решения во всей области,
- вероятностные представления позволяют строить обобщенные решения уравнений,
- одновременное оценивание вероятностной погрешности оценки искомого функционала,
- простое распараллеливание методов.

Бигармонические уравнения используются при решении задач теории упругости. Например, уравнение изгиба тонких пластин имеет вид $\triangle\triangle u = g$, где u – нормальный прогиб пластины. Если пластина лежит на упругом основании, то u удовлетворяет уравнению $\triangle\triangle u + cu = g$.

В настоящей работе использовались алгоритмы, основанные на двух принципиально разных подходах к решению краевых задач методом Монте-Карло.

Первый подход заключается в сведении исходной дифференциальной задачи к некоторому интегральному уравнению, что дает возможность использовать развитой аппарат методов Монте-Карло для решения интегральных уравнений второго рода. На этой основе строятся алгоритмы ”блуждания по сферам”.

Во втором подходе дифференциальная задача заменяется соответствующей разностной, которую после приведения её к специальному виду возможно решить методом Монте-Карло. В рамках этого подхода получаются простые и универсальные алгоритмы ”блуждания по решетке”.

Несмотря на то, что рассматриваемые в дипломе алгоритмы хорошо изучены, новой и неисследованной является задача изучения данных алгоритмов при вычислениях на кластерах. Основная задача дипломной работы состоит в построении библиотеки для кластерных вычислений.

1 Постановка задачи

1.1 Конкретизации требований и задачи

Основная задача дипломной работы – написание библиотеки для вычисления бигармонического уравнения

$$(\Delta + c)^2 u = -g, (\Delta + c)^k u|_\Gamma = \phi_k,$$

входными параметрами которой являются:

– граничные функции;
– правая часть уравнения;
– точка в которой вычисляется решение;
– количество траекторий;
– правая часть уравнения;
– функция границ области.

Функция границ области возвращает единицу если точка с некоторой погрешностью находится на границе.

Рассмотрим возможные пути задания функциональных параметров.

– Использование функций обратного вызова;
– парсинг функций;
– скрипт.

Первый наиболее скор в разработки, но заставляет компилировать программу каждый раз когда мы меняем вычисляемое уравнение. Неприемлемым недостатком второго и третьего является чрезмерное увеличении исполняемой программы. В связи с этим в дипломной работе использовался первый вариант.Для уменьшения времени компиляции и облечении разработки готового приложения функционал вынесен в отдельную библиотеку.

Вывод осуществляется на экран и возвращается значениями из функций.

Конкретизируем задачу:

а) Создание статической библиотеки класса для вычисления бигармонического уравнения.
б) Создание примера приложение.
в) Возврат значений дисперсии и решения уравнения.

г) Печать на экран с разными форматами.

д) Создание справки.

1.2 Формулировка задачи

Создать библиотеку параллельного вычисления выше оговоренной задачи с удобным интерфейсом. Снабдить библиотеку примером и сопутствующей документацией(описание интерфейса и методов запуска).

В связи с трудностью задания условий задачи скриптовыми методами и ориентирование на малый объем и неделимость готовой программы, использовать функции обратного вызова.

Для быстрого изменения работы программы без изменения ее структуры обеспечить выбор методов решения и алгоритмов распределения задач флагами.

Обеспечить отказоустойчивость.

1.3 Аналоги

Для решения данного класса задач инженерами и математиками используются самописные программы последовательного и параллельного вычисления, а также математические пакеты такие как MatLab, Matematica, Wolfram Alfa. В этих пакетах отсутствует данные методы решения.

Самописные программы требуют дополнительных ресурсов, при этом возможны проблемы связанные с тестированием, поддержкой, оптимизацией требуемых решений. Создание библиотеки снижает этот уровень этих проблем.

Главным аналогом на основе которого и разрабатывается приложение является последовательная программа Biharmon2. Все сравнительные тесты проводились именно с ней. Численные результаты полученные приложение являющийся эталонными. Схема работы алгоритма показана на рисунке А.1 приложения А. Первый прямоугольник представляет собой вычисление в точке, второй же полный проход по траектории до границы. Недостатком данной реализации алгоритмов является:

– необходимость изменять алгоритм и функции основной программы(малая степень защиты от дурака);
– последовательность вычислений;
– при изменении алгоритма вычисления меняется и часть программы.

2 Методы решения и алгоритмы

В работе рассматриваются два метода решения(блуждание по сферам и блуждание по решетки) и два алгоритма распределения траекторий(статический и динамический).

2.1 Блуждание по решетке

В вычислительной математике для нахождения приближенного решения классическим подходом является замена дифференциальных уравнений соответствующей разностной задачей. Полученную систему линейных уравнений возможно решить методом Монте-Карло, используя случайные "блуждания по решетке", после приведения ее к специальному виду:

$$u = Au + f, p(A) < 1, \tag{2.1}$$

где $p(A)$ спектральный радиус матрицы A. Воспользуемся данным подходом применительно к рассматриваемым ниже задачам.

В этой главе допускается, что функции c, g, ϕ, u могут быть комплексными, причем $= Re(c)$.

В области D строится равномерная сетка с шагом h и в качестве оценки решения задачи для $L = \Delta$ в узлах сетки $r = (i_1 h, \ldots, {}_n h)$рассматривается решение разностной задачи:

$$\begin{cases} (\Delta_h + c^h + \lambda)u^h = -g^h \\ u^h|_{\Gamma_h} = \phi^h. \end{cases} \tag{2.2}$$

Здесь Δ_h – стандартный разностный оператор Лапласа; D_h – сеточная область (множество внутренних узлов); ${}_h$ сеточная граница; u^h – сеточная функция, определенная на $D_h \cup \Gamma_h$;g^h, c^h, M^h, ϕ^h – значения соответствующих функций в узлах сетки. Для простоты изложения здесь рассматривается вариант, когда все граничные узлы сетки лежат на исходной границе , то есть область D_h является объединением "координатных" параллелепипедов.

Свойства разностной аппроксимации оператора Лапласа позволяют предположить, что при достаточно малых h все собственные значения оператора Δ_h для области D_h отрицательны. Обозначим через – c_h^* то из них, которое имеет наименьшую абсолютную величину. Тогда для $M^h+\lambda_0 < c_h^*$ задача имеет единственное решение.

Уравнение 2.2 можно представить в виде:

$$u_i^h = s_i \sum_{j=1}^{L} p_{ij} u_j^h + f_i^h, \tag{2.3}$$

где $i; j = (1; \ldots ; L)$ – номера узлов сетки, причем $p_{ij} = 1/(2n)$, если i номер внутреннего узла, а j соседнего с ним; $p_{ij} = 0$ для граничных узлов. Для граничных узлов полагаем $s_i = 0$; для остальных узлов

$$s_i = \left[1 - \frac{(c_i^h+\lambda)h^2}{2n}\right]^{-1}. \tag{2.4}$$

Свободный элемент f^h определяется соотношениями:

$$f_i^h = \begin{cases} \dfrac{h^2}{2n} s_i g_i^h, r_i \in D_h \\ \phi_i^h, r_i \in \Gamma_h \end{cases} \tag{2.5}$$

2.1.1 Оценка решения уравнения $(\Delta + c)(\Delta + b)u = -g$

Рассмотрим следующую задачу Дирихле для бигармонического уравнения:

$$\begin{cases} (\Delta + c)(\Delta + b)u = -g, \\ \Delta u + bu|_\Gamma = \phi, \\ u|_\Gamma = \psi, \end{cases} , \tag{2.6}$$

и эквивалентную ей систему уравнений

$$\begin{cases} \Delta u + bu = \upsilon, \\ u|_\Gamma = \psi, \\ \Delta \upsilon + c\upsilon = -g, \\ \upsilon|_\Gamma = \phi \end{cases} \tag{2.7}$$

в области $D \in R^n$ с границей Г, которая предполагается односвязной и кусочно гладкой, причем

$$M = \max\left[Re(b), Re(c)\right] < c^*, \tag{2.8}$$

где c^* первое собственное значение оператора Лапласа для области D, произвольная точка $r = (x_1; \ldots; x_n) \in D$. Будем полагать также что функции c, b, g удовлетворяют условию Гельдера в D , а функции ψ, ϕ непрерывны на границе Г. Условия регулярности, обеспечивающие существование и единственность решения данной задачи, предполагаются выполненными в том числе и после замены всех параметрических функций их модулями.

В области D строится равномерная сетка с шагом h и в качеств оценки решения исходной задачи в узлах сетки $r = (i_1h; \ldots; i_nh)$ рассматривается решение разностной задачи:

$$\begin{cases} \Delta_h u^h + b^h u^h = \upsilon^h, \\ u^h|_{\Gamma_h} = \psi^h \end{cases}, \tag{2.9}$$

$$\begin{cases} \Delta_h \upsilon^h + c^h \upsilon^h = -g^h, \\ \upsilon^h|_{\Gamma_h} = \phi^h \end{cases}, \tag{2.10}$$

где υ^h – сеточная функция, определенная на $D^h \cup \Gamma_h$; b^h, ψ^h – значения функций $b(r), \psi(r)$ в узлах сетки. Остальные обозначения и условия примем такими же как в 2.1. Тогда для $M^h < c_h^*$ задача 2.9 и 2.10 имеет единственное решение. Соотношения 2.9, 2.10 перепишем в виде:

$$\upsilon_i^h = q_i \sum_{j=1}^{L} p_{ij} \upsilon_j^h + f_i^h, \tag{2.11}$$

$$u_i^h = q_i \sum_{j=1}^{L} p_{ij} u_j^h + f_i^h, \tag{2.12}$$

где $i, j = (1, \ldots, L)$ – номера узлов сетки, причем $p_{ij} = 1/(2n)$, если и номер внутреннего узла, а j – соседнего с ним; $p_{ij} = 0$ для граничных узлов. Для граничных узлов полагаем $q_i = s_i = 0$; для остальных узлов

$$q_i = [1 - c_i^h h^2/(2n)]^{-1}, \qquad s_i = [1 - b_i^h h^2/(2n)]^{-1}. \tag{2.13}$$

Свободные элементы f_h и $\bar{f}_h$ определяются соотношениями:

$$f_i^h = \begin{cases} \frac{h^2}{2n} q_i g_i^h, r_i \in D_h \\ \phi_i^h, r_i \in \Gamma_h \end{cases}, \qquad \bar{f}_i^h = \begin{cases} -\frac{h^2}{2n} s_i \upsilon_i^h, r_i \in D_h \\ \psi_i^h, r_i \in \Gamma_h \end{cases}. \tag{2.14}$$

Согласно теореме 5 из [3]:

$$\xi_{i_0} = \frac{-h^2}{2n} \sum_{j=0}^{N} f_{i_j}^h \sum_{l=0}^{j} (\prod_{k=0}^{l} s_{i_k})(\prod_{k=l}^{j-1} q_{i_k}) + (\prod_{k=0}^{N-1} s_{i_k}) \psi_{i_N}^h \prod_{k=j}^{j-1} = \begin{cases} 1, j < N \\ 0, j = N \end{cases}. \tag{2.15}$$

Здесь $i_0, \ldots, i_n$ – номера узлов случайной цепи Маркова с начальным распределением δ_{i_0} и вероятностями перехода p_{ij} , N – случайный номер первого попадания на границу сеточной области.

2.2 Блуждание по сферам

Рассмотрим задачу Дирихле для уравнения Гельмгольца

$$\Delta u + cu = g, u|_\Gamma = \phi \tag{2.16}$$

в области $D \subset R^n$ с границей Γ , причем $c < c^*$, где c^* первое собственное число оператора Лапласа для области $D, r = (x1; \ldots; xn) \in D$. Предполагаются выполненными сформулированные условия регулярности функций g, ’ и границы Γ, обеспечивающие существование и единственность решения задачи , а также его вероятностное представление и интегральное представление с помощью шаровой функции Грина.

Введем следующие обозначения:

– $\bar{D}$ – замыкание области D;
– $d(P)$ – расстояние от точки P до границы Γ;
– $\epsilon > 0$ – числовой параметр;
– Γ_ϵ – ϵ – окрестность границы Γ, т. е. $\Gamma_\epsilon = \{P \in \bar{D} : d(P) < \epsilon\}$;
– $S(P)$ максимальная из сфер (точнее - из гиперсфер) с центром в точке P, целиком лежащих в $\bar{D}, S(P) = \{Q \in \bar{D} : |Q - P| = d(P)\}$.

В процессе блуждания по сферам очередная точка P_{k+1} выбирается равномерно по поверхности сферы $S(P_k)$; процесс обрывается, если точка попадает в Γ_ϵ. Дадим точное определение процесса блуждания по сферам. Зададим цепь Маркова $\{R_m\}_{m=1,2,...,N}$ следующими характеристиками:

- $\pi(r) = \delta(r - r_0)$ - плотность начального распределения (т.е. цепь выходит из точки r_0);
- $p(r, r') = \delta_r(r')$ плотность перехода из r в r', представляющая собой обобщенную плотность равномерного распределения вероятностей на сфере $S(r)$;
- $p_0(r)$ вероятность обрыва цепи, определяемая выражением

$$p_0(r) = \begin{cases} 0, r \notin \Gamma_\epsilon \\ 1, r \notin \Gamma_\epsilon \end{cases}; \tag{2.17}$$

- N - номер последнего состояния.

Как уже указывалось, данная цепь называется процессом блуждания по сферам. Ее можно, очевидно, записать в виде $r_m = r_{m-1} + \omega_m d(r_{m-1}); m = 1; 2; ....; \omega_m$ – последовательность независимых изотропных векторов единичной длины.

2.2.1 Оценки решения метагармонического уравнения$(\delta + c)^p u = g$

Для случая $L = \delta, \lambda = 0, c = const < c*$ вероятностное представление задачи имеет вид

$$u(r_0) = E \int_0^\gamma e^{ct} g(\xi(t))dt + E[e^{c\tau}\Phi(\xi(\tau))], \tag{2.18}$$

где $\xi(t)$ начинающийся в точке r_0 соответствующий оператору Лапласа диффузионный процесс, τ момент первого выхода процесса из области D. На основе строго марковского свойства процесса отсюда имеем

$$u(r_0) = \sum_{i=0}^{\infty} E[e^{c\tau_i} \int_0^{\tau_{i+1}-\tau_i} e^{ct} g(\xi(t + \tau_i))dt + E[\Phi(\xi(\tau)) \prod_{i=0}^{\infty} e^{c(\tau_{i+1}-\tau_i)}], \tag{2.19}$$

где τ_i - момент первого выхода процесса $\xi(t)$ на поверхность i-й сферы соответствующего блуждание по сферам.

2.3 Алгоритмы распределения траекторий

В библиотеке используется два алгоритма распределения траекторий: статический (равное распределение задачи при равных вычислительных узлах) и динамический (предполагает разные вычислительные мощности отдельных узлов).

Статический метод распределяет траектории в равных долях плюс процесс для не нулевого и вычет общего числа процессов на нулевом. Это связано с общим суммированием результата на нулевом процессе.

Динамический распределяет половину траекторий в равных долях между не нулевыми процессами(в дальнейшем – вычислители). Нулевой процесс выполняет роль менеджера распределения траекторий (МРТ). При окончании расчетов первым вычислителем МПТ получает коэффициент производительности (КП) выраженный в секундах на проход. Этой величине присваивается единичный статус и назад отправляется количество проходов равное первоначальным условиям, но от оставшегося числа. Если остается меньше необходимого минимума он отправляется полностью, а МРТ переходит к сбору данных. При приходе последующих КП они сравниваются с единичным. Если он меньше, то текущей становится единичным. Назад отправляем

$$nWay = \frac{N}{2aP\frac{Kp_i}{Kp_1}}, \tag{2.20}$$

где Кр - коэффициент производительности, $size$ - общие количество процессов, $aP = size - 1$. Если $nWay$ меньше необходимого минимума отправляется N полностью, а МРЗ переходит к сбору данных. В графическом представлении алгоритм можно просмотреть на рисунке 2.1

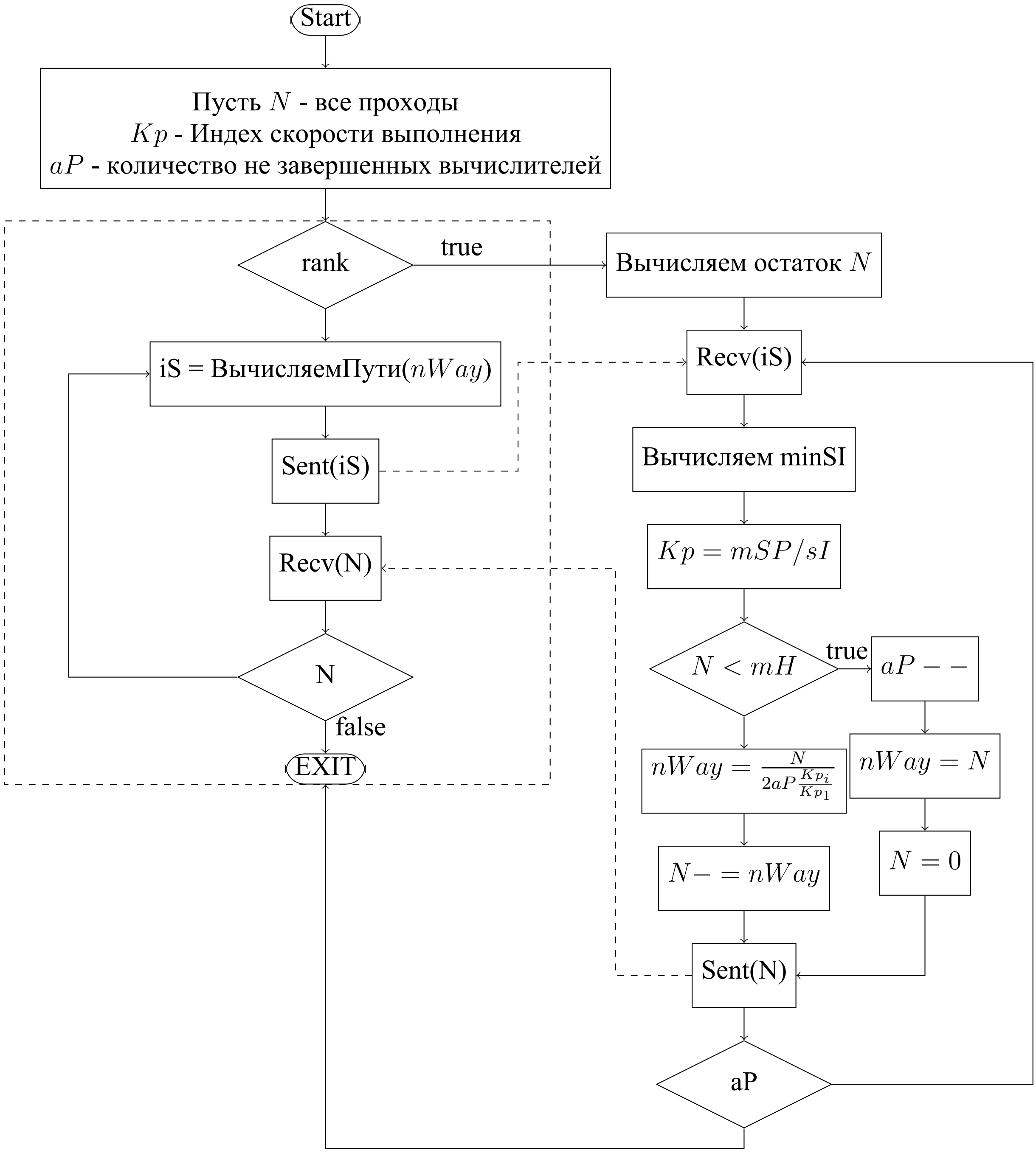

Рисунок 2.1 — Динамический алгоритм

3 Выполнение задачи

3.1 Используемые программные средства

При создании требуемой библиотеки были использованы следующие программные средства и технологии.

Message Passing Interface (MPI, интерфейс передачи сообщений) – программный интерфейс (API)[1] для передачи информации, который позволяет обмениваться сообщениями между процессами, выполняющими одну задачу. Разработан Уильямом Гроуппом, Эвином Ласком и другими.

MPI является наиболее распространённым стандартом интерфейса обмена данными в параллельном программировании. Существуют его реализации для большого числа компьютерных платформ. MPI используется при разработке программ для кластеров и суперкомпьютеров. Основным средством коммуникации между процессами в MPI является передача сообщений друг другу. Стандартизацией MPI занимается MPI Forum. В стандарте MPI описан интерфейс передачи сообщений, который должен поддерживаться как на платформе, так и в приложениях пользователя. В настоящее время существует большое количество бесплатных и коммерческих реализаций MPI. Существуют реализации для языков Фортран 77/90, Java, Си и Си++.

В первую очередь MPI ориентирован на системы с распределенной памятью, то есть когда затраты на передачу данных велики, в то время как OpenMP[2] ориентирован на системы с общей памятью (многоядерные с общим кэшем). Обе технологии могут использоваться совместно, дабы оптимально использовать в кластере многоядерные системы. Более подробно об этом [**?**].

При разработке прикладного кода использовалась распределённая система управления версиями файлов – Git

Git — распределённая система управления версиями файлов. Проект был создан Линусом Торвальдсом для управления разработкой ядра Linux, первая версия выпущена 7 апреля 2005 года. На сегодняшний день поддерживается Джунио Хамано.

Система управления версиями (от англ. Version Control System, VCS или

[1] Application programming interface

[2] http://openmp.org/wp/

Revision Control System) – программное обеспечение для облегчения работы с изменяющейся информацией. Система управления версиями позволяет хранить несколько версий одного и того же документа, при необходимости возвращаться к более ранним версиям, определять, кто и когда сделал то или иное изменение, и многое другое.

Такие системы наиболее широко используются при разработке программного обеспечения для хранения исходных кодов разрабатываемой программы. Однако они могут с успехом применяться и в других областях, в которых ведётся работа с большим количеством непрерывно изменяющихся электронных документов. В частности, системы управления версиями применяются в САПР, обычно в составе систем управления данными об изделии (PDM). Управление версиями используется в инструментах конфигурационного управления (Software Configuration Management Tools). Программа является свободной и выпущена под лицензией GNU GPL 2.

Язык для написания приложения был выбран C++ как наиболее подходящий для разработки статической библиотеки.

Статическая библиотека в программировании – сборник подпрограмм или объектов, используемых для разработки программного обеспечения (ПО) выполненных в виде исходного текста, подключаемого программистом к своей программе на этапе написания, либо в виде объектных файлов, подключающихся к исполняемой программе на этапе компиляции. В результате программа включает в себя все необходимые функции, что делает её автономной, но увеличивает размер. Без статических библиотек объектных модулей (файлов) невозможно использование большинства современных компилирующих языков и систем программирования: Fortran, Pascal, C, C++ и других.

Статическая библиотека присоединяется во время компиляции программы в то время как присоединение динамической происходит во время выполнения.

4 Итоги работы

Результатом выполнения дипломного проекта стало разработка и реализация алгоритмов распределения траекторий, реализация методов численного решения бигармонического уравнения. Это было вынесено в отдельный класс, на основании которого была создана статическая библиотека.

4.1 Структура библиотеки

Библиотека содержит главный класс POINT_ON_RESHOTKA. Который содержит следующие открытые методы: SetU, setG, setPhi, SetBoundary, PrintDebag и printResult, Init, MainRun, SetFlag. SetU,setG,setPhi – задают соответствующие функциональные параметры. SetBoundary – функция определения границы. PrintDebag и printResult – печать результатов (данные для анализа алгоритма и результат вычислений соответственно). Init – инициализация библиотеки MPI и класса. MainRun – запуск вычислений. SetFlag – установка флагов.

Закрытыми методами являются: voidSphere, diam, staticSphere, dinamicSphere. VoidSphere – проход по траекториям. StaticSphere – реализация статичного алгоритма распределения траекторий. DinamicSphere – реализация динамического алгоритма распределения траекторий.

Описание класса и функций содержатся в приложении.

4.2 Численные результаты

Рассмотрим численные результаты для следующий задачи Дихиле:

$$\begin{cases} (\Delta + 2)(\Delta + 8)u = 40e^x e^y \\ (\Delta + 8)u|_\Gamma = 10e^x e^y \\ u|_\Gamma = e^x e^y \end{cases} \tag{4.1}$$

в единичном квадрате. Решение данной задачи дано в [3].

В таблице 4.1 представлены результаты производительности, оценки точности и численные результаты совпадают для всех методов. Используются следующие сокращения для таблицы: Por - результаты получены в аналоге, Par1 - статичный метод расчета, Par2 - динамичный метод расчета. Измерения проводились на однопроцессорной машине.

Таблица 4.1 — Время выполнения и расхождения

Metot	N	Кол.	t_{cp}	Δ проходов
Par1	100003	4	0.6 sec	$+/-200$
Par1	1000030	4	6 sec	$+/-250$
Par2	100003	4	1 sec	$+/-10$
Par2	1000030	4	12 sec	$+/-10$
Par2	1000030	5	8 sec	$+/-10$
Pos	100003	1	2 sec	–
Pos	1000030	1	25 sec	–

Как видим статический алгоритм обеспечил лучшую производительность на однопроцессорной машине.

5 Руководство пользователя

5.1 Установка

Для сборки приложения под Windows необходимо MPICH2, набор утилит для компиляции: компилятор GNU GCC и GNU Make данные утилиты представлены в пакете MinGW. Для Linux GNU GCC не обязателен, компиляция происходит силами пакета MPICH2.

а) Скачайте необходимую версию библиотеки с тестовым примером.

б) Запустите консоль в папке проекта или перейдите в нее с помощью команды cd.
   - нажмите Пуск -> Выполнить -> cmd - Это откроет консоль Windows;
   - в консоли наберите имя диска на котором располагается проект с двоеточием на конце (C:);
   - там же напечатайте cd <путь к проекту > (cd C:
     project).

в) Запустите make.

Результатом станет скомпилированный тестовый пример и статическая библиотека находящиеся в папке с проектом.

5.2 Запуск приложения

Для запуска приложения набрать в консоли:

linux

mpirun -n <Кол. процессов> <Имя программы> [опции]

windows

mpiexec -n <Кол. процессов> <Имя программы> [опции]

Опции

-n<Кол.Путей> - Задает количество путей

-l - Печать заголовка таблицы

-f - Печать в общем виде (иначе табличный)

Пример:

mpirun -n 100 ./main -n3000 -l

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформируем основные результаты работы:

а) Изучена новая предметная область.

б) Найдены и рассмотрены существующие аналоги.

в) Составлена список требований к системе.

г) Исследованы методы Монте-Карло.

д) Исследованы способы два алгоритма реализации распределения задачи.

е) Разработан пользовательский интерфейс.

ж) Реализованы два алгоритма распределения задач для двух методов вычислений.

з) Сделано анализ времени выполнения алгоритмов распределения траекторий с различным количеством потоков в сравнение с последовательным аналогом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ulam S. The Monte Carlo method / S. Ulam, N. Metropolis//Journal of American Statistical Association – 1949. – №35. – P. 15-35.
2. Михайлов Г.А. Решение разностной задачи Дирихле для многомерного уравнения Гельмгольца методом Монте-Карло/ Г.А. Михайлов, А.Ф. Чешкова // Журн. вычисл. матем. и матем. физики. 1996. – Т. 38, №1. – С. 59-706.
3. Лукинов В. Л. Скалярные Алгоритмы метода Монте-Карло для решения мета-гармонических уравнений: автореф. дис...канд. физ.-мат. наук / В. Л. Лукинов; ИВМиМГ СО РАН. – Новосибирск, 2005. – 25 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Диаграммы программ

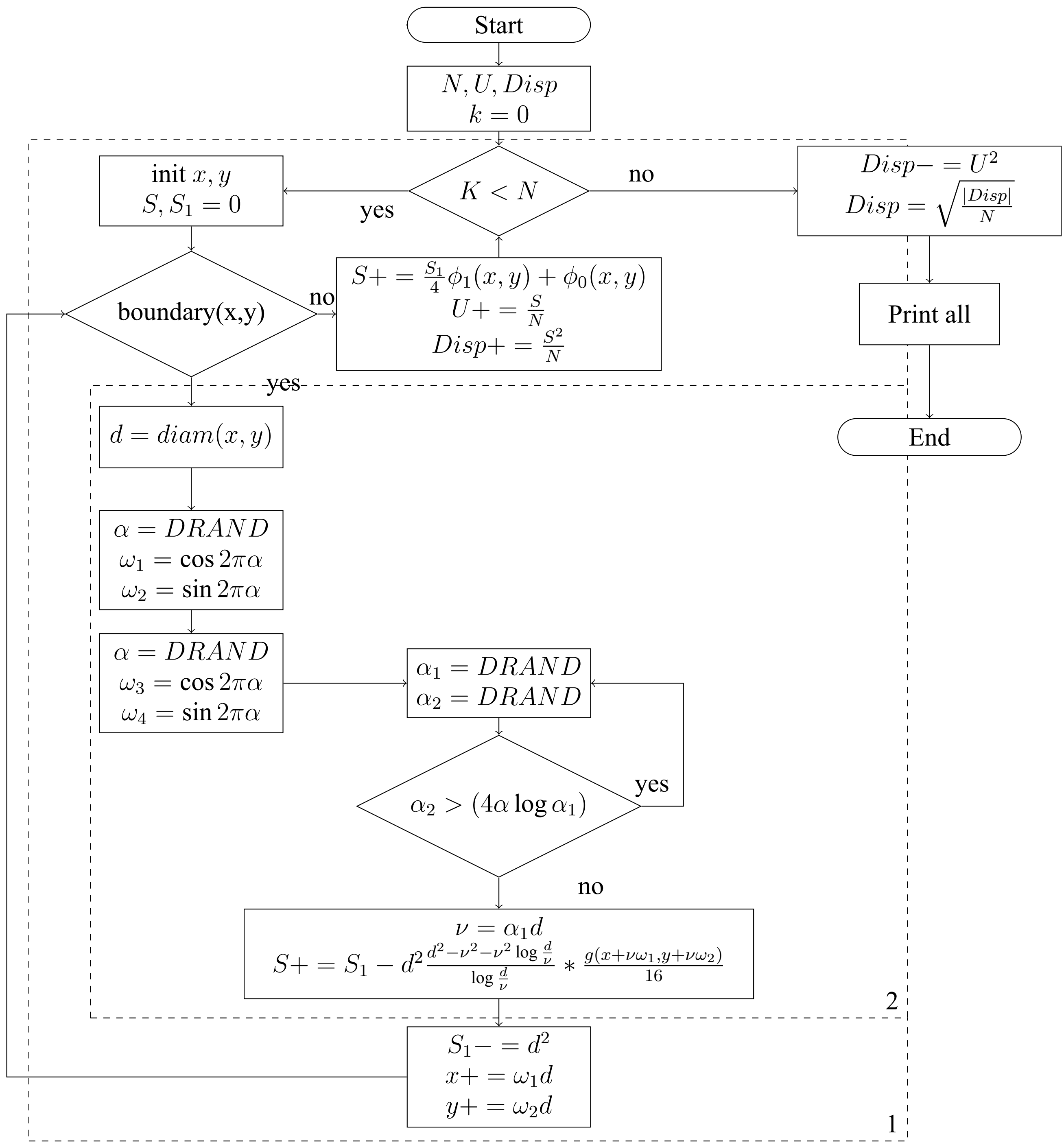

Рисунок А.1 — Принцип действия программы