

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
гр. 903а2

Семенов С.А.
”___”_____2013

Научный руководитель
к.ф-м.н., н.с ИВМиМГ СО РАН

Лукинов В.Л.
”___”_____2013

Новосибирск
2013

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ | 5 |
| ГЛАВА 1 Постановка задачи | 6 |
| 1.1 Конкретизации требований и задачи | 6 |
| 1.2 Формулировка задачи | 7 |
| 1.3 Аналогии | 7 |
| ГЛАВА 2 Методы решения и алгоритмы | 8 |
| 2.1 Блуждание по решетке | 8 |
| 2.1.1 Оценка решения уравнения $(\Delta + c)(\Delta + b)u = -g$ | 9 |
| 2.2 Блуждание по сферам | 11 |
| 2.2.1 Оценки решения метагармонического уравнения $(\delta + c)^p u = g$ | 12 |
| 2.3 Алгоритмы распределения задачи | 13 |
| ГЛАВА 3 Выполнение задачи | 15 |
| 3.1 Используемые программные средства | 15 |
| ГЛАВА 4 Итоги работы | 17 |
| 4.1 Схема приложения | 17 |
| 4.2 Численные результаты | 18 |
| ГЛАВА 5 Руководство пользователя | 19 |
| 5.1 Установка | 19 |
| 5.2 Запуск приложения | 19 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 20 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ | 21 |
| ГЛАВА Приложение | 22 |
| ГЛАВА А Диаграммы программ | 22 |
| А.1 Основной аналог - $Biharmon2$ измененная | 22 |

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 $\Delta\Delta u = g$, где u – нормальный прогиб пластины. Если пластина лежит на упругом основании, то u удовлетворяет уравнению $\Delta\Delta u + cu = g$.

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 развитый 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 вычислительной библиотеки для кластерных вычислений.

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.

1 Постановка задачи

1.1 Конкретизации требований и задачи

Входными условиями вычисления (пользовательскими функциями) является определение:

- функции ϕ ;
- функций u, g ;
- границ области.

Функции ϕ, u, g соответствуют функциям в уравнении: $(\Delta + c)^{p+1}u = -g, (\Delta + c)^k u|_{\Gamma} = \phi_k$. Функция границ области возвращает единицу если точка с некоторой погрешностью находится на границе. Входными данными является:

- количество путей;
- начальная точка.

Для задания пользовательских функций мы можем использовать программный код, прессинг функций или скрип. Первый наиболее скор в разработки, но заставляет компилировать программу каждый раз когда мы меняем вычисляемое уравнение. Для борьбы с этим недостатком сделаем вычисление в классе, который вынесем в отдельный модуль. Получаемый модуль параллельного вычисления скомпилируем как статическую библиотеку. Определение пользовательских функций проходит как задания функций обратного вызова. Так-же сделаем шаблон программы для облегчения определения пользователем своих функций. В комплект необходимо вести реализацию под конкретные условия.

С учетом того, что конечный программный продукт будет запускается как с изменением предыдущих параметров так и для частного конкретного случая ввод данных следует сделать с помощью аргументов и(или) файлов данных.

Вывод осуществляется на экран.

Конкретизируем задачу:

- а) Создание статической библиотеки класса с функциями обратного вызова.
- б) Создание приложения под конкретные условия.
- в) Создание файла данных под программу созданную по предыдущим условиям.
- г) Создание справки.

Интерфейс программы смотреть приложение "Справка".

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 и защищенность от дурака создание отдельного класса с необходимым интерфейсом.

1.3 Аналоги

Для решения данного класса задач инженерами и математиками используются самописные программы последовательного и параллельного вычисления, а также скриптовые математические пакеты. Последние в силу своей структуры не позволяют решить задачу методами представленными в данной дипломной работе. Самописные программы же требуют изучения языка хотя бы высокого уровня. Что заставляет людей изучать в принципе не нужные им вещи на достаточном высоком уровне. Создание же библиотеки снижает этот уровень.

Главным аналогом на основе которого и разрабатывается приложение является программа Biharmom2. Все сравнительные тесты проводились именно с ней. Численные результаты полученные приложением являющийся эталонными. Алгоритм этой программы приведен в приложении. Первый прямоугольник представляет собой вычисление в точке, второй же полный проход 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 решетке) и два алгоритма распределения задачи (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:

$$u = Au + f, p(A) < 1, \quad (2.1)$$

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 $\bar{u} = Re(u)$.

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

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

Здесь Δ_h – стандартный разностный оператор Лапласа; D_h – сеточная область (множество внутренних узлов); Γ_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 $-\lambda_h^*$ 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:

$$u_i^h = s_i \sum_{j=1}^L p_{ij} u_j^h + f_i^h \quad (2.3)$$

где $i, j = (1; \dots; L)$ – 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

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

Свободный элемент f^h определяется соотношениями:

$$f_i^h = \begin{cases} \frac{h^2}{2n} s_i g_i^h, & r_i \in D_h \\ \phi_i^h, & r_i \in \Gamma_h \end{cases} \quad (2.5)$$

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

Рассмотрим следующую задачу Дирихле для бигармонического уравнения:

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

и эквивалентную ей систему уравнений

$$\begin{cases} \Delta u + bu = v, \\ u|_{\Gamma} = \psi, \\ \Delta v + cv = -g, \\ v|_{\Gamma} = \phi, \end{cases} \quad (2.7)$$

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

$$M = \max [Re(b), Re(c)] < c^*, \quad (2.8)$$

где c^* первое собственное значение оператора Лапласа для области D , произвольная точка $r = (x_1; \dots; x_n) \in D$. Будем полагать также что функции c, b, g удовлетворяют условию Гельдера в D , а функции ψ, ϕ непрерывны на границе Γ . 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 качестве оценки решения исходной задачи в узлах сетки $r = (i_1 h; \dots; i_n h)$ рассматривается решение разностной задачи:

$$\begin{cases} \Delta_h u^h + b^h u^h = v^h, \\ u^h|_{\Gamma_h} = \psi^h, \end{cases} \quad (2.9)$$

$$\begin{cases} \Delta_h v^h + c^h v^h = -g^h, \\ v^h|_{\Gamma_h} = \phi^h, \end{cases} \quad (2.10)$$

где v^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:

$$v_i^h = q_i \sum_{j=1}^L p_{ij} v_j^h + f_i^h, \quad (2.11)$$

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

где $i, j = (1, \dots, L)$ – 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 $q_i = s_i = 0$; для остальных узлов

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

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

$$f_i^h = \begin{cases} \frac{h^2}{2n} q_i g_i^h, r_i \in D_h \\ \phi_i^h, r_i \in \Gamma_h \end{cases} \quad \bar{f}_i^h = \begin{cases} -\frac{h^2}{2n} s_i v_i^h, r_i \in D_h \\ \psi_i^h, r_i \in \Gamma_h \end{cases} \quad (2.14)$$

Согласно теореме 5 из [2]:

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

Здесь i_0, \dots, 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

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

в области $D \subset R^n$ с границей Γ , причем $c < c^*$, где c^* первое собственное число оператора Лапласа для области D , $r = (x_1; \dots; x_n) \in D$. Предполагаются выполненными сформулированные условия регулярности функций g , ϕ 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 $\{R_m\}_{m=1,2,\dots,N}$ 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

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

- N - номер последнего состояния.

Как уже указывалось, данная цепь называется процессом блуждания по сферам. Ее можно, очевидно, записать в виде $r_m = r_{m-1} + \omega_m d(r_{m-1})$; $m = 1; 2; \dots$; ω_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

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

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

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

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

2.3 Алгоритмы распределения задачи

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

Статический метод распределяет задачи 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 задачи в равных долях между не нулевыми процессами(в дальнейшем – вычислители). Нулевой процесс выполняет роль менеджера распределения задач (МРЗ). При окончании расчетов первым вычислителем МРЗ 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 МРЗ переходит к сбору данных. При приходе следующих КП они сравниваются с единичным. Если он меньше, то текущей становится единичным. Назад отправляем

$$nWay = \frac{N}{2aP \frac{Kp_i}{Kp_1}}, \quad (2.20)$$

где Kp - коэффициент производительности, $size$ - общее 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

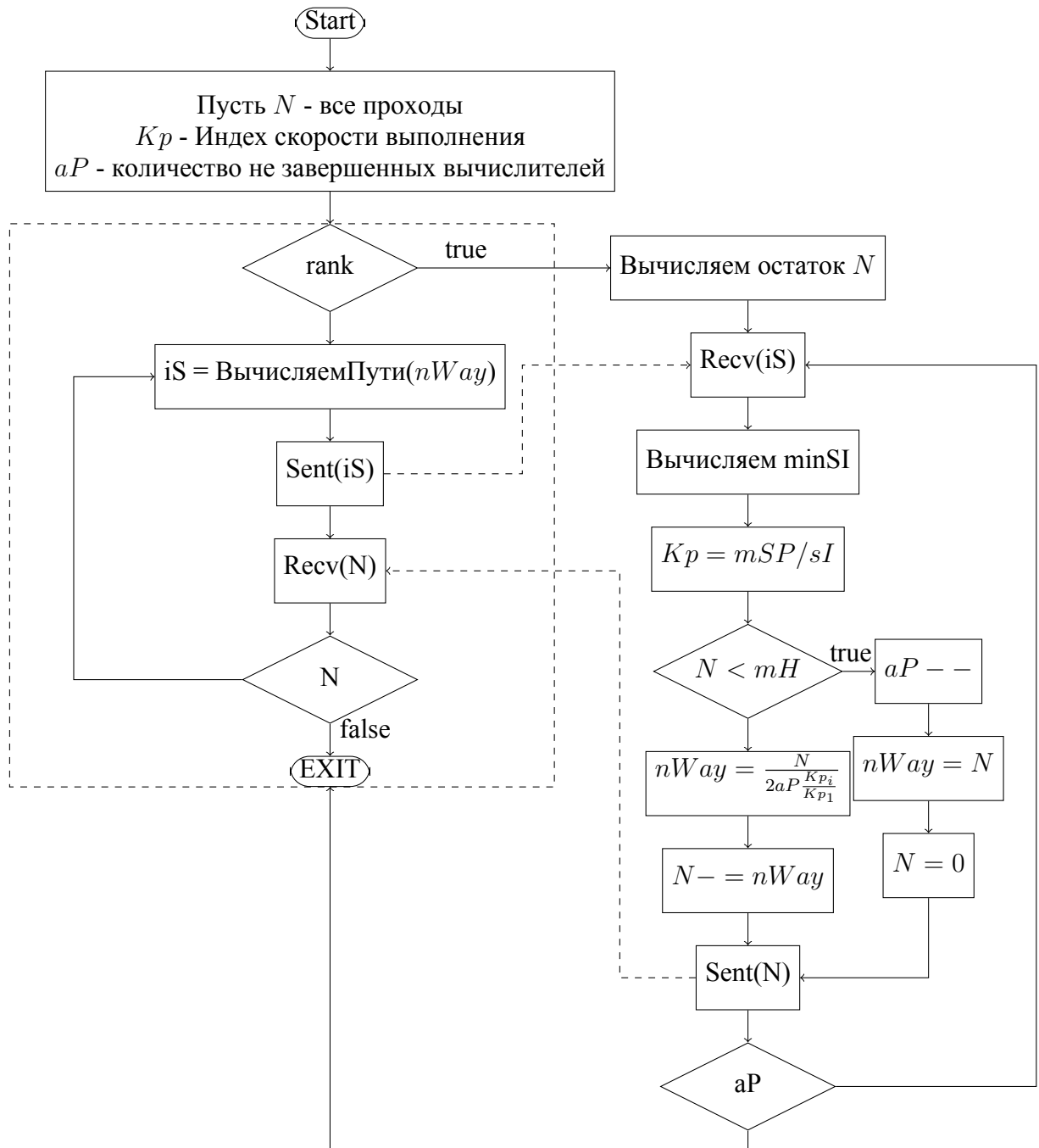


Рисунок 2.1 — Динамический алгоритм

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 OpenMP² 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 [3].

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

Библиотека содержит один класс, полностью реализующий функционал дипломной работы.

4.1 Схема приложения

```
#ifndef RESHOTKA
#define RESHOTKA

#include <mpi.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cmath>
#define DRAND double (rand())/ double(RAND_MAX)
#define DINAMIC_ALG 0x01000000
class POINT_ON_RESHOTKA{
    int rank, size; // mpi
    int flag; // flag
    int porColDrave; // количествопроходов
    int N; //количество дляодногопроцесса
    int N_2; //
    double porX, porY; // =0.5e-00;
    double timeRun;

    static const double PI=3.141592e-00;

    double (*u) (double , double);
    double (*g) (double , double);
    double (*phi0) (double , double);
    double (*phi1) (double , double);
    int (*boundary) (double &, double &);
    double U, Disp;

    double voidSphere(int &N);
    double diam(double , double );
    void staticSphere();
    void dinamicSphere();
public :
    POINT_ON_RESHOTKA(int *, char***, double , double );
    ~POINT_ON_RESHOTKA();

    void setU(double (*use) (double , double));
    void setG(double (*use) (double , double));
    void setPhi_0(double (*use) (double , double));
    void setPhi_1(double (*use) (double , double));
    void setBoundary(int (*use) (double &, double &));
    void printDebag();
    void printResult();
    int init(double , double );
    void mainRun();
    void setFlag(int fl){ flag=flag | fl;};};
#endif
```

4.2 Численные результаты

Рассмотрим численные результаты для следующей задачи Дихиле:

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

в единичном квадрате. Решение данной задачи дано в [2].

Таблица 4.1 — Время выполнения и расхождения

| Metot | N | t_{cp} | Δ проходов |
|-------|---------|----------|-------------------|
| Par1 | 100003 | 0.6 sec | +/- 200 |
| Par1 | 1000030 | 6 sec | +/- 250 |
| Par2 | 100003 | 1 sec | +/- 10 |
| Par2 | 1000030 | 12 sec | +/- 10 |
| Pos | 100003 | 2 sec | — |
| Pos | 1000030 | 25 sec | — |

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

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>` - Задаёт количество путей

`-f` - Печать в файл

Пример:

`mpirun -n 100 ./main -n3000 -f`

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформируем основные результаты работы:

- а) Создана статическая библиотека класса с функциями обратного вызова.
- б) .
- в) Создана приложение под конкретные условия.
- г) Оценено оптимизация для двух алгоритмов и двух методов решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. S. Ulam and N. Metropolis. The Monte Carlo method: Journal of American Statistical /Association, 1949. – 335 с.
2. Лукинов В. Л. Скалярные Алгоритмы метода Монте-Карло для решения мета-гармонических уравнений: дисертация кандидата физико-математических наук/ИВМиМГ СО РАН –Новосибирск, 2005. – 82 с.
3. Официальный сайт MPICH. ”Документация MPICH” [Электронный ресурс] Электрон. ст. М. 2013 – URL:<http://www.mpich.org/> (дата обращения: 10.06.2013).

ПРИЛОЖЕНИЕ А Диаграммы программ

А.1 Основной аналог - Biharmon2 измененная

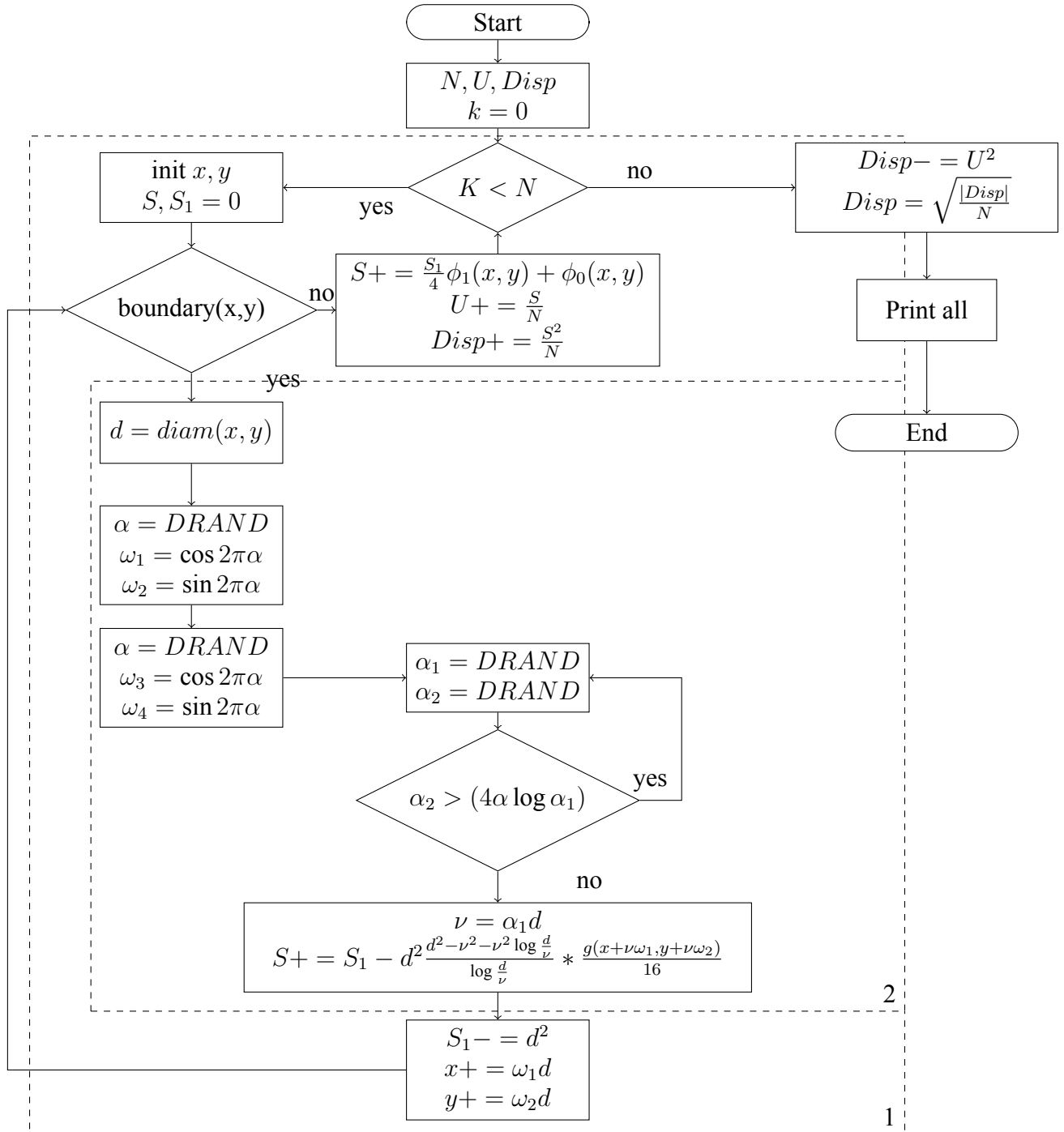


Рисунок А.1 — Принцип действия программы