Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт компьютерных наук и технологий

Кафедра компьютерных систем и программных технологий

Отчет по лабораторной работе

По дисциплине «Параллельные вычисления»

«Разработка программ с использованием pthread и OpenMP в языке С++»

Работу выполнили студенты группы №13541/3 Иванов И.М.\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Работу принял преподаватель Стручков И. В.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Санкт-Петербург

2018

Цель работы

Научиться создавать программы с использованием многопоточных технологий. Познакомиться с работой библиотек pthread и OpenMP для языка C++. Проанализировать прирост производительности при использовании многопоточных библиотек.

Постановка задачи

Задача: Определить вероятность появления 3-грамм в тексте на русском языке.

Решить следующую задачу тремя способами:

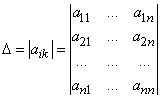
1. Однопоточной программой.
2. Программой с использованием библиотеки pthread.
3. Программой с использованием библиотеки OpenMP.

Обзор задачи

Процессор Intel(R) Core(TM) i5-7200M CPU @ 2.50GHz, 2,71 ГГц, ядер: 2, логических процессоров: 4 (*hyper-threading*)

## ***Определители n-го порядка.***

[Определителем](http://sernam.ru/book_e_math.php?id=96) или детерминантом n-го порядка называется число записываемое в виде

(0)

и вычисляемым по данным числам http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image002.gif (действительным или комплексным) — элементам [определителя](http://sernam.ru/book_e_math.php?id=96) – по следующему  закону: http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image003.gifесть сумма

http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image004.gif, (1)

Для вычисления определителя воспользуемся его свойством:

Вычеркнем из определителя (9) http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image006.gif-го порядка http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image026.gif-ю строку и http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image022.gif-й столбец. Оставшееся выражение порождает [определитель](http://sernam.ru/book_e_math.php?id=96) http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image027.gif-го порядка http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image028.gif, называемый минором элемента http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image002.gif. Величина же

http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image029.gif(2)

называется алгебраическим дополнением или адъюнктом элементаhttp://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image002.gif.

Свойство: Сумма произведений элементов http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image002.gif  некоторой строки (столбца) [определителя](http://sernam.ru/book_e_math.php?id=96) на [алгебраические дополнения](http://stu.sernam.ru/book_algebra.php?id=134) этих элементов равна величине определителя:

http://sernam.ru/htm/lect_math1/math_4.files/image030.gif,(3)

Будем вычислять определитель матрицы 10-ого порядка и за файла data.txt и для каждого алгоритма вычислим время выполнения вычисления такого определителя для дальнейшего сравнения между собой.

Однопоточная задача

Написанная однопоточная программа представлена в листинге 1.

Листинг 1. Однопоточная программа

|  |
| --- |
| #include "stdafx.h"  #include <iostream>  #include <fstream>  #include <locale>  #include <vector>  #include <ctime>  #include <math.h>  #include <stdlib.h>  #include <cstdlib>  #include <iomanip>  #include <windows.h>  using namespace std;  //Возвращает матрицу matrix без row-ой строки и col-того столбца, результат в newMatrix  void getMatrixWithoutRowAndCol(double \*\*matrix, int size, int row, int col, double \*\*newMatrix) {  int offsetRow = 0; //Смещение индекса строки в матрице  int offsetCol = 0; //Смещение индекса столбца в матрице  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  //Пропустить row-ую строку  if (i == row) {  offsetRow = 1; //Как только встретили строку, которую надо пропустить, делаем смещение для исходной матрицы  }  offsetCol = 0; //Обнулить смещение столбца  for (int j = 0; j < size - 1; j++) {  //Пропустить col-ый столбец  if (j == col) {  offsetCol = 1; //Встретили нужный столбец, проускаем его смещением  }  newMatrix[i][j] = matrix[i + offsetRow][j + offsetCol];  }  }  }  //Вычисление определителя матрицы разложение по первой строке  double matrixDet(double \*\*matrix, int size) {  double det = 0;  int degree = 1; // (-1)^(1+j) из формулы определителя  //Условие выхода из рекурсии  if (size == 1) {  return matrix[0][0];  }  //Условие выхода из рекурсии  else if (size == 2) {  return matrix[0][0] \* matrix[1][1] - matrix[0][1] \* matrix[1][0];  }  else {  //Матрица без строки и столбца  double \*\*newMatrix = new double\*[size - 1];  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  newMatrix[i] = new double[size - 1];  }  //Раскладываем по 0-ой строке, цикл бежит по столбцам  for (int j = 0; j < size; j++) {  //Удалить из матрицы i-ю строку и j-ый столбец  //Результат в newMatrix  getMatrixWithoutRowAndCol(matrix, size, 0, j, newMatrix);  //Рекурсивный вызов  //По формуле: сумма по j, (-1)^(1+j) \* matrix[0][j] \* minor\_j (это и есть сумма из формулы)  //где minor\_j - дополнительный минор элемента matrix[0][j]  // (напомню, что минор это определитель матрицы без 0-ой строки и j-го столбца)  det = det + (degree \* matrix[0][j] \* matrixDet(newMatrix, size - 1));  //"Накручиваем" степень множителя  degree = -degree;  }  //Чистим память на каждом шаге рекурсии(важно!)  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  delete[] newMatrix[i];  }  delete[] newMatrix;  }  return det;  }  int \_tmain(int argc, \_TCHAR\* argv[])  {      ifstream in("data.txt");  if (!in.is\_open())  return 1;  //размерность матрицы  int m;  double d;  //вводим n  in >> m;  printf("%d\n", m);  //определяем вектор размером mxm  double \*\*mas;  mas = new double\*[m];  for (int i = 0; i < m; i++) {  mas[i] = new double[m];  for (int j = 0; j < m; j++) {  in >> mas[i][j];//считывание матрицы из файла  //cout << mas[i][j]<<" ";//вывод матрицы в консоль  }  //printf("\n");  }  //printf("\n");  unsigned int timeStart = clock();  d = matrixDet(mas, m);  cout << "Determinant = " << d << "\n";  unsigned int timeEnd = clock();  unsigned int timeRezult = timeEnd - timeStart;  cout << "Time Work Program = " << timeRezult << "\n";  for (int i = 0; i<m; i++) delete[] mas[i];  delete[] mas;  in.close();  system("pause");  return 0;  } |

**Выполнение программы:**

|  |
| --- |
| 10  Determinant = 6  Time Work Program = 5318  Для продолжения нажмите любую клавишу . . . |

Многопоточная программы с использованием библиотеки pthread

POSIX Threads — стандарт POSIX реализации потоков (нитей) выполнения. Стандарт POSIX.lc, Threads extensions (IEEE Std 1003,le-1995) определяет API для управления потоками, их синхронизации и планирования.

Алгоритм распараллеливания реализован следующим образом: каждому потоку на вычисление отдается по возможности равное количество слагаемых (если размерность матрицы делится без остатка на количество потоков, если при делении есть остаток – последнему потоку отдаются остаточные слагаемые) для частичного вычисления детерминанта матрицы (формула 3).

Код многопоточной программы с использованием библиотеки pthread представлен в листинге 2.

Листинг 2. Многопоточная программы с использованием библиотеки pthread.

|  |
| --- |
| #include "stdafx.h"  #include <iostream>  #include <fstream>  #include <locale>  #include <vector>  #include <ctime>  #include <cmath>  #include <thread>  #include <mutex>  #include <math.h>  #include <stdlib.h>  #include <cstdlib>  #include <iomanip>  #include <windows.h>  using namespace std;  std::mutex g\_lock;  //Возвращает матрицу matrix без row-ой строки и col-того столбца, результат в newMatrix  void getMatrixWithoutRowAndCol(double \*\*matrix, int size, int row, int col, double \*\*newMatrix) {  int offsetRow = 0; //Смещение индекса строки в матрице  int offsetCol = 0; //Смещение индекса столбца в матрице  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  //Пропустить row-ую строку  if (i == row) {  offsetRow = 1; //Как только встретили строку, которую надо пропустить, делаем смещение для исходной матрицы  }  offsetCol = 0; //Обнулить смещение столбца  for (int j = 0; j < size - 1; j++) {  //Пропустить col-ый столбец  if (j == col) {  offsetCol = 1; //Встретили нужный столбец, проускаем его смещением  }  newMatrix[i][j] = matrix[i + offsetRow][j + offsetCol];  }  }  }  //Вычисление определителя матрицы разложение по первой строке  double matrixDet(double \*\*matrix, int size) {  double det = 0;  int degree = 1; // (-1)^(1+j) из формулы определителя  //Условие выхода из рекурсии  if (size == 1) {  return matrix[0][0];  }  //Условие выхода из рекурсии  else if (size == 2) {  return matrix[0][0] \* matrix[1][1] - matrix[0][1] \* matrix[1][0];  }  else {  //Матрица без строки и столбца  double \*\*newMatrix = new double\*[size - 1];  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  newMatrix[i] = new double[size - 1];  }  //Раскладываем по 0-ой строке, цикл бежит по столбцам  for (int j = 0; j < size; j++) {  //Удалить из матрицы i-ю строку и j-ый столбец  //Результат в newMatrix  getMatrixWithoutRowAndCol(matrix, size, 0, j, newMatrix);  //Рекурсивный вызов  //По формуле: сумма по j, (-1)^(1+j) \* matrix[0][j] \* minor\_j (это и есть сумма из формулы)  //где minor\_j - дополнительный минор элемента matrix[0][j]  // (напомню, что минор это определитель матрицы без 0-ой строки и j-го столбца)  det = det + (degree \* matrix[0][j] \* matrixDet(newMatrix, size - 1));  //"Накручиваем" степень множителя  degree = -degree;  }  //Чистим память на каждом шаге рекурсии(важно!)  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  delete[] newMatrix[i];  }  delete[] newMatrix;  }  return det;  }  void treadFunc(double \*\*matrix, int size, double &det, int start, int end) {    double detreg;  //int degree = 1; // (-1)^(1+j) из формулы определителя  //Матрица без строки и столбца  double \*\*newMatrix = new double\*[size - 1];  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  newMatrix[i] = new double[size - 1];  }  for (start; start < end; start++) {  getMatrixWithoutRowAndCol(matrix, size, 0, start, newMatrix);  detreg = matrixDet(newMatrix, size - 1);  det = det + pow((-1), start) \* matrix[0][start] \* detreg;  //degree = -degree;  }  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  delete[] newMatrix[i];  }  delete[] newMatrix;  }  int \_tmain(int argc, \_TCHAR\* argv[])  {  ifstream in("data1.txt");  if (!in.is\_open())  return 1;  //размерность матрицы  int m;  int numberOfProcesses = 4;  double \*dett = new double[numberOfProcesses];  double summ = 0;  double det = 0;  double det1 = 0;  double det2 = 0;  double det3 = 0;  double det4 = 0;  int step = 0;  //вводим n  in >> m;  printf("%d\n", m);  //определяем вектор размером mxm  double \*\*mas;  mas = new double\*[m];  for (int i = 0; i < m; i++) {  mas[i] = new double[m];  for (int j = 0; j < m; j++) {  in >> mas[i][j];//считывание матрицы из файла  //cout << mas[i][j]<<" ";//вывод матрицы  }  }  if (numberOfProcesses != 0)  step = m / numberOfProcesses;  //vector<thread\*> vecThreads;  unsigned int timeStart = clock();  if (m >= 3)  {  /\*for (int k = 0; k < numberOfProcesses; k++)  {  if (k == numberOfProcesses - 1)  {  auto th = new std::thread(treadFunc, mas, m, std::ref(dett[k]), step\*k, m);  vecThreads.push\_back(th);  cout << step\*k << " " << m << "\n";  }  else  {  auto th = new std::thread(treadFunc, mas, m, std::ref(dett[k]), step\*k, step\*(k + 1) - 1);  vecThreads.push\_back(th);  cout << step\*k << " " << step\*(k + 1) - 1 << "\n";  }  }  for (auto &th : vecThreads)  {  th->join();  delete th;  }  vecThreads.clear();\*/  //treadFunc(mas, m, det1, 0, 10);  //std::thread t1(treadFunc, mas, m, std::ref(det1), 0, 10);  if (numberOfProcesses == 0)  {  treadFunc(mas, m, det1, 0, m);  }    if (numberOfProcesses == 1)  {  std::thread t1(treadFunc, mas, m, std::ref(det1), 0, m);  t1.join();  }  if (numberOfProcesses == 2)  {  std::thread t1(treadFunc, mas, m, std::ref(det1), step \* 0, step\*(0 + 1) - 1);  std::thread t2(treadFunc, mas, m, std::ref(det2), step \* 1, m);  t1.join();  t2.join();  }  if (numberOfProcesses == 3)  {  std::thread t1(treadFunc, mas, m, std::ref(det1), step \* 0, step\*(0 + 1) - 1);  std::thread t2(treadFunc, mas, m, std::ref(det2), step \* 1, step\*(1 + 1) - 1);  std::thread t3(treadFunc, mas, m, std::ref(det3), step \* 2, m);  t1.join();  t2.join();  t3.join();  }  if (numberOfProcesses == 4)  {  std::thread t1(treadFunc, mas, m, std::ref(det1), step \* 0, step\*(0 + 1) - 1);  std::thread t2(treadFunc, mas, m, std::ref(det2), step \* 1, step\*(1 + 1) - 1);  std::thread t3(treadFunc, mas, m, std::ref(det3), step \* 2, step\*(2 + 1) - 1);  std::thread t4(treadFunc, mas, m, std::ref(det4), step \* 3, m);  t1.join();  t2.join();  t3.join();  t4.join();  }  det = det1 + det2 + det3 + det4;  /\*for (int i = 0; i < numberOfProcesses; i++)  summ = summ + dett[i];\*/  }  else  det = matrixDet(mas, m);    unsigned int timeEnd = clock();  cout << "Determinant = " << det << "\n";  unsigned int timeRezult = timeEnd - timeStart;  cout << "Time Work Program = " << timeRezult << "\n";  for (int i = 0; i<m; i++) delete[] mas[i];  delete[] mas;  delete[] dett;  in.close();  system("pause");  return 0;  } |

**Выполнение программы:**

|  |
| --- |
| 10  Determinant = 6  Time Work Program = 2811  Для продолжения нажмите любую клавишу . . . |

Многопоточная программа с использованием OpenMP

Для того, чтобы разработать параллельную программу, реализующую описанный подход при помощи технологии OpenMP, необходимо внести минимальные изменения в функцию определителя матриц последовательной версии программы. Достаточно добавить одну директиву parallel for для внешнего цикла расчета произведения матрицы и указать количество потоков.

Код многопоточной программы с использованием OpenMP представлен в листинге 3.

Листинг 3. Многопоточная программы с использованием OpenMP.

|  |
| --- |
| #include "stdafx.h"  #include <iostream>  #include <fstream>  #include <locale>  #include <vector>  #include <ctime>  #include <math.h>  #include <stdlib.h>  #include <cstdlib>  #include <iomanip>  #include <windows.h>  using namespace std;  //Возвращает матрицу matrix без row-ой строки и col-того столбца, результат в newMatrix  void getMatrixWithoutRowAndCol(double \*\*matrix, int size, int row, int col, double \*\*newMatrix) {  int offsetRow = 0; //Смещение индекса строки в матрице  int offsetCol = 0; //Смещение индекса столбца в матрице  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  //Пропустить row-ую строку  if (i == row) {  offsetRow = 1; //Как только встретили строку, которую надо пропустить, делаем смещение для исходной матрицы  }  offsetCol = 0; //Обнулить смещение столбца  for (int j = 0; j < size - 1; j++) {  //Пропустить col-ый столбец  if (j == col) {  offsetCol = 1; //Встретили нужный столбец, проускаем его смещением  }  newMatrix[i][j] = matrix[i + offsetRow][j + offsetCol];  }  }  }  //Вычисление определителя матрицы разложение по первой строке  double matrixDet(double \*\*matrix, int size) {  double det = 0;  int degree = 1; // (-1)^(1+j) из формулы определителя  //Условие выхода из рекурсии  if (size == 1) {  return matrix[0][0];  }  //Условие выхода из рекурсии  else if (size == 2) {  return matrix[0][0] \* matrix[1][1] - matrix[0][1] \* matrix[1][0];  }  else {  //Матрица без строки и столбца  double \*\*newMatrix = new double\*[size - 1];  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  newMatrix[i] = new double[size - 1];  }  //Раскладываем по 0-ой строке, цикл бежит по столбцам  #pragma omp parallel for private (j,degree)  for (int j = 0; j < size; j++) {  //Удалить из матрицы i-ю строку и j-ый столбец  //Результат в newMatrix  getMatrixWithoutRowAndCol(matrix, size, 0, j, newMatrix);  //Рекурсивный вызов  //По формуле: сумма по j, (-1)^(1+j) \* matrix[0][j] \* minor\_j (это и есть сумма из формулы)  //где minor\_j - дополнительный минор элемента matrix[0][j]  // (напомню, что минор это определитель матрицы без 0-ой строки и j-го столбца)  det = det + (degree \* matrix[0][j] \* matrixDet(newMatrix, size - 1));  //"Накручиваем" степень множителя  degree = -degree;  }  //Чистим память на каждом шаге рекурсии(важно!)  for (int i = 0; i < size - 1; i++) {  delete[] newMatrix[i];  }  delete[] newMatrix;  }  return det;  }  int \_tmain(int argc, \_TCHAR\* argv[])  {      ifstream in("data.txt");  if (!in.is\_open())  return 1;  //размерность матрицы  int m;  double d;  //вводим n  in >> m;  printf("%d\n", m);  //определяем вектор размером mxm  double \*\*mas;  mas = new double\*[m];  for (int i = 0; i < m; i++) {  mas[i] = new double[m];  for (int j = 0; j < m; j++) {  in >> mas[i][j];//считывание матрицы из файла  //cout << mas[i][j]<<" ";//вывод матрицы в консоль  }  //printf("\n");  }  //printf("\n");  unsigned int timeStart = clock();  d = matrixDet(mas, m);  cout << "Determinant = " << d << "\n";  unsigned int timeEnd = clock();  unsigned int timeRezult = timeEnd - timeStart;  cout << "Time Work Program = " << timeRezult << "\n";  for (int i = 0; i<m; i++) delete[] mas[i];  delete[] mas;  in.close();  system("pause");  return 0;  } |

**Выполнение программы:**

|  |
| --- |
| 10  Determinant = 6  Time Work Program = 520  Для продолжения нажмите любую клавишу . . . |

Результаты вычислительных экспериментов

Сводная таблица результатов для всех программ:

Табл.1. Сводная таблица результатов для 100 запусков каждой программы при размерности матрицы 500х500.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Число потоков | Мат. Ожид. | Дисперсия | Дов. Интер. 0.95% |
| Simple | 1 | 55 | 22.54 | [54.05- 55.94] |
| pThread | 1 | 59 | 12.21 | [58.30- 59.69] |
|  | 2 | 48 | 12.98 | [48.46- 49.93] |
|  | 4 | 44 | 25.20 | [43.43- 45.56] |
|  | 8 | **39** | 18.40 | [38.14 - 39.85] |
| OpenMP | 1 | 55 | 15.81 | [54.21- 55.78] |
|  | 2 | 28 | 12.98 | [27.28 - 28.71] |
|  | 4 | 23 | 62.23 | [21.00 - 24.99] |
|  | 8 | **22** | 95.04 | [19.36- 24.63] |

Из таблицы 1 видно, что многопоточные приложения выигрывают по скорости выполнения у однопоточного. Так же видно, что программа с библиотекой pThread проигрывает у программы с использованием OpenMP. Увеличение числа потоков до 8 не дало значительного прироста, т.к. процессор используемой системы имеет 4 логических потока.

Оптимальное количество потоков для программы с использованием OpenMP оказалось равно 8. Однако для 4-ех потоков и более видно возрастание дисперсии, что говорит о том, что в данной конфигурации приложение срабатывает не всегда одинаково.

Данные результаты так же, зависят от загруженности системы в конкретный момент времени, что может серьезно влиять на скорость выполнения программ.

Вывод

В данной работе были изучены основы создания параллельных приложений на С++. Бы­ли изучены библиотеки Pthread и OpenMP. Созданные программы были протестированы па разных наборах данных и были оценены характеристики времени работы. На основе проведенных экспериментов можно сделать вывод, что наиболее эффектив­ным решением является решение на основе OpenMP.

В общем, можно сказать, что OpenMP гораздо более предпочтителен дня создания многопоточных программ, так как он обладает большим набором удобных функций и возможностей).

Программу удалось реализовать полностью независимой по данным, поэтому в работе не возникло необходимости использования средств синхронизации.