

**ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВЫСШАЯ
ШКОЛА
ЭКОНОМИКИ)
Факультет Компьютерных Наук
Программная Инженерия**

**ОТЧЕТ ПО ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЕ НА ТЕМУ:
РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ
УРАВНЕНИЙ ПО ФОРМУЛАМ КРАМЕРА**

Студент: Джапаров Э. М.
Группа: БПИ197
Вариант: 8
Руководитель: Легалов А.И.

ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ

8. Используя формулы Крамера, найти решение системы линейных уравнений.

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 = b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 = b_3 \\ a_{41}x_1 + a_{42}x_2 + a_{43}x_3 + a_{44}x_4 = b_4 \end{cases}$$

Предусмотреть возможность деления на ноль. Входные данные: коэффициенты системы. Оптимальное количество потоков выбрать самостоятельно.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

Данная программа представляет из себя полностью консольное приложение. Взаимодействие пользователя с программой не выходит за пределы консоли.

Так как программа должна вывести значения решения системы, то было решено воспользоваться итеративным параллелизмом посредством библиотеки openMP. В данной программе создается 4 потока (директива: `#pragma omp parallel num_threads(4)`), каждый из которых ассоциируется с определенной итерацией цикла (директива: `#pragma omp for`).

Пользователю дается решение СЛАУ с 4 уравнениями и 4 неизвестными. Пользователю на начальном этапе нужно ввести определенные значения, чтобы заполнить систему линейных алгебраических уравнений (далее СЛАУ). Перед каждым вводом пользователю выводится подсказка о том, значение какого параметра ему сейчас нужно ввести. По введении всех параметров пользователю выводится наглядно введенная им СЛАУ и выводятся решения данной системы в случае, если она невырожденна. Иначе выводится сообщение о том, что Метод Крамера не действителен для решения данной СЛАУ.

Методы, которые составляют костяк алгоритма по нахождению решения системы, состоят в количестве 3-х функций:

- `MinorOfElem(double matrix[][])` – подсчитывает минор *i*-го элемента первой строки матрицы системы (минор матрицы 3 на 3). Определители всех матриц в задаче считаются путем разложения определителей по первой строке
- `DetOfMainMatrix(double matrix[][])` – считает определитель матрицы 4 на 4 так же путем разложение его по первой сток

Также в программе реализованы два метода, которые отвечают за вывод информации:

- ShowTheSystem(double Matrix[][]) – выводит СЛАУ в консоль с введенными пользователем значениями коэффициентов и свободных членов
- ShowError() – выводит сообщение о том, что при введенных значениях СЛАУ не может решаться по методу Крамера, так как матрица системы вырождена

Также реализована проверка введенных пользователем значений на корректность. В случае некорректно введенного значения программа запрашивает у пользователя повторный ввод значения.

РАБОТА ПРОГРАММЫ НА ПРАКТИКЕ

Пример с абсолютно корректно введенными значениями:

```

[Icon] Консоль отладки Microsoft Visual Studio
Input the coefficient of the system:
C_1_1 := 435
Input the coefficient of the system:
C_1_2 := 435
Input the coefficient of the system:
C_1_3 := 23235
Input the coefficient of the system:
C_1_4 := 325
Input the value of right side's elem of the system:
B_1 := 235
Input the coefficient of the system:
C_2_1 := 647
Input the coefficient of the system:
C_2_2 := 37
Input the coefficient of the system:
C_2_3 := 3567
Input the coefficient of the system:
C_2_4 := 3567
Input the value of right side's elem of the system:
B_2 := 3
Input the coefficient of the system:
C_3_1 := 5546
Input the coefficient of the system:
C_3_2 := 456
Input the coefficient of the system:
C_3_3 := 456
Input the coefficient of the system:
C_3_4 := 43
Input the value of right side's elem of the system:
B_3 := 645
Input the coefficient of the system:
C_4_1 := 6457
Input the coefficient of the system:
C_4_2 := 867
Input the coefficient of the system:
C_4_3 := 4
Input the coefficient of the system:
C_4_4 := 6
Input the value of right side's elem of the system:
B_4 := 5

The System of Linear Equations:
435*X1 + 435*X2 + 23235*X3 + 325*X4 = 235
647*X1 + 37*X2 + 3567*X3 + 3567*X4 = 3
5546*X1 + 456*X2 + 456*X3 + 43*X4 = 645
6457*X1 + 867*X2 + 4*X3 + 6*X4 = 5

The values of X:
-2.15706
-0.075585

0.0461175
0.290451

C:\Users\Администратор\Desktop\HomeTask_3\ConsoleApplication1\Debug\ConsoleApplication2.exe (процесс 11188) завершил работу с кодом 0.
Нажмите любую клавишу, чтобы закрыть это окно...
```

```

C_1_1 := 111
Incorrect argument was inputed!
Input the coefficient of the system:
C_1_1 := 21
Incorrect argument was inputed!
Input the coefficient of the system:
C_1_1 := 21
Input the coefficient of the system:
C_1_2 := 412
Input the coefficient of the system:
C_1_3 := 41
Input the coefficient of the system:
C_1_4 := 2
Input the value of right side's elem of the system:
B_1 := 435
Input the coefficient of the system:
C_2_1 := 354
Input the coefficient of the system:
C_2_2 := 354
Input the coefficient of the system:
C_2_3 := 34
Input the coefficient of the system:
C_2_4 := 5
Input the value of right side's elem of the system:
B_2 := 236547
Input the coefficient of the system:
C_3_1 := 34
Input the coefficient of the system:
C_3_2 := 37
Input the coefficient of the system:
C_3_3 := 34
Input the coefficient of the system:
C_3_4 := 36
Input the value of right side's elem of the system:
B_3 := 35773
Input the coefficient of the system:
C_4_1 := 4
Input the coefficient of the system:
C_4_2 := 5745
Input the coefficient of the system:
C_4_3 := 774
Input the coefficient of the system:
C_4_4 := 74
Input the value of right side's elem of the system:
B_4 := 4

The System of Linear Equations:
21*x1 + 412*x2 + 41*x3 + 2*x4 = 435
3*x1 + 354*x2 + 34*x3 + 5*x4 = 236547
34*x1 + 37*x2 + 34*x3 + 36*x4 = 35773
4*x1 + 5745*x2 + 774*x3 + 74*x4 = 4

The values of X:
2153.71
-8879.03
-18275.324425.9

```

```

C:\_3_4 := 12
input the value of right side's elem of the system:
B_3 := 4
input the coefficient of the system:
C_4_1 := 214
input the coefficient of the system:
C_4_2 := 124
input the coefficient of the system:
C_4_3 := 124
input the coefficient of the system:
C_4_4 := 214
input the value of right side's elem of the system:
B_4 := 12

The System of Linear Equations:
1*X1 + 2*X2 + 3*X3 + 4*X4 = 1
1*X1 + 2*X2 + 3*X3 + 4*X4 = 2
12*X1 + 4214*X2 + 24*X3 + 12*X4 = 4
214*X1 + 124*X2 + 124*X3 + 214*X4 = 12

The value of MainMatrix's determinant equals 0.
The Kramer's Formules are unavailable in this case.
C:\Users\Администратор\Desktop\HomeTask_3\ConsoleApplication1\Debug\ConsoleApplication2.exe (процесс 1400) завершил работу с кодом 0.
Нажмите любую клавишу, чтобы закрыть это окно...

```

Консоль отладки Microsoft Visual Studio

```
Input the coefficient of the system:
C_1_1 := -213.21
Input the coefficient of the system:
C_1_2 := 24.214
Input the coefficient of the system:
C_1_3 := 324.213
Input the coefficient of the system:
C_1_4 := -123
Input the value of right side's elem of the system:
B_1 := 12
Input the coefficient of the system:
C_2_1 := 124.5
Input the coefficient of the system:
C_2_2 := 313
Input the coefficient of the system:
C_2_3 := 134
Input the coefficient of the system:
C_2_4 := 66
Input the value of right side's elem of the system:
B_2 := 4.5464
Input the coefficient of the system:
C_3_1 := -452
Input the coefficient of the system:
C_3_2 := 235
Incorrect argument was inputed!
Input the coefficient of the system:
C_3_2 := -32523
Input the coefficient of the system:
C_3_3 := 0.32532
Input the coefficient of the system:
C_3_4 := 234
Input the value of right side's elem of the system:
B_3 := 23
Input the coefficient of the system:
C_4_1 := 52
Input the coefficient of the system:
C_4_2 := -325
Input the coefficient of the system:
C_4_3 := 3523
Input the coefficient of the system:
C_4_4 := -4
Input the value of right side's elem of the system:
B_4 := 325.5

The System of Linear Equations:
-213.21*X1 + 24.214*X2 + 324.213*X3 + -123*X4 = 12
124.5*X1 + 313*X2 + 134*X3 + 66*X4 = 4.5464
-452*X1 + -32523*X2 + 0.32532*X3 + 234*X4 = 23
52*X1 + -325*X2 + 3523*X3 + -4*X4 = 325.5

The values of X:
3.86476
0.0181495
-6.76925
-0.103123
```

Полученные экспериментальные значения совпадают с истинными в пределах незначительной погрешности.

ИСТОЧНИКИ

1. [softcraft.ru]
2. [<http://www.c-cpp.ru/books/peredacha-massivov-v-funkcii>]
3. [metanit.com]
4. [mathprofi.ru]

ТЕКСТ ПРОГРАММЫ

```
# include <iostream>
# include <iostream>
# include <string>
# include <thread>

using namespace std;

// Количество уравнений СЛАУ. (кол-во строк главной матрицы системы)
const int numOfEquations = 4;

// Количество неизвестных плюс один столбец правых частей системы.
// (кол-во столбцов главной матрицы системы со столбцом правых частей)
const int numOfVariablesWithRightElems = 5;

/// <summary>
/// Подсчет определителя квадратной матрицы 3 x 3 по методу разложения в
строку.
/// </summary>
/// <param name="matrix"> Матрица, определитель которой считается.</param>
/// <returns> Определитель матрицы 2 x 2.</returns>
double MinorOfElem(double matrix[numOfEquations-1][numOfEquations-1])
{
    // Переменная, хранящая значение определителя матрицы 3 x 3.
    double det = 0;

    // В этой переменной будут храниться матрицы миноров 2 x 2 для элементов
первой строки.
    double matrixOfMinor[numOfEquations - 1][numOfEquations - 1];

    // Проход по элементам первой строки.
    for (int i = 0; i < numOfEquations-1; i++)
    {
        // Составление матрицы 2 x 2 минора i-го элемента первой строки.
        for (int j = 0; j < numOfEquations - 2; j++)
        {
            // Заполнение j-ой строки матрицы 2 x 2.
            int k, posOfCol;
            for (k = 0, posOfCol = 0; k < numOfEquations; k++)
            {
                if (k != i)
                {
                    matrixOfMinor[j][posOfCol] = matrix[j + 1][k];
                    posOfCol++;
                }
            }
        }

        // Вычисление определителя матрицы системы по методу разложения по
строке.
        double minorDet = matrixOfMinor[0][0] * matrixOfMinor[1][1] -
matrixOfMinor[1][0] * matrixOfMinor[0][1];

        // Проверка на четность суммы двух обеих позиций элемента, для
которого считается минор.
        if (i % 2 == 0)
            det += matrix[0][i] * minorDet;
        else
            det -= matrix[0][i] * minorDet;
    }
}
```

```

        return det;
    }

    /// <summary>
    /// Подсчет определителя главной матрицы системы по методу разложения по n-ой
    строке.
    /// В данном случае разложение определителя матрицы производится по первой
    строке.</summary>
    /// <param name="mainMatrix"> Главная матрица СЛАУ.</param>
    /// <returns> Определитель матрицы системы.</returns>
    double DetOfMainMatrix(double
mainMatrix[numOfEquations][numOfVariablesWithRightElems])
    {
        // Переменная, хранящаяся значение определителя матрицы 4 x 4.
        double det = 0;

        // В этой переменной будут храниться матрицы миноров 3 x 3 для элементов
        первой строки.
        double matrixOfMinor[numOfEquations-1][numOfEquations-1];

        // Проход по элементам первой строки.
        for (int i = 0; i < numOfEquations; i++)
        {
            // Составление матрицы 3 x 3 минора i-го элемента первой строки.
            for (int j = 0; j < numOfEquations - 1; j++)
            {
                // Заполнение j-ой строки матрицы 3 x 3.
                int k, posOfCol;
                for (k = 0, posOfCol = 0; k < numOfEquations; k++)
                {
                    if (k != i)
                    {
                        matrixOfMinor[j][posOfCol] = mainMatrix[j + 1][k];
                        posOfCol++;
                    }
                }
            }

            // Вычисление определителя матрицы системы по методу разложения по
            строке.
            double minorDet = MinorOfElem(matrixOfMinor);

            // Проверка на четность суммы двух обеих позиций элемента, для
            которого считается минор.
            if (i % 2 == 0)
                det += mainMatrix[0][i] * minorDet;
            else
                det -= mainMatrix[0][i] * minorDet;
        }
        return det;
    }

    /// Сообщение об ошибке в случае вырожденности матрицы системы.
    /// </summary>
    void ShowError()
    {
        cout << "\nThe value of MainMatrix's determinant equals 0.\nThe Kramer's
        formules are unavailable in this case.";
    }

    /// <summary>

```



```

/// Вывод системы уравнений на консоль.
/// </summary>
/// <param name="mainMatrix"> Матрица системы, расширенная, по которой
выводится система уравнений на консоль.</param>
void ShowTheSystem(double
mainMatrix[numOfEquations][numOfVariablesWithRightElems])
{
    cout << "\nThe System of Linear Equations:\n";
    for (int i = 0; i < numOfEquations; i++) {
        for (int j = 0; j < numOfVariablesWithRightElems; j++) {
            if (j != numOfVariablesWithRightElems - 1)
                if (j != numOfVariablesWithRightElems - 2)
                    cout << mainMatrix[i][j] << "*X" << j + 1 << " " <<
"+"<< " ";
                else
                    cout << mainMatrix[i][j] << "*X" << j + 1<<" ";
            else
                cout << "=" << mainMatrix[i][j] << std::endl;
        }
    }
}

```

```

int main()
{
    // Главная матрица система, расширенная столбцом правых частей.
    double mainMatrix[numOfEquations][numOfVariablesWithRightElems];

    // Ввод пользователем значения элементов системы с консоли.
    string inputedValue = "";
    bool corrArg = false;
    for (int i = 0; i < numOfEquations; i++)
    {
        for (int j = 0; j < numOfVariablesWithRightElems; j++)
        {
            while (!corrArg)
            {
                try
                {
                    if (j == numOfVariablesWithRightElems - 1)
                    {
                        cout << "Input the value of right side's elem of
the system:\n" ;

                        cout << "B" << "_" << i + 1 << " := ";
                    }
                    else
                    {
                        cout << "Input the coefficient of the
system:\n";

                        cout << "C" << "_" << i + 1 << "_" << j + 1 <<
" := ";
                    }
                    cin >> inputedValue;
                    mainMatrix[i][j] = stod(inputedValue);
                    corrArg = true;
                }
                catch (invalid_argument)
                {
                    cout << "Incorrect argument was inputed!\n";
                    corrArg = false;;
                }
                catch (out_of_range)
                {
                    cout << "The argument was too big!\n";
                    corrArg = false;
                }
                catch (exception)
                {
                    cout << "Incorrect argument was inputed!\n";
                    corrArg = false;
                }
            }
            corrArg = false;
        }
    }

    // Вычисление определителя матрицы системы.
    double mainDet = DetOfMainMatrix(mainMatrix);

    // Вывод в консоль системы уравнений.

```

```

ShowTheSystem(mainMatrix);

// Проверка на вырожденность матрицы системы.
if (mainDet == 0)
{
    ShowError();
}
else
{
    double values[4];
    cout << "\nThe values of X:\n";
    #pragma omp parallel num_threads(4)
    {
        #pragma omp for
        for(int iterator = 0; iterator < 4; iterator++)
        {
            // Промежуточная матрица для i-го элемента, получающаяся
            // путем замены i-ого столбца на столбец правых частей.
            double
            tempMatrix[numOfEquations][numOfVariablesWithRightElems];
            for (int i = 0; i < numOfEquations; i++)
            {
                for (int j = 0; j < numOfEquations;
j++)
                {
                    if (j != iterator)
                    {
                        tempMatrix[i][j] =
mainMatrix[i][j];
                    }
                    else
                    {
                        tempMatrix[i][j] =
mainMatrix[i][numOfVariablesWithRightElems-1];
                    }
                }
            }
            // Нахождение числителя (определителя
матрицы с заменным с столбцом) для формул Крамера.
            double det =
            DetOfMainMatrix(tempMatrix);
            values[iterator] = det /
            detOfMainMatrix ;
        }
        cout << values[0] << endl;
        cout << values[1] << endl;
        cout << values[2] << endl;
        cout << values[3] << endl;
    }
    return 0;
}

```