Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра інформатики та програмної інженерії

Звіт

Комп‘ютерного практикуму № 2 з дисципліни
«Технології паралельних та розподілених обчислень»

«Розробка паралельних алгоритмів множення матриць та дослідження їх ефективності»

Виконав(ла) *ІП-01 Корнієнко В.С.* _____
(шифр, прізвище, ім'я, по батькові)

Перевірив(ла) *Стеценко І. В.* _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

Київ 2023

Завдання:

1. Реалізуйте стрічковий алгоритм множення матриць. Результат множення записуйте в об’єкт класу Result. **30 балів.**
2. Реалізуйте алгоритм Фокса множення матриць. **30 балів.**
3. Виконайте експерименти, варіюючи розмірність матриць, які перемножуються, для обох алгоритмів, та реєструючи час виконання алгоритму. Порівняйте результати дослідження ефективності обох алгоритмів. **20 балів.**
4. Виконайте експерименти, варіюючи кількість потоків, що використовується для паралельного множення матриць, та реєструючи час виконання. Порівняйте результати дослідження ефективності обох алгоритмів. **20 балів.**

Хід роботи:

Стрічковий алгоритм:

В даній роботі стрічковий алгоритм був реалізований наступним чином:

На початку ми ініціалізуємо клас з параметром кількості потоків, далі ця величина буде використовуватися під час створення ThreadPool-у

```
public StripeAlgorithm(int countThread) {
    this.countThread = countThread;
}
```

Створюємо метод multiply, який і буде множити матриці. В ньому в першу чергу ініціалізуємо результуючу матрицю, створюємо FixedThreadPool та масив Future<Integer>[] для зберігання результатів роботи пулу потоків

```
public Result multiply(Matrix matrixA, Matrix matrixB) {
    long startTime = System.currentTimeMillis();

    Matrix result = new Matrix(matrixA.getRowsCount(), matrixB.getColumnsCount());
    Matrix transposedMatrixB = matrixB.transpose();

    ExecutorService executor = Executors.newFixedThreadPool(countThread);
    Future<Integer>[] futures = new Future[result.getRowsCount() * result.getColumnsCount()];
```

На наступному кроці ми додаємо задачі в пул потоків, а саме кожному потоку даємо 1 рядок з першої матриці та 1 колонку з 2 матриці. Для збільшення швидкодії операції діставання колонки, матриця 2 спочатку була транспонована.

```
for (int i = 0; i < matrixA.getColumnsCount(); i++) {
    for (int j = 0; j < matrixA.getRowsCount(); j++) {
        int rowIndex = j;
        int colIndex = (j + i) % result.getColumnsCount();
        int curIndex = rowIndex * result.getRowsCount() + colIndex;

        futures[curIndex] = executor.submit(new StripeWorker(matrixA.getRow(rowIndex),
                transposedMatrixB.getRow(colIndex)));
    }
}
```

Далі ми завершуємо роботу пулу потоків та дістаємо результати з масиву futures, попередньо дочекавшись виконання потоків завдяки методу get()

```
executor.shutdown();

try {
    for (int i = 0; i < result.getRowsCount(); i++) {
        for (int j = 0; j < result.getColumnsCount(); j++) {
            var future = futures[i * result.getRowsCount() + j].get();
            result.set(i, j, future);
        }
    }
} catch (InterruptedException | ExecutionException e) {
    throw new RuntimeException(e);
}

return new Result(result, totalTime: System.currentTimeMillis() - startTime);
```

Для кожної дії submit ми створюємо новий StripeWorker, клас що безпосередньо перемножує рядок матриці на її стовпчик.

```
class StripeWorker implements Callable<Integer> {
    3 usages
    private final int[] row;
    2 usages
    private final int[] column;

    1 usage  valerii.korniienko
    public StripeWorker(int[] row, int[] column) {
        this.row = row;
        this.column = column;
    }

    valerii.korniienko
    @Override
    public Integer call() {
        int result = 0;
        for (int i = 0; i < row.length; i++) {
            result += row[i] * column[i];
        }
        return result;
    }
}
```

Можемо також побачити, що StripeWorker implements Callable<Integer>, це і дає можливість додавати результати в масив типу Future<Integer>[]

Алгоритм Фокса

Тепер переглянемо принцип роботи та реалізації алгоритму Фокса.

На початку ми ініціалізуємо клас з використанням числа кількості потоків аналогічно стрічковому алгоритму.

```
final int countThread;

2 usages  valerii.korniienko *
public FoxAlgorithm(int countThread) {
    this.countThread = countThread;
}
```

Створюємо метод multiply, який і буде множити матриці. В ньому в першу чергу ділимо початкові матриці на менші матриці (двовимірний масив матриць), при чому кількість частин на які ділиться матриця визначається змінною splitFactor

```
public Result multiply(Matrix matrixA, Matrix matrixB) {
    long startTime = System.currentTimeMillis();

    int splitFactor = (int) Math.sqrt(countThread - 1) + 1;
    Matrix[][] matrixM1 = splitMatrixIntoSmallerMatrices(matrixA, splitFactor);
    Matrix[][] matrixM2 = splitMatrixIntoSmallerMatrices(matrixB, splitFactor);
```

Далі ми ініціалізуємо результуючі матриці та створюємо пул потоків з заданою кількістю потоків

```
int internalMatrixSize = matrixM1[0][0].getColumnsCount();
Matrix[][] resultMatrixM = new Matrix[splitFactor][splitFactor];
for (int i = 0; i < splitFactor; i++) {
    for (int j = 0; j < splitFactor; j++) {
        resultMatrixM[i][j] = new Matrix(internalMatrixSize, internalMatrixSize);
    }
}
```

```
ExecutorService executor = Executors.newFixedThreadPool(countThread);
```

На наступному кроці ми в циклі, спочатку додаємо в пул потоків задачі множення менших матриць, а потім дістаємо результати роботи потоків, оновлюємо значення в матриці resultMatrixM

```
ArrayList<Future<Matrix>> futures = new ArrayList<>();
for (int i = 0; i < splitFactor; i++) {
    for (int j = 0; j < splitFactor; j++) {
        FoxAlgorithmWorker task = new FoxAlgorithmWorker(
                matrixM1[i][(i + k) % splitFactor],
                matrixM2[(i + k) % splitFactor][j],
                resultMatrixM[i][j],
                algorithmForSmallMatrices);

        futures.add(executor.submit(task));
    }
}
```

```
for (int i = 0; i < splitFactor; i++) {
    for (int j = 0; j < splitFactor; j++) {
        try {
            resultMatrixM[i][j] = futures.get(i * splitFactor + j).get();
        } catch (Exception ignored) {
        }
    }
}
```

В кінці роботи програми ми завершуємо роботу пулу потоків та повертаємо результуючу матрицю. Остання фактично є матрицею, скомбінованою з менших частин, які ми рахували в ході роботи програми.

```
executor.shutdown();
Matrix resultMatrix = combineMatrixMatricesToMatrix(resultMatrixM, matrixA.getRowsCount(),
        matrixB.getColumnsCount());
return new Result(resultMatrix, totalTime: System.currentTimeMillis() - startTime);
```

Клас FoxAlgorithmWorker виглядає наступним чином:

```
class FoxAlgorithmWorker implements Callable<Matrix> {
    2 usages
    private Matrix matrix1;
    2 usages
    private Matrix matrix2;
    3 usages
    private Matrix resMatrix;

    1 usage  valerii.korniienko *
    public FoxAlgorithmWorker(Matrix matrix1, Matrix matrix2, Matrix resMatrix) {...}
    valerii.korniienko *
    @Override
    public Matrix call() {
        resMatrix.add(matrix1.multiply(matrix2));
        return resMatrix;
    }
}
```

Тестування алгоритмів

Перевірка правильності роботи алгоритмів:

Для перевірки правильності роботи алгоритмів запустимо на виконання стрічковий, послідовний алгоритми та алгоритм Фокса та порівняємо результати їх роботи

```
Matrix A:
99 50 70 10
12 34 76 38
85 57 3 1
2 66 7 65

Matrix B:
62 81 16 34
21 81 51 1
59 45 32 26
1 57 45 17

Sequential result:
11328 15789 6824 5406
5980 9312 6068 3064
6645 11694 4408 3042
1988 9528 6547 1421

Stripe result:
11328 15789 6824 5406
5980 9312 6068 3064
6645 11694 4408 3042
1988 9528 6547 1421

Fox result:
11328 15789 6824 5406
5980 9312 6068 3064
6645 11694 4408 3042
1988 9528 6547 1421
```

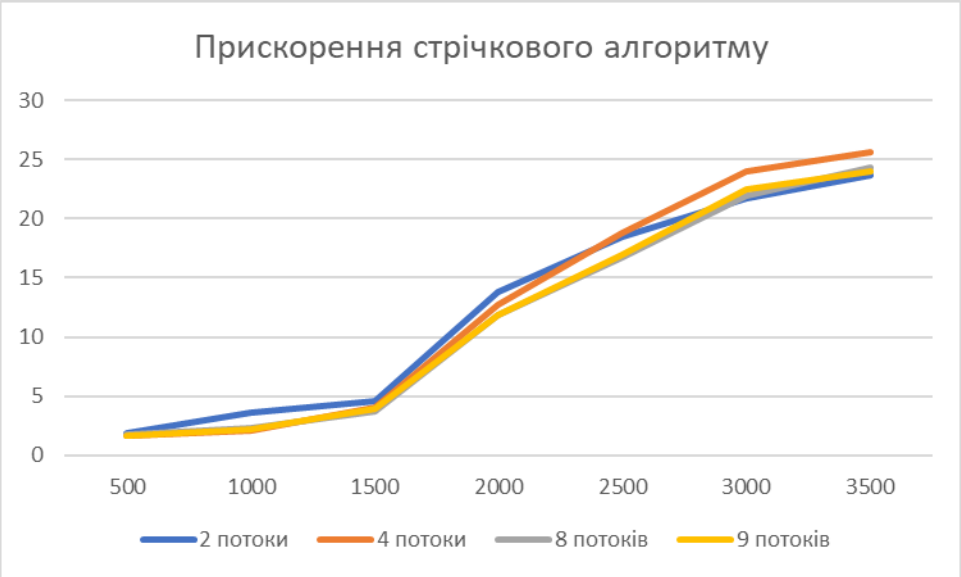
Можемо побачити, що всі 3 алгоритми повернули правильний результат множення матриці «A» на матрицю «B»

Дослідження ефективності алгоритмів

Для дослідження ефективності алгоритмів було проведено ряд тестів з різними розмірностями матриці та різною кількістю потоків. В результаті було отримано наступні результати:

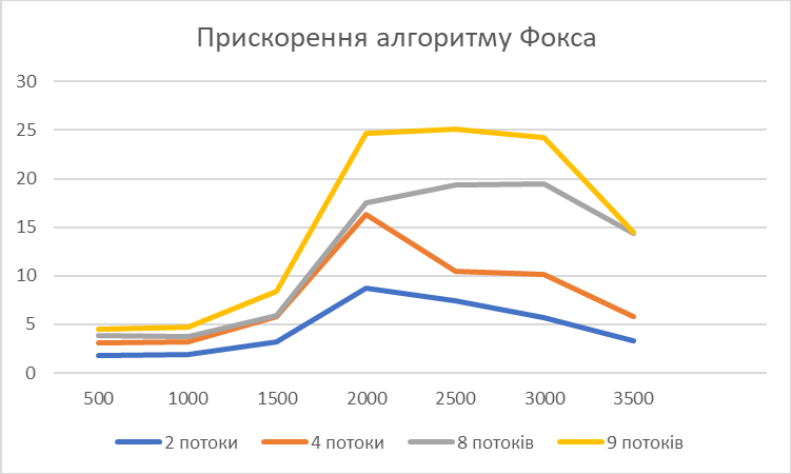
Для стрічкового алгоритму:

Розмір матриці	Послідовний алгоритм	Стрічковий алгоритм							
		2 потоки		4 потоки		8 потоків		9 потоків	
		Час, мс	Прискорення	Час, мс	Прискорення	Час, мс	Прискорення	Час, мс	Прискорення
500	141	73	1,932	84	1,679	78	1,807692308	83	1,698795181
1000	1072	293	3,659	506	2,119	464	2,310344828	488	2,196721311
1500	5962	1312	4,544	1486	4,012	1578	3,778200253	1525	3,909508197
2000	41573	3006	13,830	3276	12,690	3505	11,86105563	3493	11,90180361
2500	104459	5660	18,456	5561	18,784	6246	16,72414345	6145	16,9990236
3000	207429	9563	21,691	8658	23,958	9451	21,94783621	9247	22,43203201
3500	335823	14201	23,648	13119	25,598	13782	24,36678276	14002	23,98393087



Бачимо що прискорення стрічкового алгоритму збільшується з розмірністю матриці, проте кількість потоків фактично не впливає на результат. Єдиною умовою є кількість потоків > 2

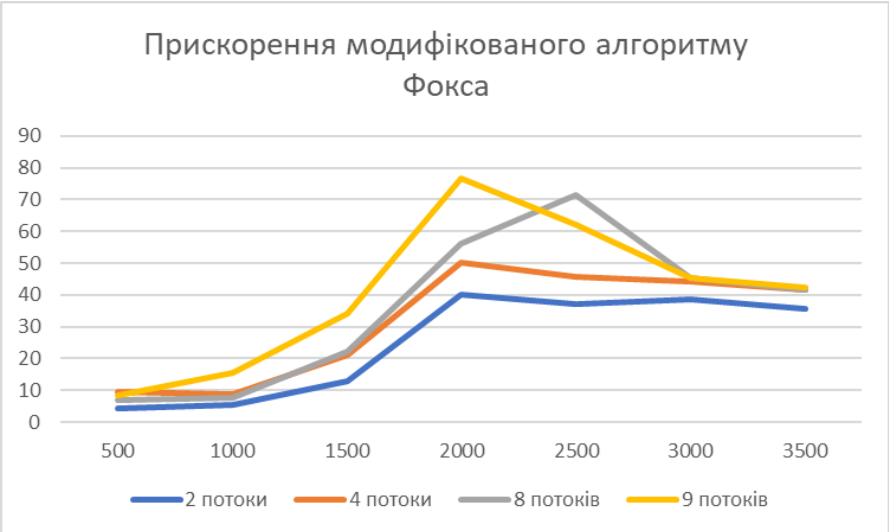
Розмір матриці	Послідовний алгоритм	Алгоритм Фокса							
		2 потоки		4 потоки		8 потоків		9 потоків	
		Час, мс	Прискорення	Час, мс	Прискорення	Час, мс	Прискорення	Час, мс	Прискорення
500	141	78	1,807692308	45	3,133333333	37	3,810810811	31	4,548387097
1000	1072	557	1,92459605	340	3,152941176	288	3,722222222	225	4,764444444
1500	5962	1889	3,156167284	1035	5,760386473	1003	5,944167498	713	8,361851332
2000	41573	4767	8,720998532	2549	16,30953315	2369	17,54875475	1689	24,61397276
2500	104459	14071	7,423708336	9950	10,49839196	5400	19,34425926	4160	25,11033654
3000	207429	36526	5,678941028	20528	10,10468628	10667	19,44586107	8569	24,20690862
3500	335823	99850	3,363274912	58243	5,765894614	23437	14,32875368	23229	14,45705799



З графіку алгоритму Фокса бачимо, що він має суттєву перевагу при розмірності матриці 1500-3000 над стрічковим алгоритмом. Також можемо побачити, що прискорення алгоритму Фокса залежить від кількості потоків.

В ході виконання лабораторної роботи також була досліджена можливість модифікацій алгоритму Фокса. Для цього можна замінити стандартний послідовний алгоритм на більш швидкий послідовний. В процесі тестування було виявлено наступні результати:

Розмір матриці	Послідовний алгоритм	Алгоритм Фокса(Модифікований)							
		2 потоки		4 потоки		8 потоків		9 потоків	
		Час, мс	Прискорення	Час, мс	Прискорення	Час, мс	Прискорення	Час, мс	Прискорення
500	141	34	4,147058824	15	9,4	21	6,714285714	17	8,294117647
1000	1072	195	5,497435897	122	8,786885246	140	7,657142857	69	15,53623188
1500	5962	468	12,73931624	283	21,06713781	270	22,08148148	175	34,06857143
2000	41573	1041	39,93563881	827	50,26964933	740	56,17972973	542	76,70295203
2500	104459	2814	37,12117982	2276	45,89586995	1460	71,54726027	1685	61,99347181
3000	207429	5390	38,48404453	4687	44,25624067	4566	45,42904074	4585	45,24078517
3500	335823	9469	35,46551906	8042	41,75864213	8077	41,57768974	7903	42,49310388



Бачимо прискорення алгоритму в 80 раз при розмірності матриць 2000 та спад при 3000, аналогічний стандартному алгоритму Фокса

Висновок

Загальний висновок з проведеного дослідження ефективності алгоритмів для розпаралелювання операції множення матриць полягає в наступному:

Перш за все, результати показують, що стрічковий алгоритм демонструє збільшення прискорення з ростом розмірності матриці, але кількість потоків майже не впливає на його ефективність.

З іншого боку, алгоритм Фокса показує помітну перевагу над стрічковим алгоритмом при розмірності матриці в діапазоні 1500-3000. Крім того, прискорення алгоритму Фокса залежить від кількості потоків, що використовуються.

Дослідження також включало модифікацію алгоритму Фокса, яка полягала у заміні стандартного послідовного алгоритму на більш швидкий послідовний. Результати показали значне прискорення алгоритму на 80 разів для матриць розмірністю 2000, але згасання цього прискорення при розмірності 3000, подібне до стандартного алгоритму Фокса.

Крім того, виявлено, що зміна кількості процесів має незначний вплив на ефективність стрічкового алгоритму через велику кількість задач з обмеженим обчислювальним завданням. З іншого боку, алгоритм Фокса має меншу кількість задач, але вони вимагають більшого обчислювального ресурсу.

Отже, в результаті дослідження було показано, що ефективність різних алгоритмів розпаралелювання матричних операцій залежить від розмірності матриці та кількості потоків. Вибір оптимального алгоритму залежить від конкретних умов та вимог задачі. Наприклад, для великих матриць або при невеликій кількості доступних потоків стрічковий алгоритм може бути ефективнішим, при розмірності матриць 1500-3000 алгоритм Фокса буде кращим варіантом. Також, при розмірностях до 1500, алгоритм Фокса показує себе краще ніж стрічковий.

Лістинг коду програми:

Main.java

```
public class Main {
    public static void main(String[] args) {
//        testAlgorithmsAccuracy();

        int[] matrixSizes = {500, 1000, 1500, 2000, 2500,
3000, 3500};
        int[] threadsCounts = {2, 4, 8, 9};

        testAlgorithmsSpeed(matrixSizes, threadsCounts);
    }

    private static void testAlgorithmsSpeed(int[] matrixSizes,
int[] threadsCounts) {
        for (int matrixSize : matrixSizes) {
            Matrix matrixA =
MatrixHelper.generateRandomMatrix(matrixSize);
            Matrix matrixB =
MatrixHelper.generateRandomMatrix(matrixSize);
            System.out.println("-------------------------");
            System.out.println("Matrix size: " + matrixSize);

            long sequentialTime = checkAlgorithmSpeed(matrixA,
matrixB, new SequentialAlgorithm(), 5);
            System.out.println("\nSequential algorithm: " +
sequentialTime + " ms");

            for (int threads : threadsCounts) {
                System.out.println("\nThreads count: " +
threads);
                long stripeTime = checkAlgorithmSpeed(matrixA,
matrixB, new StripeAlgorithm(threads), 5);
                long foxTime = checkAlgorithmSpeed(matrixA,
matrixB, new FoxAlgorithm(threads), 5);

                System.out.println("\tStripe algorithm with "
+ threads + " threads: " + stripeTime + " ms");
                System.out.println("\tFox algorithm with " +
threads + " threads: " + foxTime + " ms");
            }
        }
    }

    static void testAlgorithmsAccuracy() {
        Matrix matrixA = MatrixHelper.generateRandomMatrix(4);
        Matrix matrixB = MatrixHelper.generateRandomMatrix(4);
```

```
        Matrix resultSequential = new
SequentialAlgorithm().multiply(matrixA,
matrixB).getResultMatrix();
        Matrix resultStripe = new
StripeAlgorithm(2).multiply(matrixA,
matrixB).getResultMatrix();
        Matrix resultFox = new
FoxAlgorithm(2).multiply(matrixA, matrixB).getResultMatrix();

        System.out.println("Matrix A:");
        matrixA.print();

        System.out.println("\nMatrix B:");
        matrixB.print();

        System.out.println("\nSequential result:");
        resultSequential.print();

        System.out.println("\nStripe result:");
        resultStripe.print();

        System.out.println("\nFox result:");
        resultFox.print();
    }

    static long checkAlgorithmSpeed(Matrix matrixA, Matrix
matrixB, IMatrixMultiplicationAlgorithm
multiplicationAlgorithm, int iterations) {
        long sum = 0;
        for (int i = 0; i < iterations; i++) {
            sum += multiplicationAlgorithm.multiply(matrixA,
matrixB).getTotalTime();
        }
        return sum / iterations;
    }

}
```

Result.java

```
public class Result {
    private final long totalTime;
    private final Matrix resultMatrix;

    public Result(Matrix resultMatrix, long totalTime) {
        this.totalTime = totalTime;
        this.resultMatrix = resultMatrix;
    }

    public long getTotalTime() {
        return totalTime;
```

```
    }

    public Matrix getResultMatrix() {
        return resultMatrix;
    }
}
```

SequentialAlgorithm.java

```
public class SequentialAlgorithm implements
IMatrixMultiplicationAlgorithm {
    @Override
    public Result multiply(Matrix matrixA, Matrix matrixB) {
        long startTime = System.currentTimeMillis();

        int[][] result = new
int[matrixA.getRowsCount()][matrixB.getColumnsCount()];
        for (int i = 0; i < matrixA.getRowsCount(); i++) {
            for (int j = 0; j < matrixB.getColumnsCount();
j++) {
                int value = 0;
                for (int k = 0; k < matrixA.getColumnsCount();
k++) {
                    value += matrixA.get(i,k) *
matrixB.get(k,j);
                }
                result[i][j] = value;
            }
        }

        long duration = System.currentTimeMillis() -
startTime;
        return new Result(new Matrix(result), duration);
    }
}
```

StripeAlgorithm.java

```
import java.util.concurrent.*;

public class StripeAlgorithm implements
IMatrixMultiplicationAlgorithm {
    private final int countThread;

    public StripeAlgorithm(int countThread) {
        this.countThread = countThread;
    }

    public Result multiply(Matrix matrixA, Matrix matrixB) {
        long startTime = System.currentTimeMillis();

        Matrix result = new Matrix(matrixA.getRowsCount(),
matrixB.getColumnsCount());
```

```
        Matrix transposedMatrixB = matrixB.transpose();

        ExecutorService executor =
Executors.newFixedThreadPool(countThread);
        Future<Integer>[] futures = new
Future[result.getRowsCount() * result.getColumnsCount()];

        for (int i = 0; i < matrixA.getColumnsCount(); i++) {
            for (int j = 0; j < matrixA.getRowsCount(); j++) {
                int rowIndex = j;
                int colIndex = (j + i) %
result.getColumnsCount();
                int curIndex = rowIndex *
result.getRowsCount() + colIndex;

                futures[curIndex] = executor.submit(new
StripeWorker(matrixA.getRow(rowIndex),
                        transposedMatrixB.getRow(colIndex)));
            }
        }

        executor.shutdown();

        try {
            for (int i = 0; i < result.getRowsCount(); i++) {
                for (int j = 0; j < result.getColumnsCount();
j++) {
                    var future = futures[i *
result.getRowsCount() + j].get();
                    result.set(i, j, future);
                }
            }
        } catch (InterruptedException | ExecutionException e)
{
            throw new RuntimeException(e);
        }

        return new Result(result, System.currentTimeMillis() -
startTime);
    }
}

class StripeWorker implements Callable<Integer> {
    private final int[] row;
    private final int[] column;

    public StripeWorker(int[] row, int[] column) {
        this.row = row;
        this.column = column;
    }
```

```
    @Override
    public Integer call() {
        int result = 0;
        for (int i = 0; i < row.length; i++) {
            result += row[i] * column[i];
        }
        return result;
    }
}
```

FoxAlgorithm.java

```
import java.util.ArrayList;
import java.util.concurrent.Callable;
import java.util.concurrent.ExecutorService;
import java.util.concurrent.Executors;
import java.util.concurrent.Future;

public class FoxAlgorithm implements
IMatrixMultiplicationAlgorithm {
    final int countThread;

    public FoxAlgorithm(int countThread) {
        this.countThread = countThread;
    }

    public Result multiply(Matrix matrixA, Matrix matrixB) {
        long startTime = System.currentTimeMillis();

        int splitFactor = (int) Math.sqrt(countThread - 1) +
1;
        Matrix[][] matrixM1 =
splitMatrixIntoSmallerMatrices(matrixA, splitFactor);
        Matrix[][] matrixM2 =
splitMatrixIntoSmallerMatrices(matrixB, splitFactor);

        int internalMatrixSize =
matrixM1[0][0].getColumnsCount();
        Matrix[][] resultMatrixM = new
Matrix[splitFactor][splitFactor];
        for (int i = 0; i < splitFactor; i++) {
            for (int j = 0; j < splitFactor; j++) {
                resultMatrixM[i][j] = new
Matrix(internalMatrixSize, internalMatrixSize);
            }
        }

        ExecutorService executor =
Executors.newFixedThreadPool(countThread);
        for (int k = 0; k < splitFactor; k++) {
            ArrayList<Future<Matrix>> futures = new
```

```
ArrayList<>();
            for (int i = 0; i < splitFactor; i++) {
                for (int j = 0; j < splitFactor; j++) {
                    FoxAlgorithmWorker task = new
FoxAlgorithmWorker(
                            matrixM1[i][(i + k) %
splitFactor],
                            matrixM2[(i + k) %
splitFactor][j],
                            resultMatrixM[i][j]);

                    futures.add(executor.submit(task));
                }
            }

            for (int i = 0; i < splitFactor; i++) {
                for (int j = 0; j < splitFactor; j++) {
                    try {
                        resultMatrixM[i][j] = futures.get(i *
splitFactor + j).get();
                    } catch (Exception ignored) {
                    }
                }
            }
        }
        executor.shutdown();
        Matrix resultMatrix =
combineMatrixMatricesToMatrix(resultMatrixM,
matrixA.getRowsCount(),
                matrixB.getColumnsCount());
        return new Result(resultMatrix,
System.currentTimeMillis() - startTime);
    }

    public static Matrix[][]
splitMatrixIntoSmallerMatrices(Matrix matrix, int splitFactor)
{
        Matrix[][] matrixMatrices = new
Matrix[splitFactor][splitFactor];
        int sizeInternal = (int) ((matrix.getColumnsCount() -
1) / splitFactor) + 1;

        for (int i = 0; i < splitFactor; i++) {
            for (int j = 0; j < splitFactor; j++) {
                matrixMatrices[i][j] = new
Matrix(sizeInternal, sizeInternal);

                for (int k = 0; k < sizeInternal; k++) {
                    for (int l = 0; l < sizeInternal; l++) {
                        if (i * sizeInternal + k >=
matrix.getRowsCount()
```

```
                                || j * sizeInternal + l >=
matrix.getColumnsCount()) {
                                    matrixMatrices[i][j].set(k, l, 0);
                                } else {
                                    int element = matrix.get(i *
sizeInternal + k, j * sizeInternal + l);
                                    matrixMatrices[i][j].set(k, l,
element);
                                }
                            }
                        }
                    }
                }
                return matrixMatrices;
            }

            public static Matrix
combineMatrixMatricesToMatrix(Matrix[][] matrixM, int
rowsCount, int columnsCount) {
                Matrix resultMatrix = new Matrix(rowsCount,
columnsCount);

                for (int i = 0; i < matrixM.length; i++) {
                    for (int j = 0; j < matrixM[i].length; j++) {

                        for (int k = 0; k <
matrixM[i][j].getRowsCount(); k++) {
                            for (int l = 0; l <
matrixM[i][j].getColumnsCount(); l++) {

                                if (i * matrixM[i][j].getRowsCount() +
k < rowsCount && j * matrixM[i][j].getColumnsCount() + l <
columnsCount) {

                                    resultMatrix.set(i *
matrixM[i][j].getRowsCount() + k, j *
matrixM[i][j].getColumnsCount() + l,
                                            matrixM[i][j].get(k, l));

                                }
                            }
                        }
                    }
                }

                return resultMatrix;
            }
        }

        class FoxAlgorithmWorker implements Callable<Matrix> {
            private Matrix matrix1;
```

```
    private Matrix matrix2;
    private Matrix resMatrix;

    public FoxAlgorithmWorker(Matrix matrix1, Matrix matrix2,
Matrix resMatrix) {
        this.matrix1 = matrix1;
        this.matrix2 = matrix2;
        this.resMatrix = resMatrix;
    }
    @Override
    public Matrix call() {
        resMatrix.add(matrix1.multiply(matrix2));
        return resMatrix;
    }
}
```

Matrix.java

```
import java.nio.ByteBuffer;
import java.nio.ByteOrder;

public class Matrix {
    private int[][] matrixData;
    public static final int INT32_BYTE_SIZE = 4;

    public Matrix(int[][] matrix) {
        this.matrixData = matrix;
    }

    public Matrix(int height, int width){
        this.matrixData = new int[height][width];
    }
    public int[] getRow(int rowIndex){
        return matrixData[rowIndex];
    }
    public int[][] getMatrix() {
        return matrixData;
    }

    public int getRowsCount() {
        return matrixData.length;
    }

    public int getColumnsCount() {
        return matrixData[0].length;
    }

    public int get(int row, int column) {
        return matrixData[row][column];
    }
```

```
    public void set(int row, int column, int value) {
        matrixData[row][column] = value;
    }

    public void add(Matrix matrixB) {
        for (int i = 0; i < matrixB.getRowsCount(); i++) {
            for (int j = 0; j < matrixB.getColumnsCount();
j++) {
                matrixData[i][j] += matrixB.get(i, j);
            }
        }
    }

    public boolean equals(Matrix matrix1){
        if (matrixData.length != matrix1.getRowsCount() ||
matrixData[0].length != matrix1.getColumnsCount()) {
            return false;
        }
        for (int i = 0; i < matrixData.length; i++) {
            for (int j = 0; j < matrix1.getColumnsCount();
j++) {
                if (matrixData[i][j] != matrix1.get(i, j)) {
                    return false;
                }
            }
        }
        return true;
    }

    public Matrix sliceMatrix(int startRowIndex, int
endRowIndex, int columnsCount)
    {
        Matrix subMatrix = new Matrix(endRowIndex -
startRowIndex + 1, columnsCount);
        for (int i = startRowIndex; i <= endRowIndex; i++) {
            for (int j = 0; j < columnsCount; j++) {
                subMatrix.set(i - startRowIndex, j,
matrixData[i][j]);
            }
        }
        return subMatrix;
    }

    public void updateMatrixSlice(Matrix matrix, int
indexStartRow, int indexEndRow, int countColumns)
    {
        for (int i = indexStartRow; i <= indexEndRow; i++) {
            for (int j = 0; j < countColumns; j++) {
                matrixData[i][j] = matrix.get(i -
indexStartRow, j);
            }
```

```
        }
    }

    public int[] toIntBuffer()
    {
        int [] array = new int[getRowsCount() *
getColumnsCount()];
        int index = 0;
        for (int i = 0; i < getRowsCount(); i++) {
            for (int j = 0; j < getColumnsCount(); j++) {
                array[index] = matrixData[i][j];
                index++;
            }
        }
        return array;
    }

    public byte[] toByteBuffer() {
        var buffer = ByteBuffer.allocate(getRowsCount() *
getColumnsCount() * INT32_BYTE_SIZE);
        buffer.order(ByteOrder.nativeOrder());
        var intBuffer = buffer.asIntBuffer();
        for (var ints : matrixData) {
            intBuffer.put(ints);
        }

        return buffer.array();
    }

    public Matrix transpose() {
        int[][] result = new
int[matrixData[0].length][matrixData.length];
        for (int i = 0; i < matrixData.length; i++) {
            for (int j = 0; j < matrixData[0].length; j++) {
                result[j][i] = matrixData[i][j];
            }
        }
        return new Matrix(result);
    }

    public Matrix clone() {
        int[][] result = new
int[matrixData.length][matrixData[0].length];
        for (int i = 0; i < matrixData.length; i++) {
            System.arraycopy(matrixData[i], 0, result[i], 0,
matrixData[0].length);
        }
        return new Matrix(result);
    }

    public void print() {
```

```
        for (int i = 0; i < matrixData.length; i++) {
            for (int j = 0; j < matrixData[0].length; j++) {
                System.out.print(matrixData[i][j] + " ");
            }
            System.out.println();
        }
    }

    public Matrix multiply(Matrix matrix2) {
        int[][] result = new
int[matrixData.length][matrix2.getColumnsCount()];
        for (int i = 0; i < matrixData.length; i++) {
            for (int j = 0; j < matrix2.getColumnsCount();
j++) {
                for (int k = 0; k < matrixData[0].length; k++)
{
                    result[i][j] += matrixData[i][k] *
matrix2.get(k, j);
                }
            }
        }
        return new Matrix(result);
    }
}
```

MatrixHelper.java

```
import java.nio.ByteBuffer;
import java.nio.ByteOrder;

public class MatrixHelper {
    public static Matrix generateRandomMatrix(int width, int
height, int minValue, int maxValue) {
        int[][] result = new int[height][width];
        for (int i = 0; i < height; i++) {
            for (int j = 0; j < width; j++) {
                result[i][j] = (int) (Math.random() *
(maxValue - minValue)) + minValue;
            }
        }
        return new Matrix(result);
    }

    public static Matrix generateRandomMatrix(int size) {
        return generateRandomMatrix(size, size, 0, 100);
    }

    public static Matrix createMatrixFromBuffer(int[] array,
int rowsCount, int columnsCount) {
        int[][] matrixData = new int[rowsCount][columnsCount];
```

```
        int arrayIndex = 0;
        for (int i = 0; i < rowsCount; i++) {
            for (int j = 0; j < columnsCount; j++) {
                matrixData[i][j] = array[arrayIndex];
                arrayIndex++;
            }
        }
        return new Matrix(matrixData);
    }

    public static Matrix createMatrixFromBuffer(byte[] bytes,
int rows, int cols) {
        var buffer = ByteBuffer.wrap(bytes);
        buffer.order(ByteOrder.nativeOrder());
        var array = new int[rows][cols];
        for (var i = 0; i < rows; i++) {
            for (var j = 0; j < cols; j++) {
                array[i][j] = buffer.getInt();
            }
        }
        return new Matrix(array);
    }
}
```

P.S. Класи Matrix, MatrixHelper мають додаткові(на даний момент зайві) методи, необхідні для виконання 6, 7 лабораторних робіт