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

Лабораторна робота №2
Технології паралельних обчислень

Виконав студент групи ІТ-03: Чабан А.Є.		Перевірив: Дифучина О.Ю
		Дата:
		Оцінка:

Київ 2023

Завдання:

5.2 Завдання до комп'ютерного практикуму 2 «Розробка паралельних алгоритмів множення матриць та дослідження їх ефективності»

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 виконання:

Посилання на GitHub репозиторій

Завдання №1:

Для роботи з матрицями та зберігання результату множення матриць створимо клас MatrixEntity, за допомогою якого будемо працювати з матрицями, використовуючи створені методи:

```
package lab2.Tools;

import java.util.Arrays;

/**
 * Клас MatrixEntity використовується для роботи та зберігання матриць
 */
public class MatrixEntity {
    private final int[][] matrix;

    /**
     * Конструктор класу MatrixEntity, до конструктора передається матриця, яку необхідно зберегти
     *
     * @param matrix матриця у вигляді двомірного масиву, яку необхідно зберегти
     */
    public MatrixEntity(int[][] matrix) {
        this.matrix = matrix;
    }


    /**
     * Конструктор класу MatrixEntity, до конструктора передаються розміри матриці, яку необхідно зберегти
     *
```

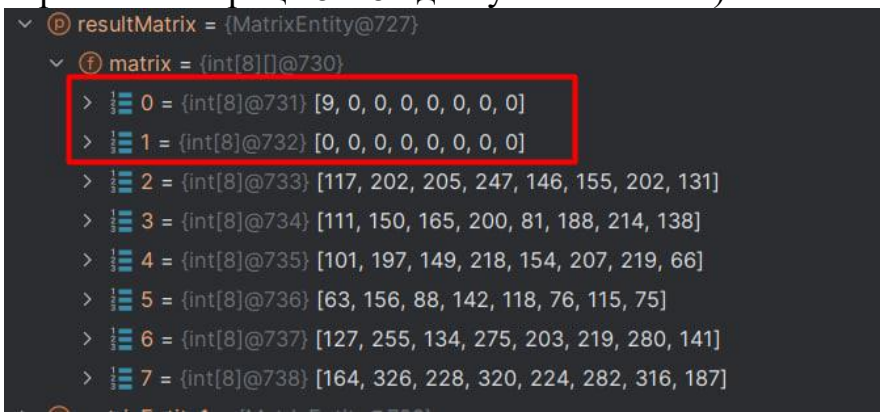
```
     * @param rowsSize    кількість рядків матриці
     * @param columnsSize кількість стовпців матриці
     */
    public MatrixEntity(int rowsSize, int columnsSize) {
        matrix = new int[rowsSize][columnsSize];
    }

    public int[][] getMatrix() {
        return matrix;
    }

    public int getRowsSize() {
        return matrix.length;
    }

    public int getColumnsSize() {
        return matrix[0].length;
    }

    /**
     * Метод, який повертає значення елемента матриці за індексами
     *
     * @param i індекс рядка
     * @param j індекс стовпця
     * @return значення елемента матриці за індексами
     */
    public int get(int i, int j) {
        return matrix[i][j];
    }

    /**
     * Метод, який задає значення елемента матриці за індексами
     *
     * @param i     індекс рядка
     * @param j     індекс стовпця
     * @param value значення елемента матриці за індексами
     */
    public void set(int i, int j, int value) {
        matrix[i][j] = value;
    }


    /**
     * Метод, який виводить матрицю в консоль
     */
    public void print2D() {
        Arrays.stream(matrix).map(Arrays::toString).forEach(System.out::println);
    }
}
```

Далі створимо клас ParallelCalculator в якому реалізуємо метод multiplyMatrix, який прийматиме 2 матриці та кількість потоків в яких буде працювати алгоритм, повертає сутність в якій записано результат

```java
package lab2.Algorithms.Parallel;

import lab2.Tools.MatrixEntity;

import java.util.ArrayList;


/**
 * Клас ParallelCalculator використовується для багатопоточного множення матриць
 * в середині класу було реалізовано стрічковий алгоритм множення матриць
 */
public class ParallelCalculator {

    /**
     * Метод для множення матриць за допомогою стрічкового алгоритму
     * @param matrixEntity1 перша матриця
     * @param matrixEntity2 друга матриця
     * @param threadsCount кількість потоків
     * @return результат множення матриць у вигляді MatrixEntity
     */
    public MatrixEntity multiplyMatrix(MatrixEntity matrixEntity1, MatrixEntity
matrixEntity2, int threadsCount) {

        // Перевірка того чи можна множити матриці між собою (кількість стовпців
першої матриці
        // має бути рівною кількості рядків другої матриці)
        if (matrixEntity1.getColumnsSize() != matrixEntity2.getRowsSize()) {
            throw new IllegalArgumentException("matrices cannot be multiplied
because the " +
                    "number of columns of matrix A is not equal to the number of
rows of matrix B.");
        }

        var height = matrixEntity1.getRowsSize();
        var width = matrixEntity2.getColumnsSize();
        var resultMatrix = new MatrixEntity(height, width);


        // Встановлюємо кількість рядків які будуть обровблятися в одному потоці
        var rowsPerThread = height / threadsCount;
        var threads = new ArrayList<Thread>();
        for (int i = 0; i < threadsCount; i++) {
            var from = i * rowsPerThread;
            int to;
            // Встановлюємо межі роботи для кожного потоку
            if (i == threadsCount - 1) {
                to = height;
            } else {
                to = (i + 1) * rowsPerThread;
            }
            threads.add(new Thread(() -> { // Створюємо поток який буде рахувати
результат у встановленому діапазоні
                for (int row = from; row < to; row++) { // Ітеруємось по
призначених рядках у межах встановленого діапазону
                    for (int col = 0; col < width; col++) {
                        for (int k = 0; k < matrixEntity2.getRowsSize(); k++) { //
Множимо елементи матриць
```

```
                            resultMatrix.set(row, col, resultMatrix.get(row, col)
                                    + matrixEntity1.get(row, k) *
matrixEntity2.get(k, col));
                        }
                    }
                }
            }));
        }

        for (Thread thread : threads) {
            thread.start();
        }

        try { // Чекаємо поки всі потоки закінчать свою роботу
            for (Thread thread : threads) {
                thread.join();
            }
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }

        return resultMatrix;
    }

}
```

Для множення матриці ми розділяємо її між доступними потоками (наприклад на скріншоті матриця 8 x 8 і доступно 4 потоки)

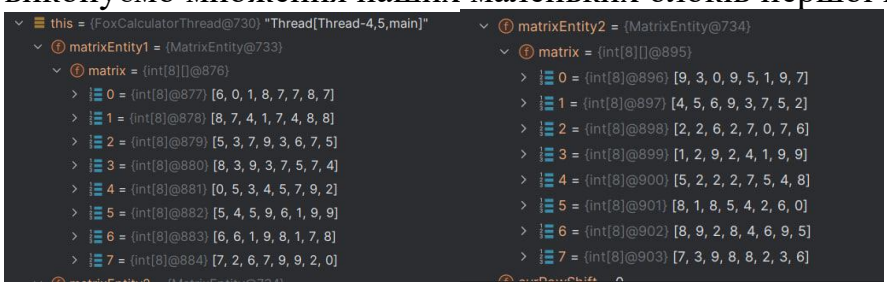


Відповідно кожен потік працюватиме з 2 рядками, а в самому вкладеному циклі відбувається підрахунок значення елементу матриці за звичайним алгоритмом множення матриць

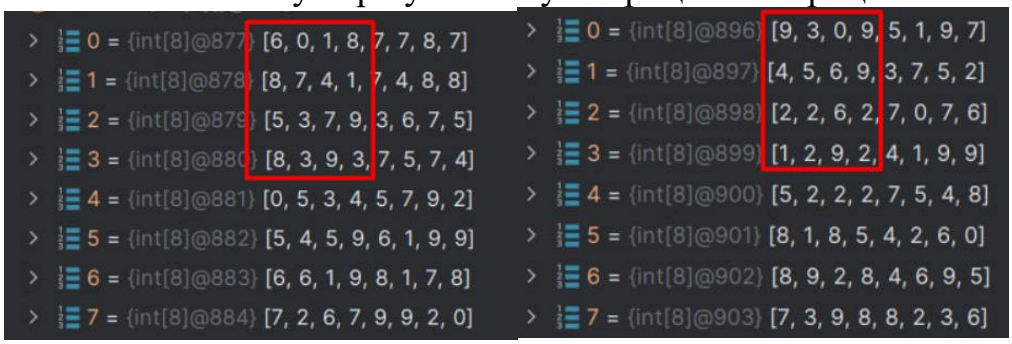
Завдання №2:
Суть алгоритму Фокса полягає в тому що ми розбиваємо нашу матрицю на підзадачі, відповідно до доступної кількості потоків. Ці підзадачі це матриці меншого розміру, так звані блоки, множення яких виконується паралельно

Для реалізації алгоритму Фокса будемо використовувати вже створену раніше MatrixEntity. В цьому випадку алгоритм виходить більш об’ємним, тому для зручності винесемо роботу яка виконується в потоці до окремого класу який буде

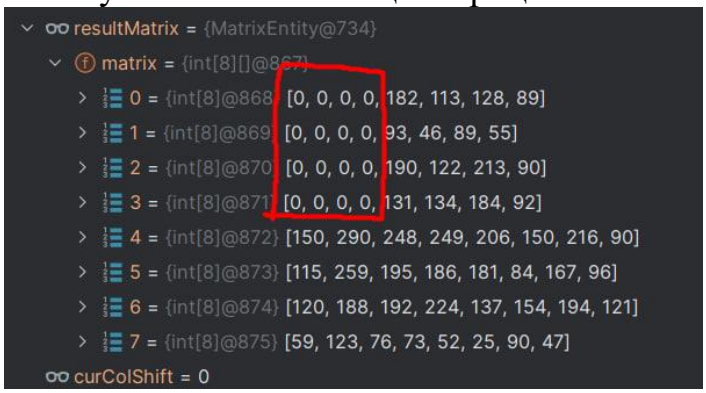
називатися FoxCalculatorThread. В класі FoxCalculator виконується «розбиття» матриці на підзадачі відповідно до кількості доступних тредів, а розмір «підматриці» записано до змінної step. Далі до масиву тредів додаємо наші підзадачі з множення матриць. В класі FoxCalculatorThread, в методі run() ми виконуємо множення наших маленьких блоків першої матриці, на блоки другої.



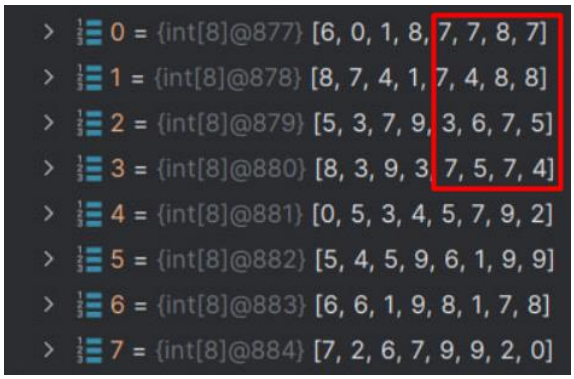
На рисунку бачимо 2 матриці, з яких виконується копіювання менших блоків (в методі copyBlock()), в цьому випадку в нас 4 потоки тому матриця розміром 8 х 8 розділена на 4 блоки розміром 4 х 4. Для підрахунку значення одного блоку копіюємо спочатку першу частину матриці 1 і матриці 2



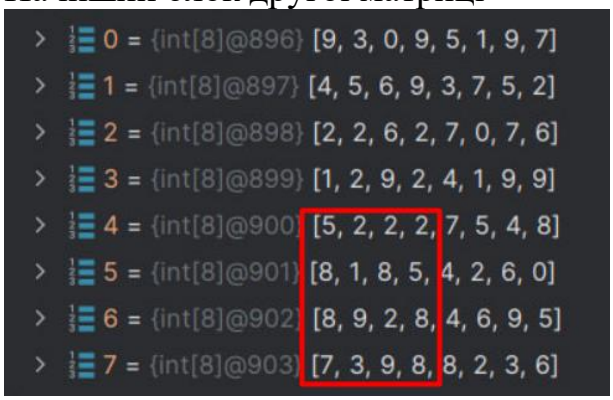
і перемножаємо їх між собою за звичайним алгоритмом множення матриці SequentialCalculator().multiplyMatrix(blockFirst, blockSecond); В результаті множення ми отримуємо resBlock, значення якого і записуємо до resultMatrix у відповідний блок (як бачимо в цій матриці всі інші блоки вже підраховані і видно наш пустий блок який ще в процесі обчислення):



На другій ітерації (у випадку з матрицею таких розмірів) ми множимо між собою наступний блок 1 матриці



На інший блок другої матриці



І далі отримані результати додаємо до результатів отриманих в цьому блоці результуючої матриці на першій ітерації.

Клас FoxCalculator:

```
package lab2.Algorithms.Fox;

import lab2.Tools.MatrixEntity;
import lombok.Getter;
import lombok.RequiredArgsConstructor;
import lombok.Setter;

/**
 * Клас FoxCalculator використовується для многопоточного множення матриць за алгоритмом Фокса
 * суть алгоритму полянає в поділі матриці на частини які виконуються в окремих потоках
 */
@Getter
@Setter
@RequiredArgsConstructor
public class FoxCalculator {
    private MatrixEntity matrixEntity1;
    private MatrixEntity matrixEntity2;
    private int threadsCount;
    private MatrixEntity resultMatrix;

    /**
     * Конструктор класу FoxCalculator, в який передаємо матриці, які будемо множити та кількість потоків
     * в яких буде виконуватися алгоритм
```

```
     * @param matrixEntity1 перша матриця
     * @param matrixEntity2 друга матриця
     * @param threadsCount кількість потоків
     */
    public FoxCalculator(MatrixEntity matrixEntity1, MatrixEntity matrixEntity2,
int threadsCount) {
        this.matrixEntity1 = matrixEntity1;
        this.matrixEntity2 = matrixEntity2;
        this.resultMatrix = new MatrixEntity(matrixEntity1.getRowsSize(),
matrixEntity2.getColumnsSize());

        if (threadsCount > matrixEntity1.getRowsSize() *
matrixEntity2.getColumnsSize() / 4) {
            this.threadsCount = matrixEntity1.getRowsSize() *
matrixEntity2.getColumnsSize() / 4;
        } else this.threadsCount = Math.max(threadsCount, 1);
    }

    public MatrixEntity multiplyMatrix() {
        var step = (int) Math.ceil(1.0 * matrixEntity1.getRowsSize() / (int)
Math.sqrt(threadsCount));

        FoxCalculatorThread[] threads = new FoxCalculatorThread[threadsCount];
        var idx = 0;

        for (int i = 0; i < matrixEntity1.getRowsSize(); i += step) {
            for (int j = 0; j < matrixEntity2.getColumnsSize(); j += step) {
                threads[idx] = new FoxCalculatorThread(matrixEntity1,
matrixEntity2, i, j, step, resultMatrix);
                idx++;
            }
        }

        for (int i = 0; i < idx; i++) {
            threads[i].start();
        }

        for (int i = 0; i < idx; i++) {
            try {
                threads[i].join();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }

        return resultMatrix;
    }

}
```

Клас FoxCalculatorThread:

```
package lab2.Algorithms.Fox;

import lab2.Algorithms.Sequential.SequentialCalculator;
import lab2.Tools.MatrixEntity;

/**
```

```java
 * Клас для розпаралеленого множення матриць за алгоритмом Фокса
 */
public class FoxCalculatorThread extends Thread {
    private final MatrixEntity matrixEntity1;
    private final MatrixEntity matrixEntity2;
    private final int curRowShift;
    private final int curColShift;
    private final int blockSize;
    private final MatrixEntity resultMatrix;

    /**
     * @param matrixEntity1 - матриця 1
     * @param matrixEntity2 - матриця 2
     * @param curRowShift  - початковий рядок
     * @param curColShift - початковий стовпець
     * @param blockSize - розмір блоку матриці для потоку
     * @param resultMatrix - матриця для результату
     */
    public FoxCalculatorThread(MatrixEntity matrixEntity1, MatrixEntity
matrixEntity2, int curRowShift,
                               int curColShift, int blockSize, MatrixEntity
resultMatrix) {
        this.resultMatrix = resultMatrix;
        this.matrixEntity1 = matrixEntity1;
        this.matrixEntity2 = matrixEntity2;
        this.curRowShift = curRowShift;
        this.curColShift = curColShift;
        this.blockSize = blockSize;
    }

    @Override
    public void run() {
        var m1RowSize = blockSize;
        var m2ColSize = blockSize;

        if (curRowShift + blockSize > matrixEntity1.getRowsSize())
            m1RowSize = matrixEntity1.getRowsSize() - curRowShift;

        if (curColShift + blockSize > matrixEntity2.getColumnsSize())
            m2ColSize = matrixEntity2.getColumnsSize() - curColShift;

        for (int k = 0; k < matrixEntity1.getRowsSize(); k += blockSize) {
            var m1ColSize = blockSize;
            var m2RowSize = blockSize;

            if (k + blockSize > matrixEntity2.getRowsSize()) {
                m2RowSize = matrixEntity2.getRowsSize() - k;
            }

            if (k + blockSize > matrixEntity1.getColumnsSize()) {
                m1ColSize = matrixEntity1.getColumnsSize() - k;
            }

            var blockFirst = copyBlock(matrixEntity1, curRowShift, curRowShift +
m1RowSize,
                    k, k + m1ColSize);
            var blockSecond = copyBlock(matrixEntity2, k, k + m2RowSize,
```

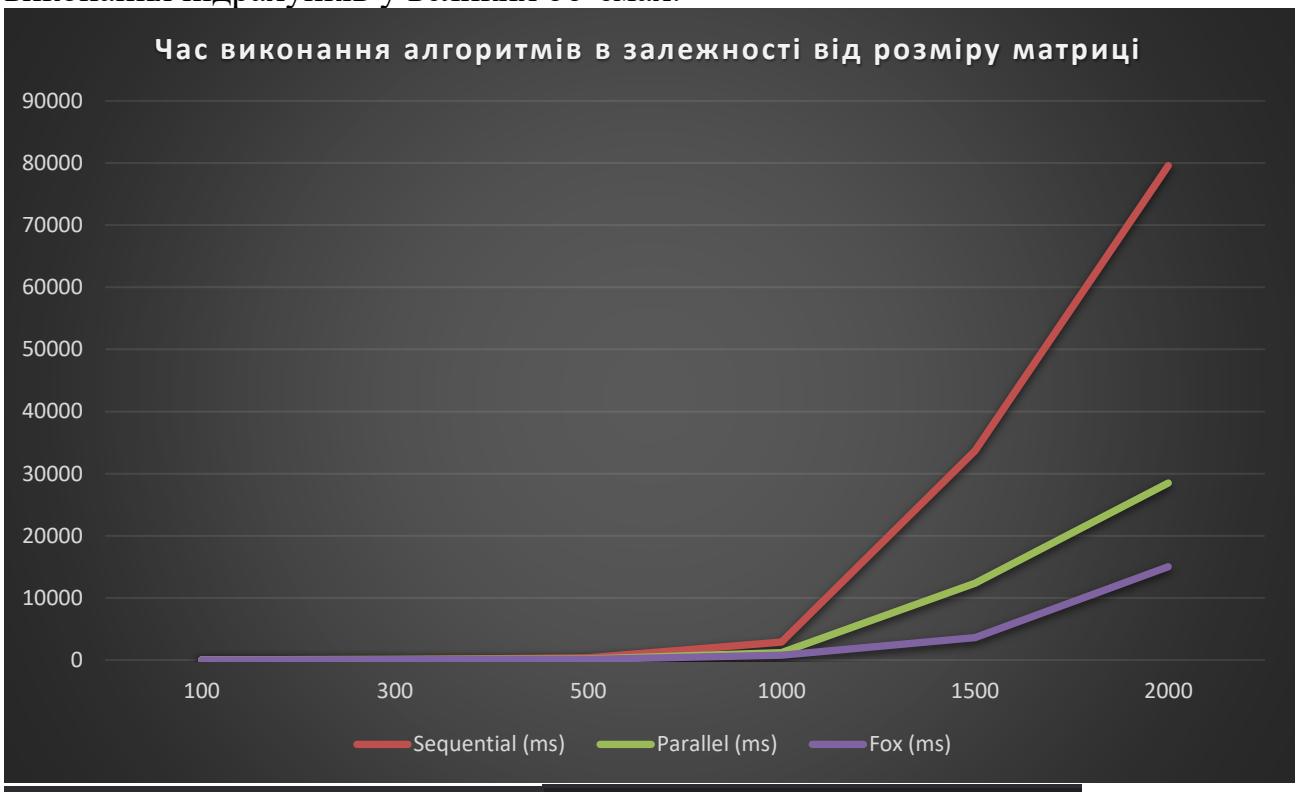
```
                    curColShift, curColShift + m2ColSize);

            var resBlock = new SequentialCalculator().multiplyMatrix(blockFirst,
blockSecond);
            for (int i = 0; i < resBlock.getRowsSize(); i++) {
                for (int j = 0; j < resBlock.getColumnsSize(); j++) { // елементи
результуючого блоку додаємо до
                    resultMatrix.set(i + curRowShift, j + curColShift,
resBlock.get(i, j) // результату
                            + resultMatrix.get(i + curRowShift, j + curColShift));
// відповідного рядка та стовпця результуючої матриці
                }
            }
        }
    }

    /**
     * @param src - матриця з якої копіюємо
     * @param rowStart - початковий рядок
     * @param rowFinish - кінцевий рядок
     * @param colStart - початковий стовпець
     * @param colFinish - кінцевий стовпець
     * @return копія блоку матриці
     */
    private MatrixEntity copyBlock(MatrixEntity src, int rowStart, int rowFinish,
                                   int colStart, int colFinish) {
        var copyMatrix = new MatrixEntity(rowFinish - rowStart, colFinish -
colStart);
        for (int i = 0; i < rowFinish - rowStart; i++) {
            for (int j = 0; j < colFinish - colStart; j++) {
                copyMatrix.set(i, j, src.get(i + rowStart, j + colStart));
            }
        }
        return copyMatrix;
    }
}
```

Код допоміжного класу SequentialCalculator:

```
package lab2.Algorithms.Sequential;

import lab2.Tools.MatrixEntity;

public class SequentialCalculator {
    public MatrixEntity multiplyMatrix(MatrixEntity matrixEntity1, MatrixEntity
matrixEntity2) {
        if (matrixEntity1.getColumnsSize() != matrixEntity2.getRowsSize()) {
            throw new IllegalArgumentException("matrices cannot be multiplied
because the " +
                    "number of columns of matrix A is not equal to the number of
rows of matrix B.");
        }

        var resultMatrix = new MatrixEntity(matrixEntity1.getRowsSize(),
matrixEntity2.getColumnsSize());
        for (int i = 0; i < matrixEntity1.getRowsSize(); i++) {
            for (int j = 0; j < matrixEntity2.getColumnsSize(); j++) {
                for (int k = 0; k < matrixEntity1.getColumnsSize(); k++) {
```

```
                    resultMatrix.set(i, j, resultMatrix.get(i, j) +
matrixEntity1.get(i, k) * matrixEntity2.get(k, j));
                }
            }
        }

        return resultMatrix;
    }

}
```

Завдання №3:
Виконаємо заміри часу для послідовного, стрічкового та алгоритму Фокса на матрицях різної розмірності.
Можна помітити що на невеликих матрицях (+- до 500) різниця невелика, а на матрицях великих розмірів алгоритм Фокса та стрічковий алгоритм мають значну перевагу за рахунок розділення роботи між кількома потоками, що прискорює час виконання підрахунків у великих об’ємах.




```
C:\Users\anton\.jdks\corretto-11.0.18\bin\java.exe -javaa
Sequential: 27 ms for 100 matrix size
Parallel: 34 ms for 100 matrix size
Fox: 10 ms for 100 matrix size

Process finished with exit code 0
```

```
C:\Users\anton\.jdks\corretto-11.0.18\bin\java.exe -ja
Sequential: 83 ms for 300 matrix size
Parallel: 87 ms for 300 matrix size
Fox: 37 ms for 300 matrix size

Process finished with exit code 0
```

```
C:\Users\anton\.jdks\corretto-11.0.18\bin\java.exe -
Sequential: 349 ms for 500 matrix size
Parallel: 170 ms for 500 matrix size
Fox: 118 ms for 500 matrix size

Process finished with exit code 0
```

```
C:\Users\anton\.jdks\corretto-11.0.18\bin\java.exe -javaa
Sequential: 2907 ms for 1000 matrix size
Parallel: 1188 ms for 1000 matrix size
Fox: 775 ms for 1000 matrix size

Process finished with exit code 0
```

```
C:\Users\anton\.jdks\corretto-11.0.18\bin\java.exe
Sequential: 33684 ms for 1500 matrix size
Parallel: 12382 ms for 1500 matrix size
Fox: 3621 ms for 1500 matrix size

Process finished with exit code 0
```

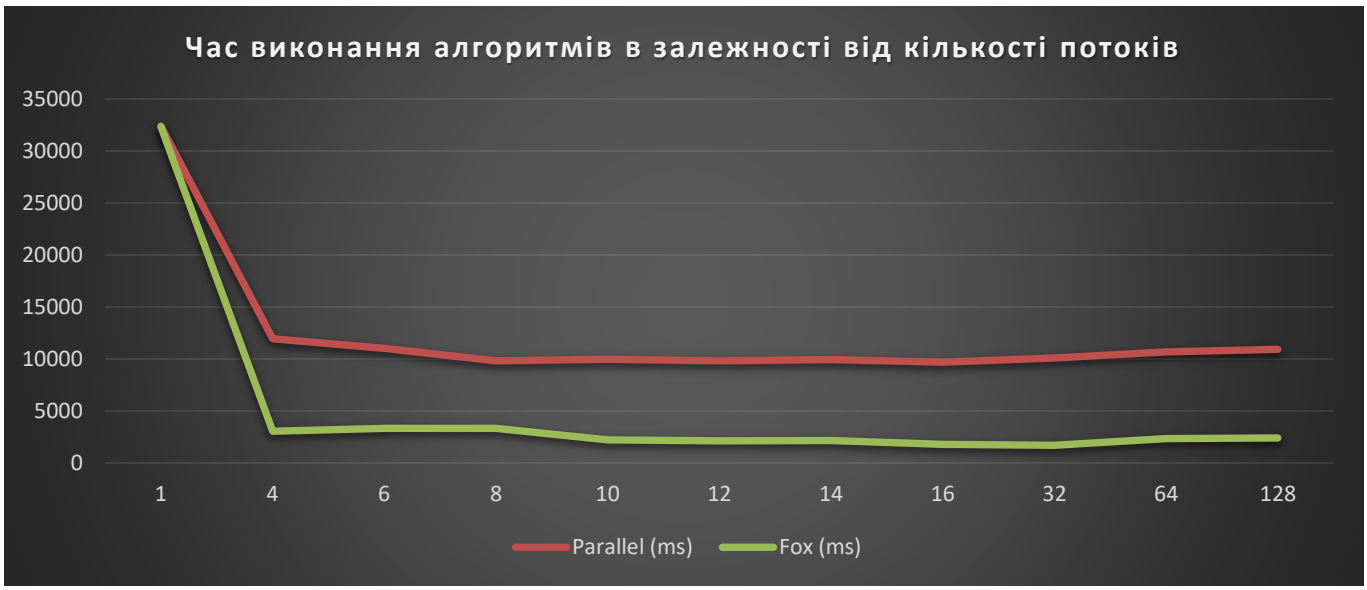
```
C:\Users\anton\.jdks\corretto-11.0.18\bin\java.exe
Sequential: 79580 ms for 2000 matrix size
Parallel: 28496 ms for 2000 matrix size
Fox: 15022 ms for 2000 matrix size

Process finished with exit code 0
```

Для експериментів використовувався наступний код з перевіркою на відповідність кінцевого результату:

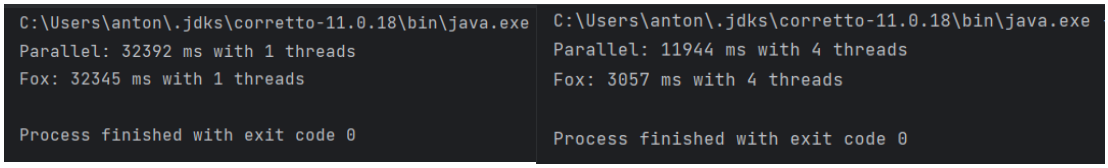
```java
package lab2.test;

import lab2.Tools.MatrixEntity;
import lab2.Tools.RandomMatrixGenerator;

public class Task3Test {
    public static void main(String[] args) {
        RandomMatrixGenerator randomMatrixGenerator = new RandomMatrixGenerator();

        var MATRIX_SIZE = 1500;
        var THREADS_COUNT = 4;

        var startTime = System.currentTimeMillis();
        var endTime = System.currentTimeMillis();


        var matrixEntity = new MatrixEntity(
                randomMatrixGenerator
                        .generateRandomMatrix(MATRIX_SIZE, MATRIX_SIZE)
                        .getMatrix());

        var matrixEntity2 = new MatrixEntity(
                randomMatrixGenerator
                        .generateRandomMatrix(MATRIX_SIZE, MATRIX_SIZE)
                        .getMatrix());

        var sequentialCalculator = new
lab2.Algorithms.Sequential.SequentialCalculator();
        var parallelCalculator = new
lab2.Algorithms.Parallel.ParallelCalculator();
        var foxCalculator = new lab2.Algorithms.Fox.FoxCalculator(matrixEntity,
matrixEntity2, THREADS_COUNT);


        // Sequential test
        startTime = System.currentTimeMillis();
        var seqRes = new
MatrixEntity(sequentialCalculator.multiplyMatrix(matrixEntity,
matrixEntity2).getMatrix());
        endTime = System.currentTimeMillis();
        System.out.println("Sequential: " + (endTime - startTime) + " ms " + "for
" + MATRIX_SIZE + " matrix size" );

        // Parallel test
        startTime = System.currentTimeMillis();
        var parRes = new
MatrixEntity(parallelCalculator.multiplyMatrix(matrixEntity, matrixEntity2,
THREADS_COUNT).getMatrix());
        endTime = System.currentTimeMillis();
        System.out.println("Parallel: " + (endTime - startTime) + " ms " + "for "
+ MATRIX_SIZE + " matrix size" );

        // Fox test
        startTime = System.currentTimeMillis();
        var foxRes = new MatrixEntity(foxCalculator.multiplyMatrix().getMatrix());
        endTime = System.currentTimeMillis();
```

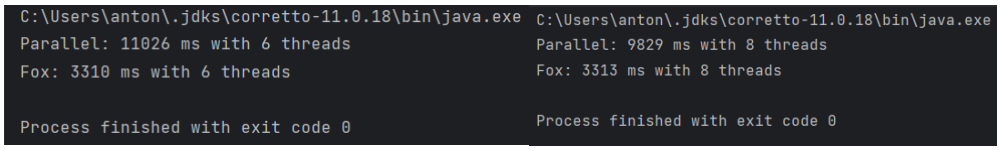
```
        System.out.println("Fox: " + (endTime - startTime) + " ms " + "for " +
MATRIX_SIZE + " matrix size" );

        // Check results
        for (int i = 0; i < MATRIX_SIZE; i++) {
            for (int j = 0; j < MATRIX_SIZE; j++) {
                if (seqRes.get(i, j) != parRes.get(i, j) || seqRes.get(i, j) !=
foxRes.get(i, j)) {
                    System.out.println("Error");
                    return;
                }
            }
        }


    }
}
```

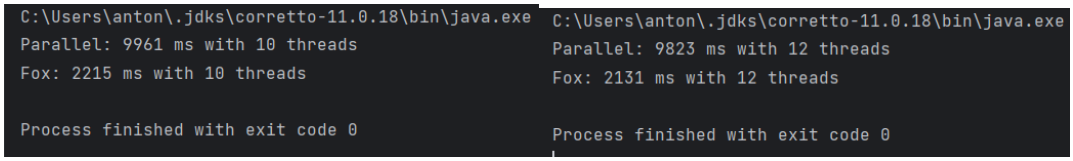
Завдання №4:
В цьому експерименті нам необхідно порівняти час виконання алгоритмів в залежності від кількості потоків в яких вони будуть виконуватися.
Як видно з графіку обидва алгоритми показують найкращі результати при використанні 16 потоків, а в подальшому зміни вже стають незначними.

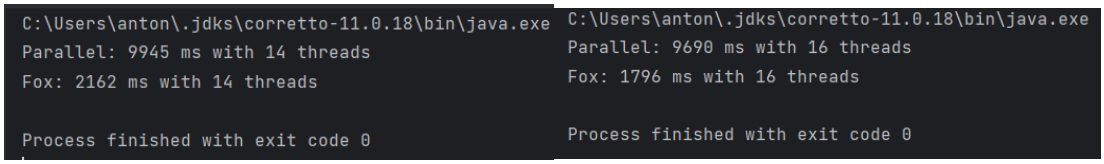


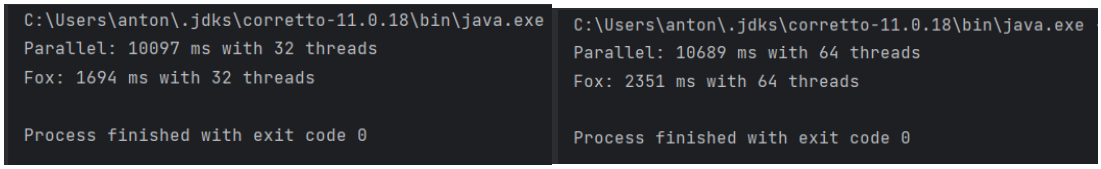
Графік прискорення алгоритмів в залежності від кількості потоків:

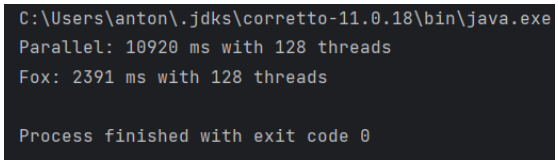












Висновок: Під час виконання даної лабораторної роботи я освоїв нові методи множення матриць використовуючи паралельні алгоритми для їх множення.