# Laboratorium VIII

***Asynchroniczne wykonanie zadań w puli***

***wątków przy użyciu wzorców Executor i Future***

*Dominik Marek*

*25 listopada 2024*

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA
W KRAKOWIE

## *1.Zadania*

**Interfejs java.util.concurrent.Executor i java.util.concurrent.ExecutorService**

1. Executor służy do asynchronicznego wykonania zadań typu Runnable. Zamiast tworzyć osobne wątki:
2. new Thread(new(RunnableTask())).start()

można użyć metody execute():

executor.execute(new RunnableTask1());

executor.execute(new RunnableTask2());

3. Metoda submit() w interfejsie ExecutorService działa podobnie do execute(), ale przyjmuje zadania implementujące interfejs Callable, które mogą zwrócić wartość (metoda run() jest typu void). Zadanie może implementować interfejs Future.

4. Implementacje:
    - newSingleThreadExecutor
    - newFixedThreadPool
    - newCachedThreadPool
    - newWorkStealingPool

**Zadania**

1. Proszę zaimplementować przy użyciu Executor i Future program wykonujący obliczanie zbioru Mandelbrota w puli wątków. Jako podstawę implementacji proszę wykorzystać kod w Javie.
2. Proszę przetestować szybkość działania programu w zależności od implementacji Executora i jego parametrów (np. liczba wątków w puli). Czas obliczeń można zwiększać manipulując parametrami problemu, np. liczbą iteracji (MAX_ITER).

## 2.Rozwiązania

Poniższy kod w języku Java generuje i renderuje fraktal Mandelbrota, przy wykorzystaniu podejścia równoległego do obliczeń pikseli. Klasa PixelOperator implementuje interfejs Callable i odpowiada za obliczenie koloru dla pojedynczego piksela na podstawie równania Mandelbrota. Każda instancja tej klasy działa na określonym punkcie współrzędnych (x, y) w obrazie i zwraca wynik w formie obiektu PixelResult. Klasa Mandelbrot jest główną klasą programu i rozszerza JFrame, umożliwiając graficzne wyświetlenie wygenerowanego obrazu. Używa wątku ExecutorService z różnymi liczbami wątków (od 1 do 20), aby równolegle obliczać piksele obrazu. Wyniki obliczeń pikseli są pobierane za pomocą listy Future i zapisywane do obiektu BufferedImage, który przechowuje gotowy obraz. Metoda runSimulation odpowiada za podział pracy na równoległe zadania i koordynację procesu obliczeń oraz renderowania obrazu. Wyświetlenie obrazu odbywa się w metodzie paint, która rysuje wynikowy fraktal na ekranie. W pętli testowej w konstruktorze programu mierzony jest czas wykonania symulacji dla różnych liczb wątków, a wyniki są wyświetlane w konsoli. Dzięki temu można przeanalizować wpływ liczby wątków na czas generowania fraktala. Kod demonstruje równoległe przetwarzanie i wizualizację złożonych obliczeń matematycznych, przy czym wykorzystywany jest model programowania współbieżnego w Javie

```
import java.util.concurrent.Callable;

public class PixelOperator implements Callable<PixelResult>  {
    private final int x, y;
    private final double  ZOOM;
    private final int MAX_ITER;
```

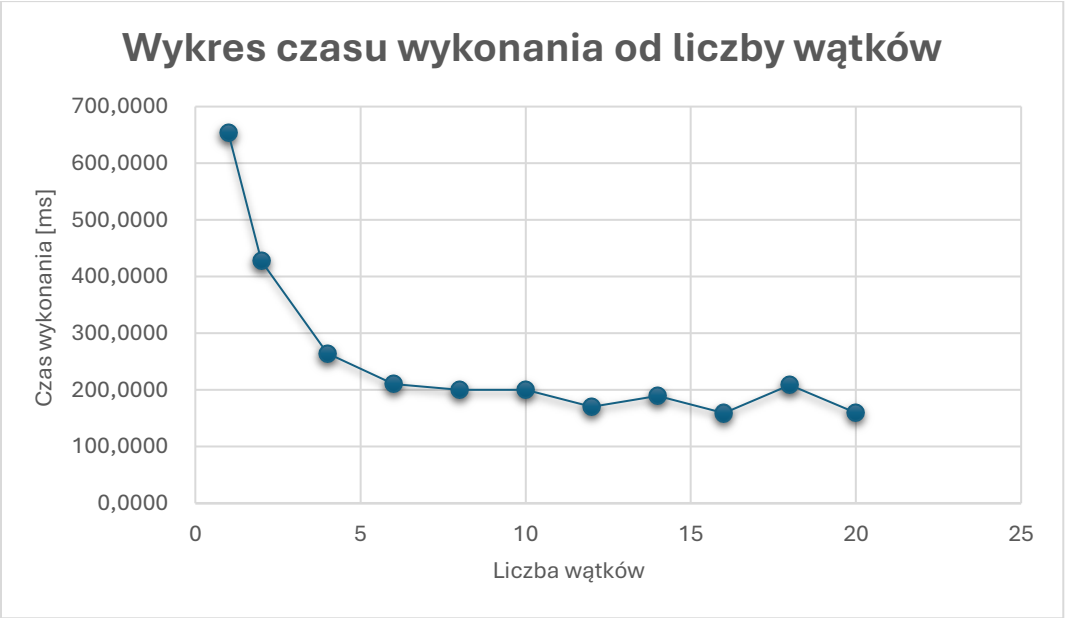
```
    public PixelOperator(int x, int y , double ZOOM, int MAX_ITER) {
        this.x = x;
        this.y = y;
        this.ZOOM = ZOOM;
        this.MAX_ITER = MAX_ITER;
    }


    @Override
    public PixelResult call() {
        double zx, cX, cY, zy;
        zx = zy = 0;
        cX = (x - 400) / ZOOM;
        cY = (y - 300) / ZOOM;
        int iter = MAX_ITER;
        while (zx * zx + zy * zy < 4 && iter > 0) {
            double tmp = zx * zx - zy * zy + cX;
            zy = 2.0 * zx * zy + cY;
            zx = tmp;
            iter--;
        }
        int color = iter | (iter << 8);
        return new PixelResult(this.x, this.y, color);
    }
}
```

```
record PixelResult(int x, int y, int color) {
}
```

```
import java.awt.Graphics;
import java.awt.image.BufferedImage;
import java.util.ArrayList;
import java.util.List;
import java.util.concurrent.*;
import javax.swing.JFrame;

public class Mandelbrot extends JFrame {

    private  static final int MAX_ITER = 3000;
    private static final double ZOOM = 150;
    private  BufferedImage I;


    public Mandelbrot() {
        System.out.println("newFixedThreadPool:\n");
        List<Integer> threadsNum = List.of(1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16,
18, 20);
        List<Double> executionTime = new ArrayList<>();

        for(int nThreads : threadsNum) {
            ExecutorService executor =
Executors.newFixedThreadPool(nThreads);
            double startTime = System.nanoTime();
            runSimulation(executor);
            double endTime = System.nanoTime();
            executionTime.add((endTime - startTime) / 1_000_000.0);
        }
```

```
        for(double execTime: executionTime) {
            //System.out.println(execTime);
            System.out.println("Number of threads:
"+threadsNum.get(executionTime.indexOf(execTime)) + " time: "+ execTime);
        }


    }


    public void runSimulation(ExecutorService executor) {

        setBounds(100, 100, 800, 600);
        setResizable(false);
        setDefaultCloseOperation(EXIT_ON_CLOSE);
        I = new BufferedImage(getWidth(), getHeight(),
BufferedImage.TYPE_INT_RGB);

        List<Future<PixelResult>> futures = new ArrayList<>();

        for (int y = 0; y < getHeight(); y++) {
            for (int x = 0; x < getWidth(); x++) {
                Callable<PixelResult> task = new PixelOperator(x, y, ZOOM,
MAX_ITER);
                futures.add(executor.submit(task));

            }
        }

        for (Future<PixelResult> future : futures) {
            try {
                PixelResult result = future.get();
                I.setRGB(result.x(), result.y(), result.color());
            } catch (Exception e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }


        executor.shutdown();
    }


    @Override
    public void paint(Graphics g) {
        g.drawImage(I, 0, 0, this);
    }

    public static void main(String[] args) {
        new Mandelbrot().setVisible(true);
    }
}
```

| Czas wykonania programu względem liczby wątków dla FIxedThreadExecutor | |
|---|---|
| liczba wątków | czas wykonania [ ms] |
| 1 | 653,2196 |
| 2 | 427,1624 |
| 4 | 264,7698 |
| 6 | 210,6304 |
| 8 | 200,3586 |
| 10 | 200,1025 |
| 12 | 170,2929 |
| 14 | 189,5025 |
| 16 | 159,1747 |
| 18 | 208,6295 |
| 20 | 159,7834 |



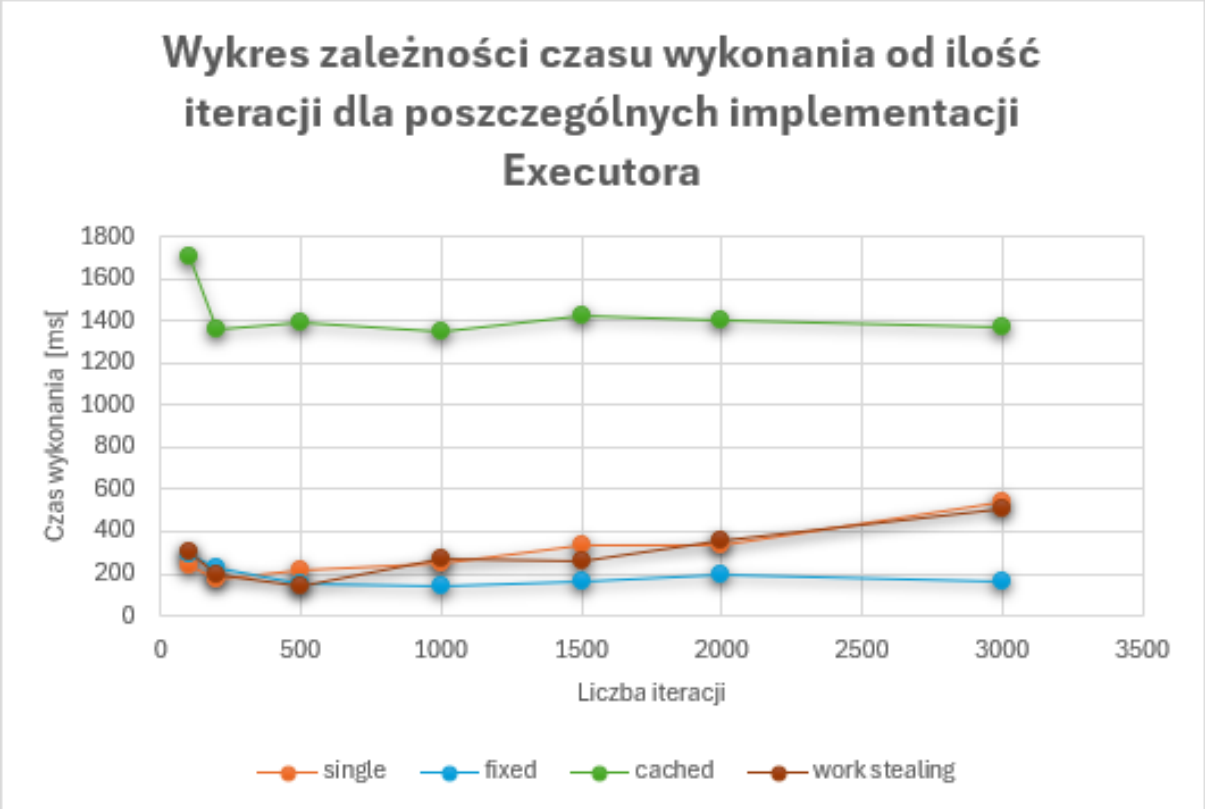

Analizując powyższy wykres możemy zauważyć, że zwiększanie liczby wątków początkowo znacząco skraca czas wykonania programu, szczególnie przy przejściu z 1 do 4 wątków. Optymalny czas (ok. 159 ms) osiągnięto przy 12-16 wątkach, co odpowiada liczbie logicznych wątków procesora Intel i7-9750H (6 rdzeni, 12 wątków). Po przekroczeniu tej liczby czas wykonania zaczyna rosnąć, co wynika z narzutu związanego z zarządzaniem wątkami i przełączaniem kontekstu.

**Wnioski:**

Zastosowanie liczby wątków zbliżonej do faktycznej liczby wątków procesora zapewnia najlepszą wydajność, minimalizując czas obliczeń. Dodawanie większej liczby wątków nie

poprawia efektywności, a może ją pogorszyć. Warto dostosowywać liczbę wątków do liczby logicznych rdzeni procesora dla optymalizacji programów równoległych.

| Czas wykonania programu względem liczby iteracji dla poszczególnych implementacji Executora | | | | |
|---|---|---|---|---|
| liczba iteracji | SingleThreadExecutor | FixedThreadPool | CachedThreadPool | WorkStealingPool |
| 100 | 232,522 | 287,0036 | 1711,262 | 303,9095 |
| 200 | 169,2725 | 225,5058 | 1357,645 | 199,8923 |
| 500 | 212,1141 | 148,7843 | 1391,865 | 145,6747 |
| 1000 | 252,2043 | 143,2917 | 1354,24 | 270,4929 |
| 1500 | 334,3941 | 167,3913 | 1426,907 | 263,2823 |
| 2000 | 330,9968 | 198,4603 | 1408,285 | 358,0644 |
| 3000 | 542,2744 | 158,9896 | 1369,702 | 512,7873 |




Na podstawie wykresu, możemy zauważyć wyraźne różnice w wydajności poszczególnych implementacji Executora w Javie (SingleThreadExecutor, FixedThreadPool, CachedThreadPool oraz WorkStealingPool) przy różnych liczbach iteracji.

SingleThreadExecutor wykazuje stabilny, lecz powolny wzrost czasu wykonania wraz z liczbą iteracji. Jest to oczekiwane, ponieważ obsługuje zadania sekwencyjnie, bez możliwości równoległego przetwarzania.

FixedThreadPool okazuje się najbardziej wydajny, szczególnie dla większych iteracji. Widać, że czasy wykonania pozostają stosunkowo niskie i stabilne, co wynika z równoległego przetwarzania z określoną liczbą wątków.

CachedThreadPool działa bardzo nieefektywnie, osiągając najdłuższy czas wykonania spośród wszystkich implementacji. Jest to spowodowane częstym tworzeniem i niszczeniem wątków, co generuje duże narzuty przy większych obciążeniach.

WorkStealingPool radzi sobie przyzwoicie, szczególnie dla mniejszych liczby iteracji, gdzie czas wykonania jest porównywalny z FixedThreadPool. Jednak dla większych iteracji jego wydajność spada, co sugeruje pewne problemy z obciążeniem wątków.

**Wnioski:**

FixedThreadPool okazuje się najlepszym wyborem, zapewniając najkrótsze i stabilne czasy wykonania dla dużych obciążeń. CachedThreadPool nie jest optymalny dla tego zadania, szczególnie przy dużej liczbie iteracji. WorkStealingPool jest wydajny przy mniejszym obciążeniu, ale nie dorównuje stabilności FixedThreadPool.

W tym przypadku , najlepiej wybrać FixedThreadPool, który efektywnie wykorzystuje zasoby wątków.

## *3.Bibliografia*


- https://www.dz5.pl/ti/java/java_skladnia.pdf ~Jacek Rumiński, Język Java – rozdział o wątkach
- http://brinch-hansen.net/papers/1999b.pdf ~ Per Brinch Hansen
- https://www.artima.com/insidejvm/ed2/threadsynch.html ~Bill Venners, Inside the Java Virtual Machine - Charter 20 Thread Synchronization
- https://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/concurrency/executors.html
- https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/util/concurrent/Executors.html
- https://home.agh.edu.pl/~zobmat/2021/marchewczyk_michal/mandelbrot.html