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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

З ДИСЦИПЛІНИ “ ПАРАЛЕЛЬНІ ТА РОЗПОДІЛЕНІ ОБЧИСЛЕННЯ”

НА ТЕМУ: “Java. Монітори”

Виконав:
Студент III курсу ФІОТ
групи ІО-82
Шендріков Євгеній
Номер у списку - 24

Перевірив:
Доцент
Корочкін О. В.

м. Київ – 2021 р.

Технічне завдання

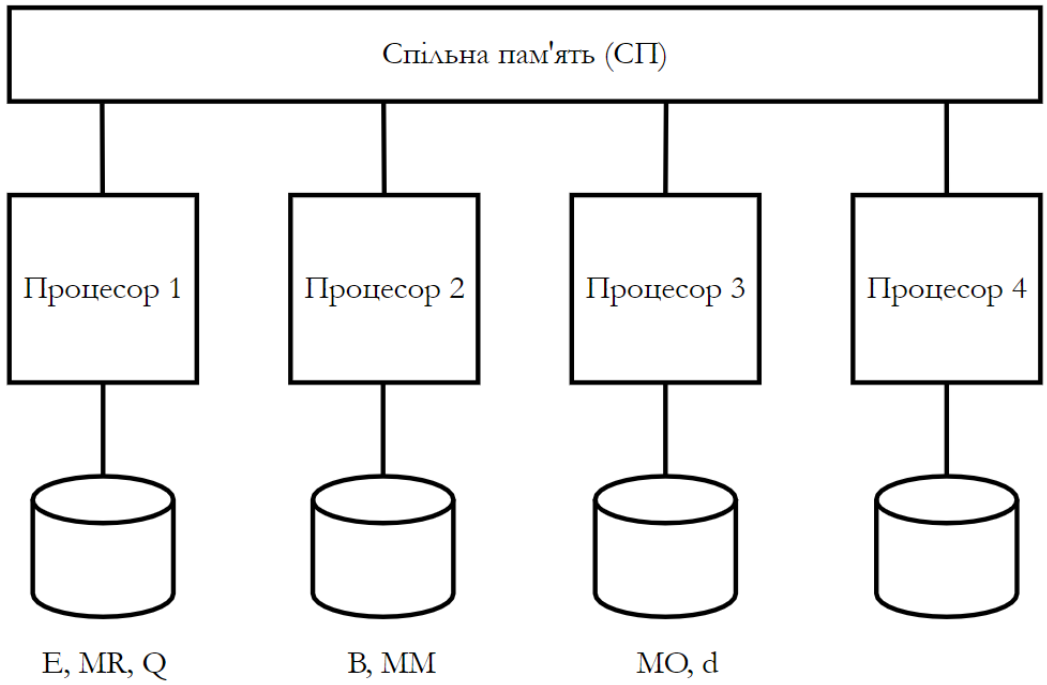
1. Розробити паралельний алгоритм рішення математичної задачі $E = (B * MR) * (MM * MO) + min(B) * Q * d$ з використанням моніторів на мові Java;
2. Виявити спільні ресурси;
3. Описати алгоритм кожного потоку (Т1 – Тр) з визначенням критичних ділянок (КД);
4. Розробити структурну схему взаємодії задач, де застосувати всі вказані засоби взаємодії процесів;
5. Розробити програму (обов'язкові "шапка", коментарі);
6. Виконати налагодження програми;
7. Отримати правильні результати обчислень;
8. За допомогою Диспетчеру задач Windows проконтролювати завантаження ядер процесору.

Задача: $E = (B * MR) * (MM * MO) + min(B) * Q * d$;

Мова програмування: Java;

Засоби організації взаємодії: монітори мови Java, синхронізовані блоки;

Структурна схема ПКС



Виконання роботи

Етап 1. Побудова паралельного алгоритму

1) $m_i = \min(B_H)$, $i = \overline{1, P}$
2) $m = \min(m_i, m)$, $i = \overline{1, P}$
3) $A_H = (B * MR_H)$
4) $E_H = A * (MM_H * MO) + m * Q_H * d$

Спільний ресурс: m, d, A, B, MO

Етап 2. Розроблення алгоритмів роботи кожного процесу

Задача T1		ТС та КД
1	Введення MR, Q	
2	Сигнал задачам T2, T3, T4 про завершення введення даних	$S_{2,3,4-1}$
3	Чекати сигналу задач T2, T3 про завершення введення даних	$W_{2,3-1}$
4	Копіювання B_1:= B	$КД_1$
5	Копіювання d_1:= d	$КД_2$
6	Копіювання MO_1:= MO	$КД_3$
7	Обчислення $m_1 := \min(B_H)$	
8	Обчислення m: = $\min(m, m_1)$	$КД_4$
9	Сигнал T2, T3, T4 про завершення обчислення m	$S_{2,3,4-2}$
10	Чекати сигнали від T2, T3, T4 про завершення обчислень m	$W_{2,3,4-2}$
11	Обчислення $A_H = (B_1 * MR_H)$	$КД_5$
12	Сигнал T2, T3, T4 про завершення обчислення A_H	$S_{2,3,4-3}$
13	Чекати сигнали від T2, T3, T4 про завершення обчислень A_H	$W_{2,3,4-3}$
14	Копіювання m_1: = m	$КД_6$
15	Копіювання A_1:= A	$КД_7$
16	Обчислення $E_H = A_1 * (MM_H * MO_1) + m_1 * Q_H * d_1$	
17	Чекати на завершення обчислень E в T2, T3, T4	$W_{2,3,4-4}$
18	Виведення E	

Задача T2		ТС та КД
1	Введення B, MM	
2	Сигнал задачам T1, T3, T4 про завершення введення даних	$S_{1,3,4-1}$
3	Чекати сигналу задач T1, T3 про завершення введення даних	$W_{1,3-1}$
4	Копіювання B_2:= B	$КД_1$
5	Копіювання d_2:= d	$КД_2$
6	Копіювання MO_2:= MO	$КД_3$
7	Обчислення $m_2 := \min(B_H)$	

8	Обчислення m: = min(m, m_2)	КД$_4$
9	Сигнал Т1, Т3, Т4 про завершення обчислення m	$S_{1,3,4-2}$
10	Чекати сигнали від Т1, Т3, Т4 про завершення обчислень m	$W_{1,3,4-2}$
11	Обчислення A_H = (B_2 * MR_H)	КД$_5$
12	Сигнал Т1, Т3, Т4 про завершення обчислення A_H	$S_{1,3,4-3}$
13	Чекати сигнали від Т1, Т3, Т4 про завершення обчислень A_H	$W_{1,3,4-3}$
14	Копіювання m_2: = m	КД$_6$
15	Копіювання A_2:= A	КД$_7$
16	Обчислення E_H = A_2 * (MM_H * MO_2) + m_2 * Q_H * d_2	
17	Сигнал Т1, Т3, Т4 про завершення обчислення Е	S_{1-4}

Задача Т3		ТС та КД
1	Введення МО, d	
2	Сигнал задачам Т1, Т2, Т4 про завершення введення даних	$S_{1,2,4-1}$
3	Чекати сигналу задач Т1, Т2 про завершення введення даних	$W_{1,2-1}$
4	Копіювання B_3:= B	КД$_1$
5	Копіювання d_3:= d	КД$_2$
6	Копіювання MO_3:= МО	КД$_3$
7	Обчислення m_3 := min(B_H)	
8	Обчислення m: = min(m, m_3)	КД$_4$
9	Сигнал Т1, Т2, Т4 про завершення обчислення m	$S_{1,2,4-2}$
10	Чекати сигнали від Т1, Т2, Т4 про завершення обчислень m	$W_{1,2,4-2}$
11	Обчислення A_H = (B_3 * MR_H)	КД$_5$
12	Сигнал Т1, Т2, Т4 про завершення обчислення A_H	$S_{1,2,4-3}$
13	Чекати сигнали від Т1, Т2, Т4 про завершення обчислень A_H	$W_{1,2,4-3}$
14	Копіювання m_3: = m	КД$_6$
15	Копіювання A_3:= A	КД$_7$
16	Обчислення E_H = A_3 * (MM_H * MO_3) + m_3 * Q_H * d_3	
17	Сигнал Т1, Т2, Т4 про завершення обчислення Е	S_{1-4}

Задача Т4		ТС та КД
1	Чекати сигналу задач Т1, Т2, Т3 про завершення введення даних	$W_{1,2,3-1}$
2	Копіювання B_4:= B	КД$_1$
3	Копіювання d_4:= d	КД$_2$
4	Копіювання MO_4:= МО	КД$_3$
5	Обчислення m_4 := min(B_H)	
6	Обчислення m: = min(m, m_4)	КД$_4$

7	Сигнал T1, T2, T3 про завершення обчислення m	$S_{1,2,3-1}$
8	Чекати сигнали від T1, T2, T3 про завершення обчислень m	$W_{1,2,3-2}$
9	Обчислення $A_H = (B_4 * MR_H)$	$КД_5$
10	Сигнал T1, T2, T3 про завершення обчислення A_H	$S_{1,2,3-2}$
11	Чекати сигнали від T1, T2, T3 про завершення обчислень A_H	$W_{1,2,3-3}$
12	Копіювання m_4: = m	$КД_6$
13	Копіювання A_4:= A	$КД_7$
14	Обчислення $E_H = A_4 * (MM_H * MO_4) + m_4 * Q_H * d_4$	
15	Сигнал T1, T2, T3 про завершення обчислення E	S_{1-3}

Етап 3. Розроблення структурної схеми взаємодії задач

Умовні позначення на структурній схемі:

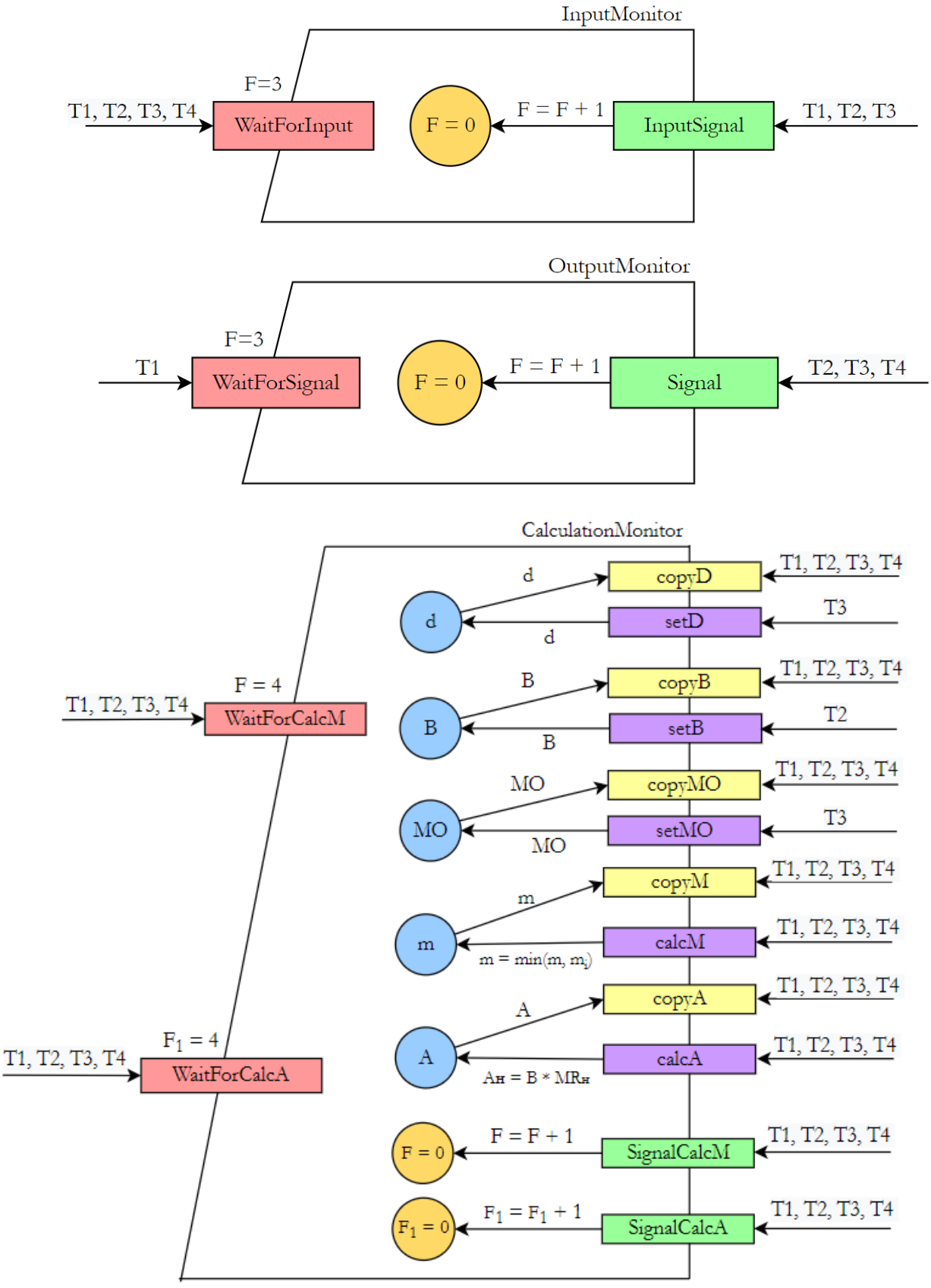
- *InputSignal* – сигнал про завершення вводу в потоках T1, T2, T3
- *WaitForInput* – очікування сигналів про завершення вводу в потоках T1, T2, T3

- *Signal* – сигнал про завершення обчислення E у потоках T2, T3, T4
- *WaitForSignal* – очікування сигналів про завершення обчислення E у потоках T2, T3, T4

- *SignalCalcM* – сигнал про завершення обчислення m у потоках T1, T2, T3, T4
- *WaitForCalcM* – очікування сигналів про завершення обчислення m у потоках T1, T2, T3, T4

- *SignalCalcA* – сигнал про завершення обчислення $A_н$ у потоках T1, T2, T3, T4
- *WaitForCalcA* – очікування сигналів про завершення обчислення $A_н$ у потоках T1, T2, T3, T4

- *copyM* – копіювання спільного ресурсу m потоками T1, T2, T3, T4
- *calcM* – обчислення $m = \min(m, m_i)$ потоками T1, T2, T3, T4
- *copyA* – копіювання спільного ресурсу A потоками T1, T2, T3, T4
- *calcA* – обчислення $A_н$
- *copyB* – копіювання спільного ресурсу B потоками T1, T2, T3, T4
- *setB* – введення спільного ресурсу B потоком T2
- *copyD* – копіювання спільного ресурсу d потоками T1, T2, T3, T4
- *setD* – введення спільного ресурсу d потоком T3
- *copyMO* – копіювання спільного ресурсу MO потоками T1, T2, T3, T4
- *setMO* – введення спільного ресурсу MO потоком T3

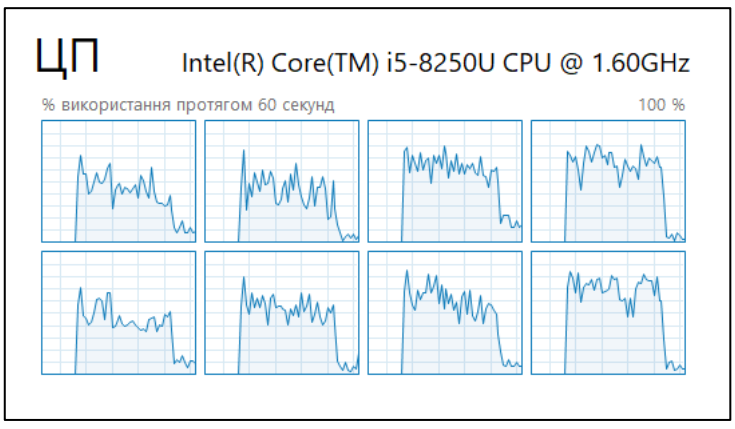

InputMonitor
F=3
T1, T2, T3, T4
WaitForInput
F = 0
F = F + 1
InputSignal
T1, T2, T3
OutputMonitor
F=3
T1
WaitForSignal
F = 0
F = F + 1
Signal
T2, T3, T4
CalculationMonitor
F = 4
T1, T2, T3, T4
WaitForCalcM
F1 = 4
T1, T2, T3, T4
WaitForCalcA
d
B
MO
m
A
F = 0
F1 = 0
copyD
setD
copyB
setB
copyMO
setMO
copyM
calcM
copyA
calcA
SignalCalcM
SignalCalcA
T1, T2, T3, T4
T3
T2
m = min(m, mi)
AH = B * MRH
F = F + 1
F1 = F1 + 1

Етап 4. Розробка програми

Результат роботи

```
Lab2 started!

T1 started
T1 inputs data


T2 started

T3 started
T3 inputs data


T4 started
T4 waits data input from T1, T2, T3

T2 inputs data

T1 finished data input

T2 finished data input

T3 finished data input

T2 started copying B, d, MO

T1 started copying B, d, MO

T3 started copying B, d, MO

T1 finished copying B, d, MO

T1 started 'm' and 'Ан' calculation

T2 finished copying B, d, MO

T2 started 'm' and 'Ан' calculation

T4 started copying B, d, MO

T3 finished copying B, d, MO

T3 started 'm' and 'Ан' calculation

T4 finished copying B, d, MO

T4 started 'm' and 'Ан' calculation

T1 finished 'm' and 'Ан' calculation
```

```
T1 started copying m, A

T4 finished 'm' and 'Ан calculation

T4 started copying m, A

T3 finished 'm' and 'Ан' calculation

T3 started copying m, A

T2 finished 'm' and 'Ан' calculation

T2 started copying m, A

T3 finished copying m, A

T3 started calculation E

T4 finished copying m, A

T4 started calculation E

T1 finished copying m, A
T1 finished calculation E

T3 finished calculation E

T2 finished copying m, A

T2 started calculation E

T2 finished calculation E

T3 sent signal to T1, T2, T4 about calculation E

T3 finished

T4 sent signal to T1, T2, T3 about calculation E

T4 finished

T1 started calculation E

T2 sent signal to T1, T3, T4 about calculation E

T2 finished
T1 finished calculation E

E = [ 513 513 513 513 513 513 513 513 ]

T1 finished

Lab2 finished!

Process finished with exit code 0
```



Висновки

1. На основі моніторів та синхронізованих блоків мови Java було розроблено програму та паралельний алгоритм для рішення математичної задачі заданої за варіантом.

2. Було описано алгоритм кожного потоку (T1 – T4) з визначенням критичних ділянок (КД);

3. Розроблено структурну схему взаємодії задач, де було застосовано вказані в завданні засоби взаємодії процесів. Засобом організації взаємодії слугували монітори.

4. Було написано програму згідно з завданням та перевірено її працездатність, а також проконтрольовано завантаження ядер процесору за допомогою Диспетчеру задач. Програма забезпечує 80% завантаженості.

Лістинг коду

Main.java

```
1. /*-------------------------------------------------------
2.  |                      Labwork #3                      |
3.  |                    Java Monitors                     |
4.  -------------------------------------------------------
5.  |  Author  |       Jack (Yevhenii) Shendrikov          |
6.  |  Group   |                IO-82                      |
7.  |  Variant |                 #17                       |
8.  |  Date    |             07.03.2021                    |
9.  -------------------------------------------------------
10.  | Function |    E = (B*MR)*(MM*MO) + min(B)*Q*d       |
11.  -------------------------------------------------------
12.  */
13.
14. public class Main {
15.
16.     static int N = 8;
17.     private static int P = 4;
18.     static int H = N / P;
19.
20.     static int m = Integer.MAX_VALUE;
21.     static int d;
22.
23.     static int[] A = new int[N];
24.     static int[] B = new int[N];
25.     static int[] E = new int[N];
26.     static int[] Q = new int[N];
27.
28.     static int[][] MM = new int[N][N];
29.     static int[][] MO = new int[N][N];
```

```
30.     static int[][] MR = new int[N][N];
31.
32.     public static void main(String[] args) {
33.         System.out.println("\nLab2 started!");
34.
35.         InputMonitor inputMonitor = new InputMonitor();
36.         CalculationMonitor calcMonitor = new CalculationMonitor();
37.         OutputMonitor outputMonitor = new OutputMonitor();
38.
39.         T1 T1 = new T1(inputMonitor, calcMonitor, outputMonitor);
40.         T2 T2 = new T2(inputMonitor, calcMonitor, outputMonitor);
41.         T3 T3 = new T3(inputMonitor, calcMonitor, outputMonitor);
42.         T4 T4 = new T4(inputMonitor, calcMonitor, outputMonitor);
43.
44.         T1.start();
45.         T2.start();
46.         T3.start();
47.         T4.start();
48.
49.         try {
50.             T1.join();
51.             T2.join();
52.             T3.join();
53.             T4.join();
54.         } catch (InterruptedException e) {
55.             e.printStackTrace();
56.         }
57.
58.         System.out.println("\nLab2 finished!");
59.     }
60. }
```

T1.java

```
1. import java.util.Arrays;
2.
3. public class T1 extends Thread {
4.     private InputMonitor inputMonitor;
5.     private CalculationMonitor calcMonitor;
6.     private OutputMonitor outputMonitor;
7.
8.     T1(InputMonitor inputMonitor, CalculationMonitor calcMonitor,
OutputMonitor outputMonitor) {
9.         this.inputMonitor = inputMonitor;
10.         this.calcMonitor = calcMonitor;
11.         this.outputMonitor = outputMonitor;
12.     }
13.
14.     @Override
15.     public void run(){
16.         int m1Res;
17.         int start = 0, end = Main.H;
18.
19.         // Початок роботи потоку T1
```

```
20.         System.out.println("\nT1 started");
21.
22.         // Повідомлення про початок введення даних
23.         System.out.println("T1 inputs data\n");
24.
25.         // 1 - Введення вектора Q
26.         Calculations.inputVector(Main.Q, 1);
27.
28.         // 1 - Введення матриці MR
29.         Calculations.inputMatrix(Main.MR, 1);
30.
31.         // Повідомлення про завершення введення даних
32.         System.out.println("T1 finished data input\n");
33.
34.         // 2 - Сигнал T2, T3, T4 про завершення введення даних
35.         inputMonitor.InputSignal();
36.
37.         // 3 - Очікування завершення введення даних у інших потоках
38.         inputMonitor.WaitForInput();
39.
40.         // Повідомлення про початок копіювання даних у потоці T1
41.         System.out.println("T1 started copying B, d, MO\n");
42.
43.         // 4 - Копія B1 = B
44.         int[] B1 = calcMonitor.copyB();
45.
46.         // 5 - Копія d1 = d
47.         int d1 = calcMonitor.copyD();
48.
49.         // 6 - Копія MO1 = MO
50.         int[][] MO1 = calcMonitor.copyMO();
51.
52.         // Повідомлення про закінчення копіювання даних у потоці T1
53.         System.out.println("T1 finished copying B, d, MO\n");
54.
55.         // Повідомлення про початок обчислення мінімуму та вектор-
матричного добутку
56.         System.out.println("T1 started 'm' and 'Ан' calculation\n");
57.
58.         // 7 - Обчислення m1 = min(Bн);
59.         int id = 0;
60.         m1Res = Calculations.vectorMin(Main.B, id); // обчислення мінімуму
в 1 частині вектора B
61.
62.         // 8 - Обчислення m = min(m,m1);
63.         Main.m = calcMonitor.calcM(m1Res, Main.m); // обчислення мінімуму
серед мінімуму
64.
65.         // 9 - Сигнал потокам T2, T3, T4 про закінчення обчислення m
66.         calcMonitor.SignalCalcM();
67.
68.         // 10 - Очікування сигналів від потоків T2, T3, T4 про закінчення
обчислення m
69.         calcMonitor.WaitForCalcM();
```

```
70.
71.         // 11 - Обчислення Ан = (B1 * MRн)
72.         for (int i = 0; i < Main.N; i++) {
73.             for (int j = start; j < end; j++) {
74.                 Main.A[j] += B1[j] * Main.MR[i][j];
75.             }
76.         }
77.
78.         // 12 - Сигнал потокам T2, T3, T4 про закінчення обчислення Ан
79.         calcMonitor.SignalCalcA();
80.
81.         // 13 - Очікування сигналів від потоків T2, T3, T4 про закінчення
обчислення Ан
82.         calcMonitor.WaitForCalcA();
83.
84.         // Повідомлення про закінчення обчислення мінімуму та вектор-
матричного добутку у потоці T1
85.         System.out.println("T1 finished 'm' and 'Ан' calculation\n");
86.
87.         // Повідомлення про початок копіювання даних у потоці T1
88.         System.out.println("T1 started copying m, A\n");
89.
90.         // 14 - Копія m1 = m
91.         int m1 = calcMonitor.copyM(Main.m);
92.
93.         // 15 - Копія A1 = A
94.         int[] A1 = calcMonitor.copyA();
95.
96.         // Повідомлення про закінчення копіювання даних у потоці T1
97.         System.out.println("T1 finished copying m, A\n");
98.
99.         // Повідомлення про початок обчислення E у потоці T1
100.         System.out.println("T1 started calculation E\n");
101.
102.         // 16 - Обчислення Ен = A1 *(MMн * MO1) + m1 * Qн * d1
103.         int[][] tempM = new int[Main.N][Main.N];
104.         for (int j = start; j < end; j++){
105.             for (int i = 0; i < Main.N; i++){
106.                 tempM[i][j] = 0;
107.                 for (int k = 0; k < Main.N; k++){
108.                     tempM[i][j] += MO1[i][k] * Main.MM[j][k];
109.                 }
110.             }
111.         }
112.
113.         for (int i = start; i < end; i++) {
114.             int temp = 0;
115.             for (int j = 0; j < Main.N; j++) {
116.                 temp += A1[i] * tempM[j][i];
117.             }
118.             Main.E[i] = temp + m1 * Main.Q[i] * d1;
119.         }
120.
121.         // Повідомлення про закінчення обчислення E у потоці T1
```

```
122.         System.out.println("T1 finished calculation E\n");
123.
124.         // 17 - Чекати на завершення обчислень E в T2, T3, T4
125.         outputMonitor.WaitForSignal();
126.
127.         // 18 - Виведення E
128.         if (Main.N <= 15){
129.             System.out.print("E = [ ");
130.             Calculations.outputVector(Main.E);
131.             System.out.println("]");
132.         }
133.         // Закінчення роботи потоку T1
134.         System.out.println("\nT1 finished");
135.     }
136. }
```

T2.java

```
1. public class T2 extends Thread {
2.     private InputMonitor inputMonitor;
3.     private CalculationMonitor calcMonitor;
4.     private OutputMonitor outputMonitor;
5.
6.     T2(InputMonitor inputMonitor, CalculationMonitor calcMonitor,
OutputMonitor outputMonitor) {
7.         this.inputMonitor = inputMonitor;
8.         this.calcMonitor = calcMonitor;
9.         this.outputMonitor = outputMonitor;
10.     }
11.
12.     @Override
13.     public void run(){
14.         int m2Res;
15.         int start = Main.H, end = Main.H * 2;
16.
17.         // Початок роботи потоку T2
18.         System.out.println("\nT2 started");
19.
20.         // Повідомлення про початок введення даних
21.         System.out.println("T2 inputs data\n");
22.
23.         // 1 - Введення вектора B
24.         Calculations.inputVector(Main.B, 1);
25.
26.         // 1 - Введення матриці MM
27.         Calculations.inputMatrix(Main.MM, 1);
28.
29.         // Повідомлення про завершення введення даних
30.         System.out.println("T2 finished data input\n");
31.
32.         // 2 - Сигнал T1, T3, T4 про завершення введення даних
33.         inputMonitor.InputSignal();
34.
35.         // 3 - Очікування завершення введення даних у інших потоках
36.         inputMonitor.WaitForInput();
```

```
37.
38.         // Повідомлення про початок копіювання даних у потоці T2
39.         System.out.println("T2 started copying B, d, MO\n");
40.
41.         // 4 - Копія B2 = B
42.         int[] B2 = calcMonitor.copyB();
43.
44.         // 5 - Копія d2 = d
45.         int d2 = calcMonitor.copyD();
46.
47.         // 6 - Копія MO2 = MO
48.         int[][] MO2 = calcMonitor.copyMO();
49.
50.         // Повідомлення про закінчення копіювання даних у потоці T2
51.         System.out.println("T2 finished copying B, d, MO\n");
52.
53.         // Повідомлення про початок обчислення мінімуму та вектор-
матричного добутку
54.         System.out.println("T2 started 'm' and 'Ан' calculation\n");
55.
56.         // 7 - Обчислення m2 = min(Bн);
57.         int id = 1;
58.         m2Res = Calculations.vectorMin(Main.B, id); // обчислення мінімуму
в 2 частині вектора B
59.
60.         // 8 - Обчислення m = min(m,m2);
61.         Main.m = calcMonitor.calcM(m2Res, Main.m); // обчислення мінімуму
серед мінімуму
62.
63.         // 9 - Сигнал потокам T1, T3, T4 про закінчення обчислення m
64.         calcMonitor.SignalCalcM();
65.
66.         // 10 - Очікування сигналів від потоків T1, T3, T4 про закінчення
обчислення m
67.         calcMonitor.WaitForCalcM();
68.
69.         // 11 - Обчислення Ан = (B2 * MRн)
70.         for (int i = 0; i < Main.N; i++) {
71.             for (int j = start; j < end; j++) {
72.                 Main.A[j] += B2[j] * Main.MR[i][j];
73.             }
74.         }
75.
76.         // 12 - Сигнал потокам T1, T3, T4 про закінчення обчислення Ан
77.         calcMonitor.SignalCalcA();
78.
79.         // 13 - Очікування сигналів від потоків T1, T3, T4 про закінчення
обчислення Ан
80.         calcMonitor.WaitForCalcA();
81.
82.         // Повідомлення про закінчення обчислення мінімуму та вектор-
матричного добутку у потоці T2
83.         System.out.println("T2 finished 'm' and 'Ан' calculation\n");
84.
```

```
85.         // Повідомлення про початок копіювання даних у потоці T2
86.         System.out.println("T2 started copying m, A\n");
87.
88.         // 14 - Копія m2 = m
89.         int m2 = calcMonitor.copyM(Main.m);
90.
91.         // 15 - Копія A2 = A
92.         int[] A2 = calcMonitor.copyA();
93.
94.         // Повідомлення про закінчення копіювання даних у потоці T2
95.         System.out.println("T2 finished copying m, A\n");
96.
97.         // Повідомлення про початок обчислення E у потоці T2
98.         System.out.println("T2 started calculation E\n");
99.
100.         // 16 - Обчислення Ен = A2 *(MMн * MO2) + m2 * Qн * d2
101.         int[][] tempM = new int[Main.N][Main.N];
102.         for (int j = start; j < end; j++){
103.             for (int i = 0; i < Main.N; i++){
104.                 tempM[i][j] = 0;
105.                 for (int k = 0; k < Main.N; k++){
106.                     tempM[i][j] += MO2[i][k] * Main.MM[j][k];
107.                 }
108.             }
109.         }
110.
111.         for (int i = start; i < end; i++) {
112.             int temp = 0;
113.             for (int j = 0; j < Main.N; j++) {
114.                 temp += A2[i] * tempM[j][i];
115.             }
116.             Main.E[i] = temp + m2 * Main.Q[i] * d2;
117.         }
118.
119.         // Повідомлення про закінчення обчислення E у потоці T2
120.         System.out.println("T2 finished calculation E\n");
121.
122.         // 17 - Сигнал T1, T3, T4 про завершення обчислення E
123.         outputMonitor.Signal();
124.
125.         // Повідомлення про відправлення сигналу потокам T1, T3, T4 про
закінчення обчислення E
126.         System.out.println("T2 sent signal to T1, T3, T4 about calculation
E\n");
127.
128.         // Закінчення роботи потоку T2
129.         System.out.println("T2 finished\n");
130.     }
131. }
```

T3.java

```
1. public class T3 extends Thread {
2.     private InputMonitor inputMonitor;
3.     private CalculationMonitor calcMonitor;
4.     private OutputMonitor outputMonitor;
5.
6.     T3(InputMonitor inputMonitor, CalculationMonitor calcMonitor,
OutputMonitor outputMonitor) {
7.         this.inputMonitor = inputMonitor;
8.         this.calcMonitor = calcMonitor;
9.         this.outputMonitor = outputMonitor;
10.     }
11.
12.     @Override
13.     public void run(){
14.         int m3Res;
15.         int start = Main.H * 2, end = Main.H * 3;
16.
17.         // Початок роботи потоку T3
18.         System.out.println("\nT3 started");
19.
20.         // Повідомлення про початок введення даних
21.         System.out.println("T3 inputs data\n");
22.
23.         // 1 - Введення числа d
24.         Main.d = 1;
25.
26.         // 1 - Введення матриці MO
27.         Calculations.inputMatrix(Main.MO, 1);
28.
29.         // Повідомлення про завершення введення даних
30.         System.out.println("T3 finished data input\n");
31.
32.         // 2 - Сигнал T1, T2, T4 про завершення введення даних
33.         inputMonitor.InputSignal();
34.
35.         // 3 - Очікування завершення введення даних у інших потоках
36.         inputMonitor.WaitForInput();
37.
38.         // Повідомлення про початок копіювання даних у потоці T3
39.         System.out.println("T3 started copying B, d, MO\n");
40.
41.         // 4 - Копія B3 = B
42.         int[] B3 = calcMonitor.copyB();
43.
44.         // 5 - Копія d3 = d
45.         int d3 = calcMonitor.copyD();
46.
47.         // 6 - Копія MO3 = MO
48.         int[][] MO3 = calcMonitor.copyMO();
49.
50.         // Повідомлення про закінчення копіювання даних у потоці T3
51.         System.out.println("T3 finished copying B, d, MO\n");
52.
```

```
53.         // Повідомлення про початок обчислення мінімуму та вектор-
матричного добутку
54.         System.out.println("T3 started 'm' and 'Ан' calculation\n");
55.
56.         // 7 - Обчислення m3 = min(Вн);
57.         int id = 2;
58.         m3Res = Calculations.vectorMin(Main.B, id); // обчислення мінімуму
в 3 частині вектора B
59.
60.         // 8 - Обчислення m = min(m,m3);
61.         Main.m = calcMonitor.calcM(m3Res, Main.m); // обчислення мінімуму
серед мінімуму
62.
63.         // 9 - Сигнал потокам T1, T2, T4 про закінчення обчислення m
64.         calcMonitor.SignalCalcM();
65.
66.         // 10 - Очікування сигналів від потоків T1, T2, T4 про закінчення
обчислення m
67.         calcMonitor.WaitForCalcM();
68.
69.         // 11 - Обчислення Ан = (B3 * MRн)
70.         for (int i = 0; i < Main.N; i++) {
71.             for (int j = start; j < end; j++) {
72.                 Main.A[j] += B3[j] * Main.MR[i][j];
73.             }
74.         }
75.
76.         // 12 - Сигнал потокам T1, T2, T4 про закінчення обчислення Ан
77.         calcMonitor.SignalCalcA();
78.
79.         // 13 - Очікування сигналів від потоків T1, T2, T4 про закінчення
обчислення Ан
80.         calcMonitor.WaitForCalcA();
81.
82.         // Повідомлення про закінчення обчислення мінімуму та вектор-
матричного добутку у потоці T3
83.         System.out.println("T3 finished 'm' and 'Ан' calculation\n");
84.
85.         // Повідомлення про початок копіювання даних у потоці T3
86.         System.out.println("T3 started copying m, A\n");
87.
88.         // 14 - Копія m3 = m
89.         int m3 = calcMonitor.copyM(Main.m);
90.
91.         // 15 - Копія A3 = A
92.         int[] A3 = calcMonitor.copyA();
93.
94.         // Повідомлення про закінчення копіювання даних у потоці T3
95.         System.out.println("T3 finished copying m, A\n");
96.
97.         // Повідомлення про початок обчислення E у потоці T3
98.         System.out.println("T3 started calculation E\n");
99.
100.         // 16 - Обчислення Ен = A3 *(MMн * MO3) + m3 * Qн * d3
```

```
101.         int[][] tempM = new int[Main.N][Main.N];
102.         for (int j = start; j < end; j++){
103.             for (int i = 0; i < Main.N; i++){
104.                 tempM[i][j] = 0;
105.                 for (int k = 0; k < Main.N; k++){
106.                     tempM[i][j] += MO3[i][k] * Main.MM[j][k];
107.                 }
108.             }
109.         }
110.
111.         for (int i = start; i < end; i++) {
112.             int temp = 0;
113.             for (int j = 0; j < Main.N; j++) {
114.                 temp += A3[i] * tempM[j][i];
115.             }
116.             Main.E[i] = temp + m3 * Main.Q[i] * d3;
117.         }
118.
119.         // Повідомлення про закінчення обчислення E у потоці T1
120.         System.out.println("T3 finished calculation E\n");
121.
122.         // 17 - Сигнал T1, T2, T4 про завершення обчислення E
123.         outputMonitor.Signal();
124.
125.         // Повідомлення про відправлення сигналу потокам T1, T2, T4 про
закінчення обчислення E
126.         System.out.println("T3 sent signal to T1, T2, T4 about calculation
E\n");
127.
128.         // Закінчення роботи потоку T3
129.         System.out.println("T3 finished\n");
130.     }
131. }
```

T4.java

```
1. public class T4 extends Thread {
2.     private InputMonitor inputMonitor;
3.     private CalculationMonitor calcMonitor;
4.     private OutputMonitor outputMonitor;
5.
6.     T4(InputMonitor inputMonitor, CalculationMonitor calcMonitor,
OutputMonitor outputMonitor) {
7.         this.inputMonitor = inputMonitor;
8.         this.calcMonitor = calcMonitor;
9.         this.outputMonitor = outputMonitor;
10.     }
11.
12.     @Override
13.     public void run(){
14.         int m4Res;
15.         int start = Main.H * 3, end = Main.N;
16.
17.         // Початок роботи потоку T4
```

```
18.         System.out.println("\nT4 started");
19.
20.         // Повідомлення про очікування завершення вводу даних у потоках T1,
T2, T3
21.         System.out.println("T4 waits data input from T1, T2, T3\n");
22.
23.         // 1 - Очікування сигналу від T1, T2, T3 про завершення введення
даних
24.         inputMonitor.WaitForInput();
25.
26.         // Повідомлення про початок копіювання даних у потоці T4
27.         System.out.println("T4 started copying B, d, MO\n");
28.
29.         // 2 - Копія B4 = B
30.         int[] B4 = calcMonitor.copyB();
31.
32.         // 3 - Копія d4 = d
33.         int d4 = calcMonitor.copyD();
34.
35.         // 4 - Копія MO4 = MO
36.         int[][] MO4 = calcMonitor.copyMO();
37.
38.         // Повідомлення про закінчення копіювання даних у потоці T4
39.         System.out.println("T4 finished copying B, d, MO\n");
40.
41.         // Повідомлення про початок обчислення мінімуму та вектор-
матричного добутку
42.         System.out.println("T4 started 'm' and 'Ан' calculation\n");
43.
44.         // 5 - Обчислення m4 = min(Bн);
45.         int id = 3;
46.         m4Res = Calculations.vectorMin(Main.B, id); // обчислення мінімуму
в 4 частині вектора B
47.
48.         // 6 - Обчислення m = min(m,m4);
49.         Main.m = calcMonitor.calcM(m4Res, Main.m); // обчислення мінімуму
серед мінімуму
50.
51.         // 7 - Сигнал потокам T1, T2, T3 про закінчення обчислення m
52.         calcMonitor.SignalCalcM();
53.
54.         // 8 - Очікування сигналів від потоків T1, T2, T3 про закінчення
обчислення m
55.         calcMonitor.WaitForCalcM();
56.
57.         // 9 - Обчислення Ан = (B4 * MRн)
58.         for (int i = 0; i < Main.N; i++) {
59.             for (int j = start; j < end; j++) {
60.                 Main.A[j] += B4[j] * Main.MR[i][j];
61.             }
62.         }
63.
64.         // 10 - Сигнал потокам T1, T2, T3 про закінчення обчислення Ан
65.         calcMonitor.SignalCalcA();
```

```
66.
67.         // 11 - Очікування сигналів від потоків T1, T2, T3 про закінчення
обчислення Ан
68.         calcMonitor.WaitForCalcA();
69.
70.         // Повідомлення про закінчення обчислення мінімуму та вектор-
матричного добутку у потоці T4
71.         System.out.println("T4 finished 'm' and 'Ан calculation\n");
72.
73.         // Повідомлення про початок копіювання даних у потоці T4
74.         System.out.println("T4 started copying m, A\n");
75.
76.         // 12 - Копія m4 = m
77.         int m4 = calcMonitor.copyM(Main.m);
78.
79.         // 13 - Копія A4 = A
80.         int[] A4 = calcMonitor.copyA();
81.
82.         // Повідомлення про закінчення копіювання даних у потоці T4
83.         System.out.println("T4 finished copying m, A\n");
84.
85.         // Повідомлення про початок обчислення E у потоці T4
86.         System.out.println("T4 started calculation E\n");
87.
88.         // 14 - Обчислення Ен = A4 *(MMн * MO4) + m4 * Qн * d4
89.         int[][] tempM = new int[Main.N][Main.N];
90.         for (int j = start; j < end; j++){
91.             for (int i = 0; i < Main.N; i++){
92.                 tempM[i][j] = 0;
93.                 for (int k = 0; k < Main.N; k++){
94.                     tempM[i][j] += MO4[i][k] * Main.MM[j][k];
95.                 }
96.             }
97.         }
98.
99.         for (int i = start; i < end; i++) {
100.             int temp = 0;
101.             for (int j = 0; j < Main.N; j++) {
102.                 temp += A4[i] * tempM[j][i];
103.             }
104.             Main.E[i] = temp + m4 * Main.Q[i] * d4;
105.         }
106.
107.         // Повідомлення про закінчення обчислення E у потоці T1
108.         System.out.println("T1 finished calculation E\n");
109.
110.         // 15 - Сигнал T1, T2, T4 про завершення обчислення E
111.         outputMonitor.Signal();
112.
113.         // Повідомлення про відправлення сигналу потокам T1, T2, T3 про
закінчення обчислення E
114.         System.out.println("T4 sent signal to T1, T2, T3 about calculation
E\n");
115.
```

```
116.         // Закінчення роботи потоку T4
117.         System.out.println("T4 finished\n");
118.     }
119. }
```

InputMonitor.java

```
1. class InputMonitor {
2.     private static int F = 0;
3.
4.     synchronized void InputSignal() {
5.         F++;
6.         if (F >= 3) notifyAll();
7.     }
8.
9.     synchronized void WaitForInput() {
10.         try {
11.             if (F < 2) wait();
12.         } catch(Exception e){
13.             e.printStackTrace();
14.         }
15.     }
16. }
```

OutputMonitor.java

```
1. class OutputMonitor {
2.     private static int F = 0;
3.
4.     synchronized void Signal() {
5.         F++;
6.         if (F >= 3) notifyAll();
7.     }
8.
9.     synchronized void WaitForSignal() {
10.         try {
11.             if (F < 3) wait();
12.         } catch(Exception e){
13.             e.printStackTrace();
14.         }
15.     }
16. }
```

CalculationMonitor.java

```
1. class CalculationMonitor {
2.     private static int F = 0;
3.     private static int F1 = 0;
4.     private int d = Main.d;
5.     private int[] A = Main.A;
6.     private int[] B = Main.B;
7.     private int[][] MO = Main.MO;
8.
9.     synchronized int copyM(int x) {
```

```
10.         return x;
11.     }
12.
13.     synchronized int calcM(int val1, int val2) { return val1 < val2 ? val1
: val2; }
14.
15.     synchronized int[] copyA() {
16.         return this.A;
17.     }
18.
19.     synchronized int copyD() { return this.d; }
20.
21.     synchronized int[] copyB() { return this.B; }
22.
23.     synchronized int[][] copyMO() { return this.MO; }
24.
25.     synchronized void SignalCalcM() {
26.         F++;
27.         if (F >= 4) notifyAll();
28.     }
29.
30.     synchronized void SignalCalcA() {
31.         F1++;
32.         if (F1 >= 4) notifyAll();
33.     }
34.
35.     synchronized void WaitForCalcM() {
36.         try {
37.             if (F < 4) wait();
38.         } catch(Exception e){
39.             e.printStackTrace();
40.         }
41.     }
42.     synchronized void WaitForCalcA() {
43.         try {
44.             if (F1 < 4) wait();
45.         } catch(Exception e){
46.             e.printStackTrace();
47.         }
48.     }
49. }
```

Data.java

```
1. class Calculations {
2.     private static int H = Main.H;
3.
4.     public static void inputVector(int[] Vect, int val){
5.         for (int i = 0; i < Vect.length; i++){
6.             Vect[i] = val;
7.         }
8.     }
9.
```

```
10.     public static void inputMatrix(int[][] Matr, int val){
11.         for (int i = 0; i < Matr.length; i++)
12.             for (int j = 0; j < Matr[i].length; j++)
13.                 Matr[i][j] = val;
14.     }
15.
16.     public static void outputVector(int[] Vect){
17.         for (int aVect : Vect) {
18.             System.out.print(aVect + " ");
19.         }
20.     }
21.     public static int vectorMin(int[] vector, int id)
22.     {
23.         int min = vector[H * id];
24.         for (int i = H * id; i < H * (id + 1); i++) {
25.             if (vector[i] < min)
26.                 min = vector[i];
27.         }
28.         return min;
29.     }
30. }
```