Зміст

ВСТУП

У курсовій роботі потрібно розробити програмний додаток для представлення растрової моделі зображення векторною моделлю.

У роботі розглядаються основні принципи побудови графічного інтерфейсу користувача, основні елементи інтерфейсу, організація обробки подій, система відлову помилок і організація багатопоточності. Також

Розробка модулю виконується на мові програмування Java. Робота містить повну документацію, а також програмний код проекту та UML діаграму класів.

1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1 Загальне завдання

Необхідно розробити програмний додаток для побудови векторної моделі зображення та її редагування.

1.2 Вимоги до функціональності

Програма має містити наступну функціональність:

- можливість отримати на вхід растрове зображення і представити його векторною моделлю;
- згладжування контурів зображення;
- пошук контурних ланцюгів;
- можливість збереження результату у вигляді файлу формату JPEG або PNG.

1.3 Вимоги до реалізації

- мова програмування Java;
- інтерфейс користувача має забезпечувати доступ до всієї функціональності програми;
- проект має бути повністю задокументований за допомогою JavaDoc;
- проект має повністю відповідати правилам CheckStyle;

2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ

2.1 Векторна графіка

Растрова графіка подає зображення як набір пікселів. Піксель є неподільним об’єктом квадратної форми що має певний колір. Векторна ж графіка подає зображення, яке складається з сукупності таких геометричних примітивів, як точки, лінії, полігони.

Перевага векторної графіки перед растрової в тому, що векторне зображення легко модифікується, масштабується і зсувається. Це досягається простим перерахунком координат складових його точок. При цьому зрушувати і масштабувати можна окремі честі векторного зображення, жодним чином не зачіпаючи інші його частини.

При цьому якість векторного зображення не залежить від масштабу, у той час як зміна масштабу растрового зображення завжди пов'язане з втратою якості.

2.2 Побудова векторної моделі

Задача векторизації полягає у представлення пікселів графічними примітивами. Для реалізації цієї задачі було створено клас Point.java який описує один кут пікселя і місить вказівники на сусідні пікселі зліва, зверху, справа, знизу. Таким чином можна побудувати з таких точок геометричний примітив – полігон. Цю задачу реалізує клас ConvexHull.java який містить список точок, а також може містити різну атрибутику для полігону(наприклад площу, периметр, випуклість і т.д.). Щоб описати один піксель векторною моделлю використовується клас VectorPixel.java. Цей клас є предком класа ConvexHull.java і додатково містить інформацію про колір пікселя. Отже ми маємо модель растрового пікселя у векторній формі, який являє собою сукупність чотирьох точок Point і кольору. Маючи матрицю кольорів ми можемо отримати все зображення у векторній формі яке складається з цих самих векторних пікселів. Це реалізовано в класі Reticle.java.

2.3 UML діаграма класів

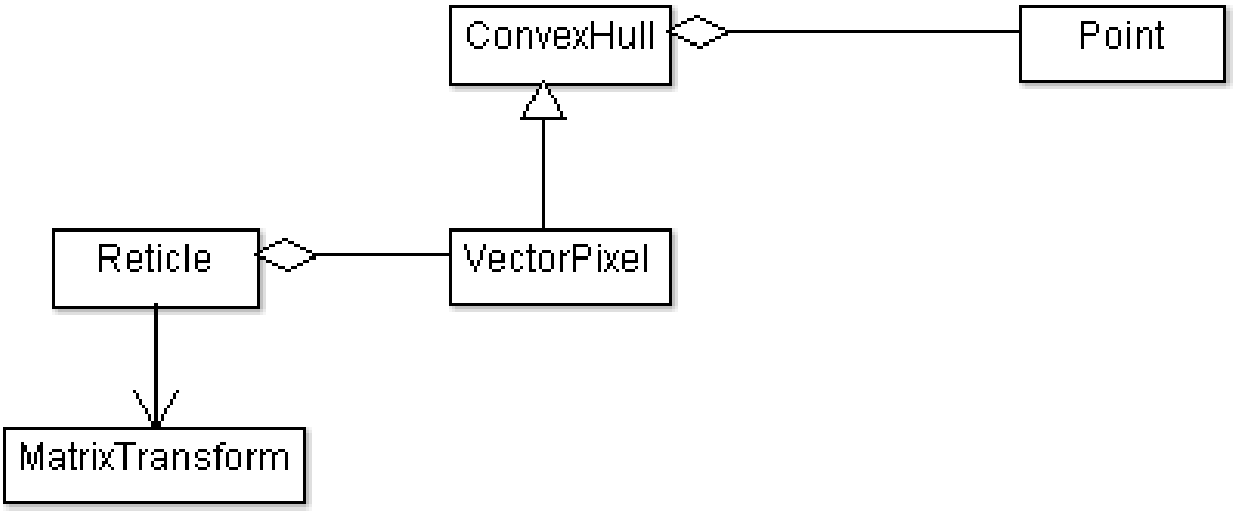


Рисунок 2.1 UML діаграма класів.

2.4 Проектування алгоритмів

Для згладжування контурів будемо деформувати решітку таким чином щоб змістити точку в центр мас системи.

Щоб знайти центра мас полігона ми будемо знаходити центр мас для системи трикутників, попередньо отримавши ці трикутники, розбивши наш полігон за допомогою тріангуляції.

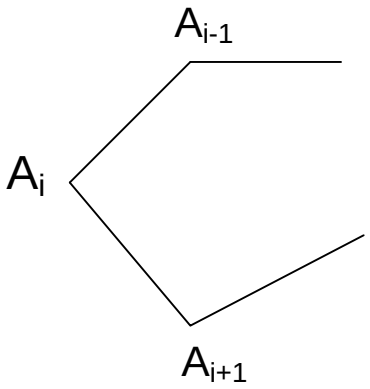
Тріангуляція – це розбиття полігона на трикутники. Вона використовується для зведення розв’язання певних задач в області, що має складну конфігурацію, до сукупності задач, які розв’язуються в області трикутника – простої геометричної фігури. Для того, щоб виконати тріангуляцію довільного полігона використовується наступний алгоритм.

Опис алгоритму тріангуляції.

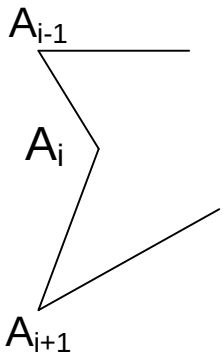
1) Проходимо контур по всім точкам і вибираємо трикутники із трьох сусідніх точок. Нехай це будуть точки A_{i-1}, A_i, A_{i+1}, тоді точки A_{i-1}, A_{i+1} з’єднуємо хордою. Таким чином можна отримати N різних трикутників для контуру що складається з N точок.

2) Для кожного трикутника перевіряємо, чи є ця частина контуру опуклою.

Приклад опуклої частини контуру.



Приклад не опуклої частини контуру.



2)

Якщо хорда $A_{i-1}A_{i+1}$ проходить не всередині контуру то такий трикутник не проходить перевірку і більше не розглядається.

3) З усіх трикутників отриманих при проході вибираємо той, у якого відношення площі до периметру є найбільшим (це дозволяє вибрати трикутник найбільш наближений до рівностороннього). Заносимо цей трикутник до списку.

4) Видаляємо з контуру A_i - точку трикутника, який ми вибрали як "найкращий".

5) Повторюємо попередні пункти до тих пір поки в контурі не залишиться три точки.

6) З'єднавши ці три точки отримуємо останній трикутник і заносимо його до списку.

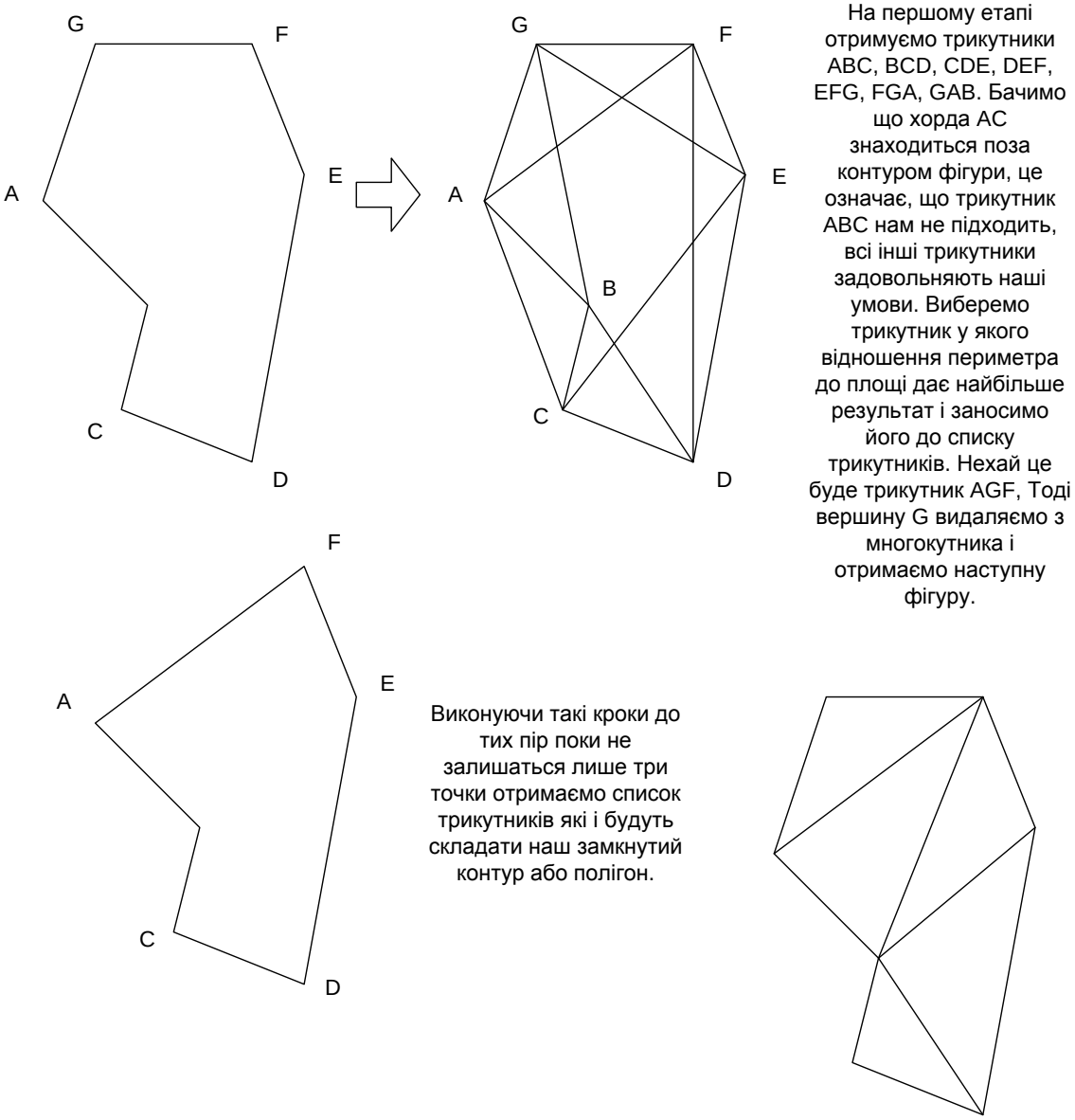


Рисунок 2.1 Приклад роботи алгоритму тріангуляції.

Тепер маючи функціонал для розбиття полігону(в нашому випадку пікселя) ми можемо знайти центр мас системи.

3 РОЗРОБКА РЕДАКТОРА ВЕКТОРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

3.2 Документація проекту

- Package com.lab111.picturetwister.vectorized

Class Summary	
Class	**Description**
ConvexHull	Клас описує "оболочку", яка складається з точок Point і може бути довільної форми.
MatrixTransform	Клас що описує матрицю перетоврень
Point	Клас описує точку - як кут пікселя.
Reticle	Клас описує сітку точок, зв'язаних між собою
VectorPixel	Клас, який описує векторний піксель, наслідується від класа ConvexHull

com.lab111.picturetwister.vectorized

Class Point

- java.lang.Object
  - com.lab111.picturetwister.vectorized.Point

```
public class Point
extends java.lang.Object
```

Клас описує точку - як кут пікселя.
Author:
Бедь Анатолій Михайлович

- **Field Summary**

Fields	
Modifier and Type	**Field and Description**
	neighboringPoints Мапа, яка зберігає "сусідів" даної точки, у вигляді ключ - точка, ключі: left - точка зліва right - точка српава top - точка зверху bottom - точка знизу
private java.util.HashMap<java.lang.String,Point>	
	x Координата X на сітці
private double	
	y Координата y на сітці
private double	

- **Constructor Summary**

Constructors	
Constructor and Description	
Point(double x, double y) Конструктор, який створює точку з координатами (x, y) на сітці	

- **Method Summary**

Methods	
Modifier and Type	**Method and Description**
protected java.lang.Object	**clone**()
Point	**getPointBottom**() Метод повертає точку яка є сусідньою знизу для даної точки

Point	**getPointLeft**() Метод повертає точку яка є сусідньою зліва для даної точки
Point	**getPointRight**() Метод повертає точку яка є сусідньою справа для даної точки
Point	**getPointTop**() Метод повертає точку яка є сусідньою зверху для даної точки
double	**getX**() Метод повертає координату x
double	**getY**()
boolean	**inRect**(Point vertex1, Point vertex2) Метод перевіряє, чи входить дана точка в прямокутник утворений двома точками, які зєднані діагоналлю цього прямокутника
void	**setPointBottom**(Point pointBottom) Метод встановлює точку яка є сусідньою знизу для даної точки
void	**setPointLeft**(Point pointLeft) Метод встановлює точку яка є сусідньою зліва для даної точки
void	**setPointRight**(Point pointRight) Метод встановлює точку яка є сусідньою справа для даної точки
void	**setPointTop**(Point pointTop) Метод встановлює точку яка є сусідньою зверху для даної точки
void	**setX**(double x)
void	**setY**(double y)

- **Methods inherited from class java.lang.Object**

  equals, finalize, getClass, hashCode, notify, notifyAll, wait, wait, wait

•

Field Detail

- **x**

  private double x

  Координата X на сітці

- **y**

  private double y

  Координата y на сітці

- **neighboringPoints**

  private java.util.HashMap<java.lang.String,Point> neighboringPoints

  Мапа, яка зберігає "сусідів" даної точки, у вигляді ключ - точка, ключі: left - точка зліва right - точка српава top - точка зверху bottom - точка знизу

Constructor Detail

- **Point**
- public Point(double x,
  double y)

  Конструктор, який створює точку з координатами (x, y) на сітці

  Parameters:

x - абсциса на сітці

y - ордината на сітці

Method Detail

- **getPointLeft**

`public Point getPointLeft()`
Метод повертає точку яка є сусідньою зліва для даної точки
Returns:
сусідню точку зліва

- **setPointLeft**

`public void setPointLeft(Point pointLeft)`
Метод встановлює точку яка є сусідньою зліва для даної точки
Parameters:
`pointLeft` - сусіднья зліва точка для даної точки

- **getPointRight**

`public Point getPointRight()`
Метод повертає точку яка є сусідньою справа для даної точки
Returns: сусідню точку справа

- **setPointRight**

`public void setPointRight(Point pointRight)`
Метод встановлює точку яка є сусідньою справа для даної точки
Parameters:
`pointLeft` - сусіднья справа точка для даної точки

- **getPointTop**

`public Point getPointTop()`
Метод повертає точку яка є сусідньою зверху для даної точки
Returns:
сусідню точку зверху

- **setPointTop**

`public void setPointTop(Point pointTop)`
Метод встановлює точку яка є сусідньою зверху для даної точки
Parameters:
`pointLeft` - сусіднья зверху точка для даної точки

- **getPointBottom**

`public Point getPointBottom()`
Метод повертає точку яка є сусідньою знизу для даної точки
Returns:
сусідню точку знизу

- **setPointBottom**

`public void setPointBottom(Point pointBottom)`
Метод встановлює точку яка є сусідньою знизу для даної точки
Parameters:
`pointLeft` - сусіднья знизу точка для даної точки

- **getX**

`public double getX()`
Метод повертає координату x
Returns:
координату x

- **getY**

`public double getY()`
Returns:
the y

- **toString**

`public java.lang.String toString()`
toString, що тут скажеш

Overrides:

`toString` in class `java.lang.Object`

- **clone**
- `protected java.lang.Object clone()`
  `throws java.lang.CloneNotSupportedException`

Overrides:

`clone` in class `java.lang.Object`

Throws:

`java.lang.CloneNotSupportedException`

- **setX**

`public void setX(double x)`

Parameters:

`x` - the x to set

- **setY**

`public void setY(double y)`

Parameters:

`y` - the y to set

- **inRect**
- `public boolean inRect(Point vertex1,`
  `Point vertex2)`

Метод перевіряє, чи входить дана точка в прямокутник утворений двома точками, які зєднані діагоналлю цього прямокутника

Parameters:

`vertex1` - перша точка

`vertex2` - друга точка

Returns:

true, якщо точка лежить всередині прямокутника і false, якщо не лежить

com.lab111.picturetwister.vectorized

Class ConvexHull

- java.lang.Object
  -
    - com.lab111.picturetwister.vectorized.ConvexHull
- Direct Known Subclasses:

VectorPixel

`public class ConvexHull`
`extends java.lang.Object`

Клас описує "оболочку", яка складається з точок Point і може бути довільної форми.

Author:

Бедь Анатолій Михайлович

-
  - ### Field Summary

Fields

Modifier and Type	Field and Description
`protected java.util.HashMap<java.lang.String,java.lang.Object>`	**attribute** Атрибути

peakPixel
protected java.util.ArrayList<Point>	Список кутів векторного пікселя

Constructor Summary

Constructors
Constructor and Description
ConvexHull(java.util.ArrayList<Point> points)
Конструктор
ConvexHull(Point... points)
Конструктор

Method Summary

Methods	
Modifier and Type	**Method and Description**
private static ConvexHull	**bestTriangle**(ConvexHull a, ConvexHull b)
double	**getArea**() Метод рахує площу оболочки
<T> T	**getAttribute**(java.lang.String key) Метод для отримання атрибутів оболочки
Point	**getCenterOfMass**() Метод повертає Point, шо є точкою центр мас.
java.util.ArrayList<Point>	**getPeakPixel**() Метод для отримання контуру оболочки
double	**getPerimeter**() Метод рахує периметер оболочки
private static ConvexHull	**getTriangle**(ConvexHull figure)
boolean	**isInnerPoint**(Point p) Метод перевіряє, чи знаходиться точка всередині оболочки, яка описується ConvexHull
static void	**main**(java.lang.String[] args)
void	**setAttribute**(java.lang.String key, java.lang.Object value) Метод для встановлення атрибутів оболочки
java.util.ArrayList<ConvexHull>	**split**() Метод для розбиття оболочки на трикутники.
java.lang.String	**toString**()
private static boolean	**triangleIsValid**(ConvexHull t, java.util.ArrayList<Point> contour)
private static boolean	**triangleIsValid**(ConvexHull t, ConvexHull f)

Methods inherited from class java.lang.Object

clone, equals, finalize, getClass, hashCode, notify, notifyAll, wait, wait, wait

Field Detail

peakPixel

protected java.util.ArrayList<Point> peakPixel

Список кутів векторного пікселя

- **attribute**

```
protected java.util.HashMap<java.lang.String,java.lang.Object>
attribute
```

Атрибути

Constructor Detail

- **ConvexHull**

```
public ConvexHull(java.util.ArrayList<Point> points)
```

Конструктор

Parameters:

`points` - список точок

- **ConvexHull**

```
public ConvexHull(Point... points)
```

Конструктор

Parameters:

`points` - перелік точок

Method Detail

- **getPeakPixel**

```
public java.util.ArrayList<Point> getPeakPixel()
```

Метод для отримання контуру оболочки

Returns:

список всіх вершин оболочки

- **getAttribute**

```
public <T> T getAttribute(java.lang.String key)
```

Метод для отримання атрибутів оболочки

Parameters:

`key` - ключ атрибута

`value` - значення атрибута

- **setAttribute**
-

```
public void setAttribute(java.lang.String key,
                         java.lang.Object value)
```

Метод для встановлення атрибутів оболочки

Parameters:

`key` - ключ атрибута

`value` - значення атрибута

- **getPerimeter**

```
public double getPerimeter()
```

Метод рахує периметер оболочки

Returns:

периметер оболочки

- **getArea**

```
public double getArea()
```

Метод рахує площу оболочки

Returns:

площу оболочки

- **isInnerPoint**

```
public boolean isInnerPoint(Point p)
```

Метод перевіряє, чи знаходиться точка всередині оболочки, яка описується ConvexHull

Parameters:

`p` - точка

Returns:

true, якщо p - внутрішня точка оболочки, або якщо вона лежить на контурі, false якщо точка лежить поза оболочкою.

- **triangleIsValid**
- `private static boolean triangleIsValid(ConvexHull t, java.util.ArrayList<Point> contour)`

- **triangleIsValid**
- `private static boolean triangleIsValid(ConvexHull t, ConvexHull f)`

- **bestTriangle**
- `private static ConvexHull bestTriangle(ConvexHull a, ConvexHull b)`

- **getTriangle**

`private static ConvexHull getTriangle(ConvexHull figure)`

- **split**

`public java.util.ArrayList<ConvexHull> split()`

Метод для розбиття оболочки на трикутники. Він базується на наступному алгоритмові.
1) Проходимо контур по всім точкам і вибераємо трикутники із трьох сісідніх точок. Нехай це будуть точки A(i-1), Ai, A(i+1), тоді точки A(i-1) і A(i+1) зєднуємо хордою. Таким чином можна отримати N різних трикутників для контуру що складається з N точок.
2) Кожен трикутник перевіряємо на правильність. Якщо хорда A(i-1)A(i+1) проходить не всередині контуру то такий трикутник не проходить перевірку на валідність.
3) Вибираємо той трикутник у якого відношення площі до периметру є найбільшим (це дозволяє вибрати трикутник найбільш наближений до рівностороннього) Заносимо цей трикутник до списку.
4) Видаляємо з контуру Ai - точку трикутника, який ми вибрали як "найкращий".
5) Повторюємо попередні пункти до тих пір поки в контурі не залишиться три точки.
6) З'єднавши ці три точки отримуємо останній трикутник і заносимо його до списку.

Returns:

список трикутників, або null якщо оболочка містить тільки дві точки

- **getCenterOfMass**

`public Point getCenterOfMass()`

Метод повертає Point, шо є точкою центр мас. Можливі чотири випадки:
1) ConvexHull містить тільки одну точку. В цьому випадку повертаємо її саму
2) ConvexHull містить дві точки. В цьому випадку повертаємо середину відрізка, що сполучає ці дві точки
3) ConvexHull містить три точки. В цьому випадку маємо трикутник, тому повертаємо точку перетину медіан, яка і буде точкою центер мас трикутника
4) ConvexHull містить більше трьох точок. В цьому випадку розбиваємо наш полігон на трикутники. Центер мас вираховується як середнє арифметичне центра мас всіх трикутників, з урахуванням вагових коефіцієнтів, якими в даному випадку є площі трикутників

Returns:

Point - точку центер мас

- **toString**

`public java.lang.String toString()`

Overrides:

`toString` in class `java.lang.Object`

- **main**

`public static void main(java.lang.String[] args)`

Class VectorPixel

- java.lang.Object
  -
    - com.lab111.picturetwister.vectorized.ConvexHull
      -
        - com.lab111.picturetwister.vectorized.VectorPixel

---

public class VectorPixel
extends ConvexHull

Клас, який описує векторний піксель, наслідується від класа ConvexHull

Author:

Бедь Анатолій Михайлович

Field Summary

Fields inherited from class com.lab111.picturetwister.vectorized.ConvexHull

attribute, peakPixel

Constructor Summary

Constructors

Constructor and Description
VectorPixel(java.util.ArrayList<Point> points)

Method Summary

Methods

Modifier and Type	Method and Description
int	**getColor**() Метод повертає колір векторного пікселя
Point	**getPoint**(int poz) Метод повертає точку з заданої позиції
double[]	**getWeightPixel**() Метод повертає добуток "ваги" пікселя на його центер мас
void	**setColor**(int color) Метод встановлює колір векторного пікселя
java.lang.String	**toString**()

Methods inherited from class com.lab111.picturetwister.vectorized.ConvexHull

getArea, getAttribute, getCenterOfMass, getPeakPixel, getPerimeter, isInnerPoint, main, setAttribute, split

Methods inherited from class java.lang.Object

clone, equals, finalize, getClass, hashCode, notify, notifyAll, wait, wait, wait

Constructor Detail

VectorPixel

public VectorPixel(java.util.ArrayList<Point> points)

Method Detail

- **setColor**

`public void setColor(int color)`

Метод встановлює колір векторного пікселя

Parameters:

`color` -

- **getColor**

`public int getColor()`

Метод повертає колір векторного пікселя

Returns:

- **getWeightPixel**

`public double[] getWeightPixel()`

Метод повертає добуток "ваги" пікселя на його центер мас

Returns:

- **getPoint**

`public Point getPoint(int poz)`

Метод повертає точку з заданої позиції

Parameters:

`poz` - позиція точки яку хочемо отримати

Returns:

точку в позиції poz

- **toString**

`public java.lang.String toString()`

Overrides:

`toString` in class `ConvexHull`

com.lab111.picturetwister.vectorized

Class Reticle

- java.lang.Object
  - com.lab111.picturetwister.vectorized.Reticle

`public class Reticle`
`extends java.lang.Object`

Клас описує сітку точок, зв'язаних між собою

Author:

Бедь Анатолій Михайлович

Field Summary

Fields	
Modifier and Type	**Field and Description**
`int[][]`	**`colorMatrix`**
`private int`	**`height`**
`private Point[][]`	**`points`**
`private MatrixTransform`	**`transform`**
`private VectorPixel[][]`	**`vectorPixels`**

private Function	**weightFunction**
private int	**width**

Constructor Summary

Constructors

Constructor and Description
Reticle(int[][] colorsRGB) Конструктор, який створює сітку

Method Summary

Methods

Modifier and Type	Method and Description
VectorPixel[][]	**cloneConvexHulls**() метод повертає копію ConvexHull[][]
Point[][]	**clonePoints**() метод повертає копію сітки точок
static VectorPixel[][]	**createConvexHullsSet**(int[][] intMatrix, Point[][] points) Метод повертає матрицю векторних пікселів
static Point[][]	**createPointSet**(int width, int height) Метод повертає сітку точок, в якій кожна точка знає про свої сусідні точки зверху, зліва, справа, знизу
void	**deformation**() Метод, який ламає сітку.
void	**deformation1**()
int[][]	**getColorMatrix**() метод повертає матрицю кольорів
java.util.ArrayList<VectorPixel>	**getConnectedPixels**(Point p) Мето для отримання пікселів до яких входить задана точка p
VectorPixel[][]	**getConvexHulls**()
int	**getHeight**()
Point[][]	**getPoints**() метод повертає сітку зв'язаних точок
double[][]	**getPointsXY**() метод повертає матрицю координат у вигляді Ax Cx .....
Function	**getWeightFunction**()
int	**getWidth**()
static void	**main**(java.lang.String[] args)
void	**rotate**(double angle) метод для здійснення повороту сітки на кут
void	**scale**(double mx, double my) метод для маштабування сітки
void	**setWeightFunction**(Function weightFunction)

void	**transfer**(double transferX, double transferY) метод, який дозволяє перемістити сітку

- **Methods inherited from class java.lang.Object**

  clone, equals, finalize, getClass, hashCode, notify, notifyAll, toString, wait, wait, wait

-
  - **Field Detail**
    - **points**

      private Point[][] points
    - **weightFunction**

      private Function weightFunction
    - **vectorPixels**

      private VectorPixel[][] vectorPixels
    - **transform**

      private MatrixTransform transform
    - **colorMatrix**

      public int[][] colorMatrix
    - **height**

      private int height
    - **width**

      private int width
  - **Constructor Detail**
    - **Reticle**

      public Reticle(int[][] colorsRGB)

      Конструктор, який створює сітку

      Parameters:

colorsRGB - - матриця кольорів
  - **Method Detail**
    - **createPointSet**
    - public static Point[][] createPointSet(int width, int height)

      Метод повертає сітку точок, в якій кожна точка знає про свої сусідні точки зверху, зліва, справа, знизу

      Parameters:

width - ширина зображення

height - висота зображення

Returns:

Points[][] - сітка точок
    - **createConvexHullsSet**
    - public static VectorPixel[][] createConvexHullsSet(int[][] intMatrix, Point[][] points)

      Метод повертає матрицю векторних пікселів

      Parameters:

intMatrix - матриця кольорів

points - сітка точок

Returns:
    - **scale**
    - public void scale(double mx, double my)

метод для маштабування сітки

Parameters:

`mx` - параметр збільшення по осі Ox

`my` - параметр збільшення по осі Oy

- **rotate**

`public void rotate(double angle)`

метод для здійснення повороту сітки на кут

Parameters:

`angle` - кут на який потрібно повернути сітку

- **transfer**
- `public void transfer(double transferX,`
  `double transferY)`

метод, який дозволяє перемістити сітку

Parameters:

`transferX` - відстань на яку треба перемістити сітку по координаті X

`transferY` - відстань на яку треба перемістити сітку по координаті Y

- **deformation**

`public void deformation()`

Метод, який ламає сітку.

- **deformation1**

`public void deformation1()`

- **getPoints**

`public Point[][] getPoints()`

метод повертає сітку зв'язаних точок

Returns:

points

- **getConvexHulls**

`public VectorPixel[][] getConvexHulls()`

Returns:

vectorPixels

- **getPointsXY**

`public double[][] getPointsXY()`

метод повертає матрицю координат у вигляді Ax Cx ..... Px Ay Cy ..... Py Bx Dx ..... Lx By Dy ..... Ly Mx Nx ..... Qx My Ny ..... Qy .... Rx Tx ..... Hx Ry Ty ..... Hy де точки A(Ax,Ay), B(Bx,By), D(Dx,Dy), C(Cx,Cy) є кутами пікселя (і так далі відповідно)

Returns:

- **cloneConvexHulls**

`public VectorPixel[][] cloneConvexHulls()`

метод повертає копію ConvexHull[][]

Returns:

- **clonePoints**

`public Point[][] clonePoints()`

метод повертає копію сітки точок

Returns:

- **getColorMatrix**

`public int[][] getColorMatrix()`

метод повертає матрицю кольорів

Returns:

colorMatrix

- **getHeight**

public int getHeight()

Returns:

the height

- **getWidth**

public int getWidth()

Returns:

the width

- **getWeightFunction**

public Function getWeightFunction()

- **setWeightFunction**

public void setWeightFunction(Function weightFunction)

- **getConnectedPixels**

public java.util.ArrayList<VectorPixel> getConnectedPixels(Point p)

Мето для отримання пікселів до яких входить задана точка p

Parameters:

p - точка

Returns:

com.lab111.picturetwister.vectorized

Class MatrixTransform

- java.lang.Object
  - com.lab111.picturetwister.vectorized.MatrixTransform

---

public class MatrixTransform
extends java.lang.Object

Клас що описує матрицю перетоврень

Author:

Бедь Анатолій Михайлович

Field Summary

Fields	
Modifier and Type	**Field and Description**
private double[][]	**matrix**
private Reticle	**reticle**

Constructor Summary

Constructors
Constructor and Description
MatrixTransform(Reticle reticle)

Method Summary

Methods	
Modifier and Type	**Method and Description**
Point[][]	**rotate**(double angle) Метод для повороту сітки
Point[][]	**scale**(double mx, double my)

	Метод для маштабування сітки побудованої з точок Point
void	**setRotate**(double angle) Метод для встановлення кута повороту сітки
void	**setScale**(double mx, double my) Метод для встановлення коефіцієнтів маштабування
void	**setTransfer**(double transferX, double transferY) Метод для встановлення значень переміщення сітки
Point[][]	**transfer**(double transferX, double transferY) Метод для переміщення сітки

- **Methods inherited from class java.lang.Object**

  clone, equals, finalize, getClass, hashCode, notify, notifyAll, toString, wait, wait, wait

-

Field Detail

matrix

private double[][] matrix

reticle

private Reticle reticle

Constructor Detail

MatrixTransform

public MatrixTransform(Reticle reticle)

Method Detail

scale

public Point[][] scale(double mx,
double my)

Метод для маштабування сітки побудованої з точок Point

Parameters:

mx - коефіцієнт маштабування по осі X

my - коефіцієнт маштабування по осі Y

Returns:

двовимірний масив точок промаштабованої Reticle

setScale

public void setScale(double mx,
double my)

Метод для встановлення коефіцієнтів маштабування

Parameters:

mx - коефіцієнт маштабування по осі X

my - коефіцієнт маштабування по осі Y

setRotate

public void setRotate(double angle)

Метод для встановлення кута повороту сітки

Parameters:

angle - кут повороту заданий в градусах.

rotate

public Point[][] rotate(double angle)

Метод для повороту сітки

Parameters:

angle - кут повороту заданий в градусах.

Returns:

двовимірний масив точок повернутої на кут angle Reticle

- **transfer**
- `public Point[][] transfer(double transferX, double transferY)`

Метод для переміщення сітки

Parameters:

`transferX` - відстань для переносу по осі X задана в пікселях

`transferY` - відстань для переносу по осі Y задана в пікселях

Returns:

двовимірний масив точок переміщеної Reticle

- **setTransfer**
- `public void setTransfer(double transferX, double transferY)`

Метод для встановлення значень переміщення сітки

Parameters:

`transferX` - відстань для переносу по осі X задана в пікселях

`transferY` - відстань для переносу по осі Y задана в пікселях

4 ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Було перевірено на скільки функціонал програми відповідає технічному завдання. Далі наведені скріншоти, які показують роботу додатку.

Рисунок 4.1 Вихідне зображення

Рисунок 4.2 Зображення після застосування згладжування контурів

Рисунок 4.3 Результат пошуку контурних ланцюгів

ВИСНОВКИ

Було розроблено програмний додаток для побудови векторної моделі зображення та її редагування. Реалізовано наступну функціональність: можливість отримати на вхід растрове зображення і представити його векторною моделлю; згладжування контурів; пошук контурних ланцюгів; реалізовано збереження результату роботи додатку у вигляді файла формату JPEG або PNG. Дану функціональність було реалізовано на мові програмування Java. Інтерфейс користувача забезпечує доступ до всієї функціональності програми. Проект повністю задокументований за допомогою JavaDoc.

Усі вимоги, описані в технічному завданні були виконані в повній мірі.

СПИСОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Герберт Шилдт SWING: руководство для начинающих – М.: “Вильямс”, 2007. – С. 704. – ISBN 0-07-226314-8.

2. Эккель Б. Философия Java / Эккель Брюс; Пер.с англ. Е.Матвеев.– 4-е изд.–СПб.: Питер, 2010. – 640с.: ил. – (Библиотека программиста). – Алф.указ.:с.631. – ISBN 978-5-388-00003-3.

3. Приемы объектно-ориентированого проектирования. Паттерны проектирования / Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. – СПб.: Питер, 2010 – 368 с.: ил. –ISBN 978-5-469-01136-1.

4. Хорстманн Кей С. Java 2. Том 1. Основы / Кей Хорстманн, Гари Корнелл; Пер с англ. – Изд. 8-е. – М.: ООО “И.ДВильямс”, 2011. – 816 с.: ил. – Парал. тит. англ. – (Библиотека профессионала). –ISBN 978-5-8459-1378-4 (рус.).

5. Е. А. Никулин. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики; Издательство: БХВ-Петербург Серия: Учебное пособие ISBN 5-94157-264-6; 2003 г.

ДОДАТОК А. ПРОГРАМНИЙ КОД ПРОЕКТУ

```java
package com.lab111.picturetwister.vectorized;

import java.util.HashMap;

import com.lab111.picturetwister.core.Inaccurate;
import com.lab111.picturetwister.core.Stat;

/**
 * Клас описує точку - як кут пікселя.
 *
 * @author Бедь Анатолій Михайлович
 *
 */
public class Point {
	/**
	 * Координата X на сітці
	 */
	private double x;
	/**
	 * Координата y на сітці
	 */
	private double y;
	/**
	 * Мапа, яка зберігає "сусідів" даної точки, у вигляді ключ - точка, ключі:
	 * left - точка зліва right - точка српава top - точка зверху bottom - точка
	 * знизу
	 */
	private HashMap<String, Point> neighboringPoints;

	/**
	 * Конструктор, який створює точку з координатами (x, y) на сітці
	 * @param x абсциса на сітці
	 * @param y ордината на сітці
	 */
	public Point(double x, double y) {
		this.x = x;
		this.y = y;
		neighboringPoints = new HashMap<String, Point>(4);
	}
	/**
	 * Метод повертає точку яка є сусідньою зліва для даної точки
	 * @return сусідню точку зліва
	 */
	public Point getPointLeft() {
		return neighboringPoints.get("left");
	}
	/**
	 * Метод встановлює точку яка є сусідньою зліва для даної точки
	 * @param pointLeft сусіднья зліва точка для даної точки
	 */
	public void setPointLeft(Point pointLeft) {
		neighboringPoints.put("left", pointLeft);
	}
	/**
	 * Метод повертає точку яка є сусідньою справа для даної точки
	 * @return сусідню точку справа
	 */
	public Point getPointRight() {
		return neighboringPoints.get("right");
	}
	/**
	 * Метод встановлює точку яка є сусідньою справа для даної точки
	 * @param pointLeft сусіднья справа точка для даної точки
	 */
	public void setPointRight(Point pointRight) {
		neighboringPoints.put("right", pointRight);
	}
	/**
	 * Метод повертає точку яка є сусідньою зверху для даної точки
	 * @return сусідню точку зверху
	 */
	public Point getPointTop() {
		return neighboringPoints.get("top");
	}
	/**
	 * Метод встановлює точку яка є сусідньою зверху для даної точки
	 * @param pointLeft сусіднья зверху точка для даної точки
	 */
	public void setPointTop(Point pointTop) {
		neighboringPoints.put("top", pointTop);
	}
	/**
	 * Метод повертає точку яка є сусідньою знизу для даної точки
	 * @return сусідню точку знизу
	 */
	public Point getPointBottom() {
```

```
                return neighboringPoints.get("bottom");
        }
        /**
         * Метод встановлює точку яка є сусідньою знизу для даної точки
         * @param pointLeft сусіднья знизу точка для даної точки
         */
        public void setPointBottom(Point pointBottom) {
                neighboringPoints.put("bottom", pointBottom);
        }
        /**
         * Метод повертає координату x
         * @return координату x
         */
        public double getX() {
                return x;
        }
        /**
         * @return the y
         */
        public double getY() {
                return y;
        }
        /**
         * toString, що тут скажеш
         */
        @Override
        public String toString() {
                return "( " + x + ", " + y + " )";
        }
        @Override
        protected Object clone() throws CloneNotSupportedException {
                Point point = new Point(this.x, this.y);
                point.setPointBottom(this.getPointBottom());
                point.setPointLeft(this.getPointLeft());
                point.setPointRight(this.getPointRight());
                point.setPointTop(this.getPointTop());
                return point;
        }

        /**
         * @param x
         *            the x to set
         */
        public void setX(double x) {
                this.x = x;
        }
        /**
         * @param y
         *            the y to set
         */
        public void setY(double y) {
                this.y = y;
        }
        /**
         * Метод перевіряє, чи входить дана точка в прямокутник утворений двома точками,
         * які зєднані діагоналлю цього прямокутника
         * @param vertex1 перша точка
         * @param vertex2 друга точка
         * @return true, якщо точка лежить всередині прямокутника і false, якщо не лежить
         */
        public boolean inRect(Point vertex1, Point vertex2) {
                if (vertex1 == null || vertex2 == null)
                        return false;
                double left = Stat.min(vertex1.getX(), vertex2.getX());
                double right = Stat.max(vertex1.getX(), vertex2.getX());
                double top = Stat.min(vertex1.getY(), vertex2.getY());
                double bottom = Stat.max(vertex1.getY(), vertex2.getY());
                double x = this.getX();
                double y = this.getY();
                return Inaccurate.moreOrEquals(x, left)
                                && Inaccurate.lessOrEquals(x, right)
                                && Inaccurate.moreOrEquals(y, top)
                                && Inaccurate.lessOrEquals(y, bottom);
        }

}

package com.lab111.picturetwister.vectorized;
import java.util.ArrayList;
import java.util.HashMap;
import org.apache.commons.math3.geometry.euclidean.twod.Vector2D;
import com.lab111.picturetwister.core.Inaccurate;
import com.lab111.picturetwister.core.Linear;
/**
 * Клас описує "оболочку", яка складається з точок Point і може бути довільної
 * форми.
* @author Бедь Анатолій Михайлович
*/
public class ConvexHull {
```

```java
/**
 * Список кутів векторного пікселя
 */
protected ArrayList<Point> peakPixel;
/**
 * Атрибути
 */
protected HashMap<String, Object> attribute;
public ConvexHull() {
	attribute = new HashMap<String, Object>();
	peakPixel = new ArrayList<Point>();
}

/**
 * Конструктор
 *
 * @param points
 *            список точок
 */
public ConvexHull(ArrayList<Point> points) {
	this.peakPixel = points;
	attribute = new HashMap<String, Object>();
}

/**
 * Конструктор
 *
 * @param points
 *            перелік точок
 */
public ConvexHull(Point... points) {
	this.peakPixel = new ArrayList<Point>();
	for (Point p : points) {
		this.peakPixel.add(p);
	}
	attribute = new HashMap<String, Object>();
}
/**
 * Метод для отримання контуру оболочки
 *
 * @return список всіх вершин оболочки
 */
public ArrayList<Point> getPeakPixel() {
	return peakPixel;
}
/**
 * Метод для отримання атрибутів оболочки
 *
 * @param key ключ атрибута
 * @param value значення атрибута
 */
public <T> T getAttribute(String key) {
	return (T) attribute.get(key);
}

/**
 * Метод для встановлення атрибутів оболочки
 * @param key ключ атрибута
 * @param value
 *            значення атрибута
 */
public void setAttribute(String key, Object value) {
	attribute.put(key, value);
}

/**
 * Метод рахує периметер оболочки
 * @return периметер оболочки
 */
public double getPerimeter() {
	double res = 0;
	for (int i = 0; i < peakPixel.size() - 1; i++) {
		res += Linear.createVector(peakPixel.get(i), peakPixel.get(i + 1))
				.getNorm();
	}
	res += Linear.createVector(peakPixel.get(peakPixel.size() - 1),
			peakPixel.get(0)).getNorm();
	setAttribute("p", res);
	return res;
}

/**
 * Метод рахує площу оболочки
 * @return площу оболочки
 */
public double getArea() {
	if (peakPixel.size() == 3) {
		Vector2D f = Linear
```

```
                                        .createVector(peakPixel.get(0), peakPixel.get(1));
                        Vector2D s = Linear
                                        .createVector(peakPixel.get(0), peakPixel.get(2));
                        setAttribute("a", Math.abs(Linear.product(f, s)) / 2);
                        return Math.abs(Linear.product(f, s)) / 2;
                }

                ArrayList<ConvexHull> splitting = split();
                double res = 0;
                for (ConvexHull c : splitting)
                        res += c.getArea();

                return res;
        }

        /**
         * Метод перевіряє, чи знаходиться точка всередині оболочки, яка описується
         * ConvexHull
         * @param p точка
         * @return true, якщо p - внутрішня точка оболочки, або якщо вона лежить на
         *         контурі, false якщо точка лежить поза оболочкою.
         */
        public boolean isInnerPoint(Point p) {
                if (peakPixel.size() == 3) {
                        double s = new ConvexHull(peakPixel.get(0), peakPixel.get(1), p)
                                        .getArea()
                                        + new ConvexHull(peakPixel.get(1), peakPixel.get(2), p)
                                                        .getArea()
                                        + new ConvexHull(peakPixel.get(2), peakPixel.get(0), p)
                                                        .getArea();
                        return Inaccurate.equals(s, getArea());
                }
                ArrayList<ConvexHull> splitting = split();
                boolean res = false;
                for (ConvexHull c : splitting)
                        res |= c.isInnerPoint(p);

                return res;
        }
        private static boolean triangleIsValid(ConvexHull t,
                        ArrayList<Point> contour) {
                Point f = t.getPeakPixel().get(0);
                Point s = t.getPeakPixel().get(2);

                Vector2D fv = Linear.createVector(t.getPeakPixel().get(0), t
                                .getPeakPixel().get(1));
                Vector2D sv = Linear.createVector(t.getPeakPixel().get(1), t
                                .getPeakPixel().get(2));
                if (Linear.product(fv, sv) <= 0)
                        return false;
                for (Point p : contour) {
                        if (!t.getPeakPixel().contains(p) && t.isInnerPoint(p))
                                return false;
                }
                if (!t.getPeakPixel().contains(contour.get(0))
                                && !t.getPeakPixel().contains(contour.get(contour.size() - 1))) {
                        if (Linear.segmentIntersection(f, s,
                                        contour.get(contour.size() - 1), contour.get(0)) != null)
                                return false;
                }
                for (int i = 0; i < contour.size() - 1; i++) {
                        if (!t.getPeakPixel().contains(contour.get(i))
                                        && !t.getPeakPixel().contains(contour.get(i + 1))) {
                                if (Linear.segmentIntersection(f, s, contour.get(i),
                                                contour.get(i + 1)) != null)
                                        return false;
                        }
                }

                return true;
        }
        private static boolean triangleIsValid(ConvexHull t, ConvexHull f) {
                return triangleIsValid(t, f.getPeakPixel());
        }
        private static ConvexHull bestTriangle(ConvexHull a, ConvexHull b) {
                if (a == null && b == null)
                        return null;
                if (a == null && b != null)
                        return b;
                if (a != null && b == null)
                        return a;
                double a_ = a.getAttribute("factor");
                double b_ = b.getAttribute("factor");
                return (a_ < b_) ? b : a;
        }

        private static ConvexHull getTriangle(ConvexHull figure) {
                ConvexHull res = null;
                ArrayList<Point> contour = figure.getPeakPixel();
```

```
        for (int i = 1; i < contour.size() - 1; i++) {

                ConvexHull temp = new ConvexHull(contour.get(i - 1),
                                contour.get(i), contour.get(i + 1));

                if (triangleIsValid(temp, figure)) {
                        temp.setAttribute("factor",
                                        temp.getArea() / temp.getPerimeter());
                        res = bestTriangle(res, temp);
                }
        }
        ConvexHull temp = new ConvexHull(contour.get(contour.size() - 1),
                        contour.get(0), contour.get(1));
        if (triangleIsValid(temp, figure)) {
                temp.setAttribute("factor", temp.getArea() / temp.getPerimeter());
                res = bestTriangle(res, temp);
        }
        temp = new ConvexHull(contour.get(contour.size() - 2),
                        contour.get(contour.size() - 1), contour.get(0));
        if (triangleIsValid(temp, figure)) {
                temp.setAttribute("factor", temp.getArea() / temp.getPerimeter());
                res = bestTriangle(res, temp);
        }
        if(!(res != null)){
                System.out.println(figure);
        }
        return res;
}
/**
 * Метод для розбиття оболочки на трикутники. Він базується на наступному
 * алгоритмові.<br/>
 * 1) Проходимо контур по всім точкам і вибираємо трикутники із трьох
 * сусідніх точок. Нехай це будуть точки A(i-1), Ai, A(i+1), тоді точки
 * A(i-1) і A(i+1) зєднуємо хордою. Таким чином можна отримати N різних
 * трикутників для контуру що складається з N точок.<br/>
 * 2) Кожен трикутник перевіряємо на правильність. Якщо хорда A(i-1)A(i+1)
 * проходить не всередині контуру то такий трикутник не проходить перевірку
 * на валідність.<br/>
 * 3) Вибираємо той трикутник у якого відношення площі до периметру є
 * найбільшим (це дозволяє вибрати трикутник найбільш наближений до
 * рівностороннього) Заносимо цей трикутник до списку. <br/>
 * 4) Видаляємо з контуру Ai - точку трикутника, який ми вибрали як
 * "найкращий". <br/>
 * 5) Повторюємо попередні пункти до тих пір поки в контурі не залишиться
 * три точки. <br/>
 * 6) З'єднавши ці три точки отримуємо останній трикутник і заносимо його до
 * списку. <br/>
 *
 * @return список трикутників, або null якщо оболочка містить тільки дві
 *         точки
 */
public ArrayList<ConvexHull> split() {
        if (this.getPeakPixel().size() <= 2)
                return null;

        ArrayList<ConvexHull> res = new ArrayList<ConvexHull>();
        ConvexHull temp = new ConvexHull((ArrayList<Point>) this.getPeakPixel()
                        .clone());
        for (; temp.getPeakPixel().size() > 3;) {
                ConvexHull t = getTriangle(temp);
                res.add(t);
                temp.getPeakPixel().remove(t.getPeakPixel().get(1));
        }
        temp.getArea();
        res.add(temp);
        return res;
}
/**
 * Метод повертає Point, що є точкою центр мас. Можливі чотири випадки: <br/>
 * 1) ConvexHull містить тільки одну точку. В цьому випадку повертаємо її
 * саму <br/>
 * 2) ConvexHull містить дві точки. В цьому випадку повертаємо середину
 * відрізка, що сполучає ці дві точки <br/>
 * 3) ConvexHull містить три точки. В цьому випадку маємо трикутник, тому
 * повертаємо точку перетину медіан, яка і буде точкою центер мас трикутника <br/>
 * 4) ConvexHull містить більше трьох точок. В цьому випадку розбиваємо наш
 * полігон на трикутники. Центер мас вираховується як середнє арифметичне
 * центра мас всіх трикутників, з урахуванням вагових коефіцієнтів, якими в
 * даному випадку є площі трикутників
 *
 * @return Point - точку центер мас
 */
public Point getCenterOfMass() {
        if (peakPixel.size() == 1)
                return peakPixel.get(0);
        if (peakPixel.size() == 2)
                return Linear.middlePointOfSegment(peakPixel.get(0),
                                peakPixel.get(1));
        if (peakPixel.size() == 3) {
```

```
                        Point a1 = peakPixel.get(0);
                        Point b1 = Linear.middlePointOfSegment(peakPixel.get(1),
                                        peakPixel.get(2));
                        Point a2 = peakPixel.get(1);
                        Point b2 = Linear.middlePointOfSegment(peakPixel.get(2),
                                        peakPixel.get(0));
                        return Linear.segmentIntersection(a1, b1, a2, b2);
                }

                ArrayList<ConvexHull> splitting = split();
                double x_ = 0;
                double y_ = 0;

                for (ConvexHull c : splitting) {
                        Point p = c.getCenterOfMass();
                        double a = c.getArea();
                        x_ += p.getX() * a;
                        y_ += p.getY() * a;
                }
                x_ /= getArea();
                y_ /= getArea();

                return new Point(x_, y_);
        }
        public String toString() {
                String res = "[ ";
                for (Point p : peakPixel) {
                        res += p.toString() + " ";
                }
                return res + " ]: " + attribute.toString();
        }

}

package com.lab111.picturetwister.vectorized;

import java.util.ArrayList;
/**
 * Клас, який описує векторний піксель, наслідується від класа ConvexHull
 * @author Бедь Анатолій Михайлович
 *
 */
public class VectorPixel extends ConvexHull{
        public VectorPixel(ArrayList<Point> points) {
                super(points);
        }
        /**
         * Метод встановлює колір векторного пікселя
         * @param color
         */
        public void setColor(int color){
                attribute.put("color", color);
        }
        /**
         * Метод повертає колір векторного пікселя
         * @return
         */
        public int getColor(){
                return (int) attribute.get("color");
        }
        /**
         * Метод повертає добуток "ваги" пікселя на його центер мас
         * @return
         */
        public double[] getWeightPixel(){
                Point c = getCenterOfMass();
                return new double[] {c.getX()*getColor(), c.getY()*getColor()};
        }
        /**
         * Метод повертає точку з заданої позиції
         * @param poz позиція точки яку хочемо отримати
         * @return точку в позиції poz
         */
        public Point getPoint(int poz){
                return peakPixel.get(poz);
        }

        @Override
        public String toString() {
                return "VectorPixel [peakPixel=" + peakPixel.toString() + ", color=" + attribute.get("color") + "]";
        }
}
package com.lab111.picturetwister.vectorized;
import java.awt.Color;
import java.awt.Graphics2D;
import java.awt.image.BufferedImage;
import java.io.IOException;
import java.util.ArrayList;
import java.util.List;
```

```java
import com.lab111.picturetwister.core.Function;
import com.lab111.picturetwister.core.Linear;
import com.lab111.picturetwister.core.Stat;
import com.lab111.picturetwister.imageutil.ImageUtil;
/**
 * Клас описує сітку точок, зв'язаних між собою
* @author Бедь Анатолій Михайлович
*/
public class Reticle {

	private Point[][] points;
	private Function weightFunction;
	private VectorPixel[][] vectorPixels;
	private MatrixTransform transform;
	public int[][] colorMatrix;

	private int height;
	private int width;

	/**
	 * Конструктор, який створює сітку
	 *
	 * @param colorsRGB
	 *            - матриця кольорів
	 */
	public Reticle(int[][] colorsRGB) {
		points = createPointSet(colorsRGB[0].length, colorsRGB.length);
		colorMatrix = colorsRGB;
		height = colorsRGB.length;
		width = colorsRGB[0].length;
		vectorPixels = createConvexHullsSet(colorMatrix, points);
		transform = new MatrixTransform(this);
	}

	/**
	 * Метод повертає сітку точок, в якій кожна точка знає про свої сусідні
	 * точки зверху, зліва, справа, знизу
	 *
	 * @param width ширина зображення
	 * @param height висота зображення
	 * @return Points[][] - сітка точок
	 */
	public static Point[][] createPointSet(int width, int height) {
		Point[][] points = new Point[height + 1][width + 1];
		/*
		 * Створюємо точку в координатах (0, 0)
		 */
		points[0][0] = new Point(0, 0);
		/*
		 * Заповнення першого рядка матриці зразу вказуємо для даної точки
		 * першого рядка її сусідню точку зліва
		 */
		for (int j = 1; j < width + 1; j++) {
			points[0][j] = new Point(0, j);
			points[0][j].setPointLeft(points[0][j - 1]);
		}
		/*
		 * Заповнення першого стовпця матриці зразу вказуємо для даної точки
		 * першого стовпця її сусідню точку зверху
		 */
		for (int i = 1; i < height + 1; i++) {
			points[i][0] = new Point(i, 0);
			points[i][0].setPointTop(points[i - 1][0]);
		}
		/*
		 * Заповнення всіх інших елементів матриці Створюємо точку. Для даної
		 * точки вказуємо її сусідні точки зверху та зліва для точки яка
		 * знаходиться зліва по діагоналі вказуємо сусідні точки знизу і справа.
		 * Після виконання циклів, для точок останнього стовпця не буде вказано
		 * іхніх сусідніх точок знизу, а для точок останнього рядка - сусідніх
		 * точок справа
		 */
		for (int i = 1; i < height + 1; i++)
			for (int j = 1; j < width + 1; j++) {
				points[i][j] = new Point(i, j);
				points[i][j].setPointTop(points[i - 1][j]);
				points[i][j].setPointLeft(points[i][j - 1]);
				points[i - 1][j - 1].setPointRight(points[i - 1][j]);
				points[i - 1][j - 1].setPointBottom(points[i][j - 1]);
			}
		/*
		 * Вказуємо для точок останнього стовпця сусідні їм точок знизу
		 */
		for (int i = 0; i < height; i++) {
			points[i][width].setPointBottom(points[i + 1][width]);
		}
		/*
		 * Вказуємо для точок останнього рядка сусідніх їм точки справа
		 */
```

```
                for (int j = 0; j < width; j++) {
                        points[height][j].setPointRight(points[height][j + 1]);
                }
                return points;
        }
        /**
         * Метод повертає матрицю векторних пікселів
         *
         * @param intMatrix матриця кольорів
         * @param points сітка точок
         * @return
         */
        public static VectorPixel[][] createConvexHullsSet(int[][] intMatrix,
                        Point[][] points) {
                int width = intMatrix[0].length;
                int height = intMatrix.length;
                VectorPixel[][] vectorPixels = new VectorPixel[height][width];
                ArrayList<Point> pointList;
                /*
                 * Кладемо в список чотири точки(вершини пікселя) і створюємо векторний
                 * піксель, який кладемо в масив.
                 */
                for (int i = 0; i < height; i++) {
                        for (int j = 0; j < width; j++) {
                                pointList = new ArrayList<Point>(4);
                                pointList.add(points[i][j]);
                                pointList.add(points[i][j + 1]);
                                pointList.add(points[i + 1][j + 1]);
                                pointList.add(points[i + 1][j]);
                                vectorPixels[i][j] = new VectorPixel(pointList);
                                vectorPixels[i][j].setColor(intMatrix[i][j]);
                        }
                }
                return vectorPixels;
        }
        /**
         * метод для маштабування сітки
         *
         * @param mx
         *            параметр збільшення по осі Ox
         * @param my
         *            параметр збільшення по осі Oy
         */
        public void scale(double mx, double my) {
                transform.scale(mx, my);
                width = (int) (width * my);
                height = (int) (height * mx);
        }
        /**
         * метод для здійснення повороту сітки на кут
         *
         * @param angle
         *            кут на який потрібно повернути сітку
         */
        public void rotate(double angle) {
                transform.rotate(angle);
        }
        /**
         * метод, який дозволяє перемістити сітку
         *
         * @param transferX
         *            відстань на яку треба перемістити сітку по координаті X
         * @param transferY
         *            відстань на яку треба перемістити сітку по координаті Y
         */
        public void transfer(double transferX, double transferY) {
                transform.transfer(transferX, transferY);
        }
        /*
         * Метод, який ламає сітку.
         */
        public void deformation() {
                VectorPixel[][] hulls = this.cloneConvexHulls();
                double x = 0;
                double y = 0;
                for (int i = 1; i < vectorPixels.length - 1; i++) {
                        for (int j = 1; j < vectorPixels[0].length - 1; j++) {
                                if (Stat.max(Stat.difference(hulls[i][j].getColor(),
                                                hulls[i - 1][j - 1].getColor()), Stat.difference(
                                                hulls[i][j].getColor(), hulls[i - 1][j].getColor()),
                                                Stat.difference(hulls[i][j].getColor(),
                                                                hulls[i - 1][j + 1].getColor()), Stat
                                                                .difference(hulls[i][j].getColor(),
                                                                                hulls[i][j - 1].getColor()), Stat
                                                                .difference(hulls[i][j].getColor(),
                                                                                hulls[i][j + 1].getColor()), Stat
                                                                .difference(hulls[i][j].getColor(),
                                                                                hulls[i + 1][j - 1].getColor()),
Stat
```

```
                                                                .difference(hulls[i][j].getColor(),
                                                                                hulls[i + 1][j].getColor()), Stat
                                                                .difference(hulls[i][j].getColor(),
                                                                                hulls[i + 1][j + 1].getColor()))
> 25) {
                                        x = 0;
                                        y = 0;
                                        x = Stat.sum(hulls[i][j].getWeightPixel()[0],
                                                        hulls[i][j + 1].getWeightPixel()[0],
                                                        hulls[i + 1][j].getWeightPixel()[0],
                                                        hulls[i + 1][j + 1].getWeightPixel()[0]);
                                        y = Stat.sum(hulls[i][j].getWeightPixel()[1],
                                                        hulls[i][j + 1].getWeightPixel()[1],
                                                        hulls[i + 1][j].getWeightPixel()[1],
                                                        hulls[i + 1][j + 1].getWeightPixel()[1]);

                                        double mass = Stat.sum(hulls[i][j].getColor(),
                                                        hulls[i][j + 1].getColor(),
                                                        hulls[i + 1][j].getColor(),
                                                        hulls[i + 1][j + 1].getColor());

                                        x = x / mass;
                                        y = y / mass;

                                        vectorPixels[i][j].getPoint(2).setX(x);
                                        vectorPixels[i][j].getPoint(2).setY(y);
                                }
                        }
                }
        }
        /**
         * Метод для деформації сітки
         */
        public void deformation1() {
                for (int i = 0; i < points.length; i++) {
                        for (int j = 0; j < points[0].length; j++) {
                                ArrayList<VectorPixel> connected = getConnectedPixels(points[i][j]);
                                double[] c = new double[connected.size()];

                                for (int k = 0; k < c.length; k++) {
                                        c[k] = connected.get(k).getColor();
                                }

                                if (Stat.difference(Stat.max(c), Stat.min(c)) > 25) {
                                        for (int k = 0; k < c.length; k++) {
                                                // connected.get(k).setAttribute("w", 129-Math.abs(new
                                                // Double(connected.get(k).getColor())-128));
                                                double w = 129 - Math.abs(new Double(connected.get(k)
                                                                .getColor()) - 128);
                                                w = w * w;
                                                connected.get(k).setAttribute("w", w);

                                        }
                                        Point res = Linear.centerOfMassForSys(connected);
                                        points[i][j].setX(res.getX());
                                        points[i][j].setY(res.getY());
                                }
                        }
                }
        }
        /**
         * Метод для отримання сітки зв'язаних точок
         *
         * @return повертає сітку зв'язаних точок
         */
        public Point[][] getPoints() {
                return points;
        }
        /**
         * Метод для отримання векторних пікселів з сітки
         * @return vectorPixels
         */
        public VectorPixel[][] getConvexHulls() {
                return vectorPixels;
        }
        /**
         * метод повертає матрицю координат у вигляді Ax Cx ..... Px Ay Cy ..... Py
         * Bx Dx ..... Lx By Dy ..... Ly Mx Nx ..... Qx My Ny ..... Qy
         * ............... ................ Rx Tx ...... Hx Ry Ty ...... Hy
         *
         * де точки A(Ax,Ay), B(Bx,By), D(Dx,Dy), C(Cx,Cy) є кутами пікселя (і так
         * далі відповідно)
         *
         * @return
         */
        public double[][] getPointsXY() {
                double[][] vector = new double[2 * points.length][points[0].length];
                int k = 0;
                for (int i = 0; i < points.length; i++) {
```

```
                for (int j = 0; j < points[0].length; j++) {
                        vector[k][j] = points[i][j].getX();
                        vector[k + 1][j] = points[i][j].getY();
                }
                k = k + 2;
        }
        return vector;
}

/**
 * Метод для отримання копії ConvexHull[][]
 * @return повертає копію ConvexHull[][], що містить Reticle
 */
public VectorPixel[][] cloneConvexHulls() {

        Point[][] points = this.clonePoints();

        int width = colorMatrix[0].length;
        int height = colorMatrix.length;
        VectorPixel[][] vectorPixels = new VectorPixel[height][width];
        ArrayList<Point> pointList;
        /*
         * Кладемо в список чотири точки(вершини пікселя) і створюємо векторний
         * піксель, який кладемо в масив.
         */
        for (int i = 0; i < height; i++) {
                for (int j = 0; j < width; j++) {
                        pointList = new ArrayList<Point>(4);
                        pointList.add(points[i][j]);
                        pointList.add(points[i][j + 1]);
                        pointList.add(points[i + 1][j + 1]);
                        pointList.add(points[i + 1][j]);
                        vectorPixels[i][j] = new VectorPixel(pointList);
                        vectorPixels[i][j].setColor(colorMatrix[i][j]);
                }
        }
        return vectorPixels;
}

/**
 * Метод для отримання копії сітки зв'язаних між собою точок
 * @return повертає копію сітки точок
 */
public Point[][] clonePoints() {
        int width = colorMatrix[0].length;
        int height = colorMatrix.length;
        Point[][] points = new Point[height + 1][width + 1];
        /*
         * Створюємо точку в координатах (0, 0)
         */
        points[0][0] = new Point(this.points[0][0].getX(),
                        this.points[0][0].getY());
        /*
         * Заповнення першого рядка матриці зразу вказуємо для даної точки
         * першого рядка її сусідню точку зліва
         */
        for (int j = 1; j < width + 1; j++) {
                points[0][j] = new Point(this.points[0][j].getX(),
                                this.points[0][j].getY());
                points[0][j].setPointLeft(points[0][j - 1]);
        }

        /*
         * Заповнення першого стовпця матриці зразу вказуємо для даної точки
         * першого стовпця її сусідню точку зверху
         */
        for (int i = 1; i < height + 1; i++) {
                points[i][0] = new Point(this.points[i][0].getX(),
                                this.points[i][0].getY());
                points[i][0].setPointTop(points[i - 1][0]);
        }

        /*
         * Заповнення всіх інших елементів матриці Створюємо точку. Для даної
         * точки вказуємо її сусідні точки зверху та зліва для точки яка
         * знаходиться зліва по діагоналі вказуємо сусідні точки знизу і справа.
         * Після виконання циклів, для точок останнього стовпця не буде вказано
         * іхніх сусідніх точок знизу, а для точок останнього рядка - сусідніх
         * точок справа
         */
        for (int i = 1; i < height + 1; i++)
                for (int j = 1; j < width + 1; j++) {
                        points[i][j] = new Point(this.points[i][j].getX(),
                                        this.points[i][j].getY());
                        points[i][j].setPointTop(points[i - 1][j]);
                        points[i][j].setPointLeft(points[i][j - 1]);
                        points[i - 1][j - 1].setPointRight(points[i - 1][j]);
                        points[i - 1][j - 1].setPointBottom(points[i][j - 1]);
                }
```

```
		/*
		 * Вказуємо для точок останнього стовпця сусідні їм точок знизу
		 */
		for (int i = 0; i < height; i++) {
			points[i][width].setPointBottom(points[i + 1][width]);
		}
		/*
		 * Вказуємо для точок останнього рядка сусідніх їм точки справа
		 */
		for (int j = 0; j < width; j++) {
			points[height][j].setPointRight(points[height][j + 1]);
		}

		return points;
	}

	/**
	 * Метод для отримання матриці кольорів
	 *
	 * @return colorповертає матрицю кольорів
	 */
	public int[][] getColorMatrix() {
		return colorMatrix;
	}

	/**
	 * Мето для отримання висоти сітки
	 * @return висоту сітки
	 */
	public int getHeight() {
		return height;
	}

	/**
	 * Мето для отримання ширини сітки
	 * @return ширину сітки
	 */
	public int getWidth() {
		return width;
	}

	/**
	 * Метод для отримання вагової фінкції
	 * @return вагову функцію
	 */
	public Function getWeightFunction() {
		return weightFunction;
	}
	/**
	 * Мето для встановлення вагової функції
	 * @param вагова функція
	 */
	public void setWeightFunction(Function weightFunction) {
		this.weightFunction = weightFunction;
	}

	/**
	 * Мето для отримання пікселів до яких входить задана точка p
	 *
	 * @param p
	 *            точка
	 * @return список пікселів до яких вжодить задана точка
	 */
	public ArrayList<VectorPixel> getConnectedPixels(Point p) {
		ArrayList<VectorPixel> res = new ArrayList<VectorPixel>();
		int i_ = -1;
		int j_ = -1;

		for (int i = 0; i < points.length; i++) {
			for (int j = 0; j < points[0].length; j++) {
				if (p == points[i][j]) {
					i_ = i;
					j_ = j;
					break;
				}
			}
			if (i_ >= 0)
				break;
		}

		if (i_ < 0)
			return res;

		if (((i_ - 1) >= 0) && (j_ - 1) >= 0)
			res.add(vectorPixels[i_ - 1][j_ - 1]);
		if (((i_) < vectorPixels.length) && (j_ - 1) >= 0)
			res.add(vectorPixels[i_][j_ - 1]);
		if (((i_ - 1) >= 0) && (j_) < vectorPixels[0].length)
```

```
                        res.add(vectorPixels[i_ - 1][j_]);
                if (((i_) < vectorPixels.length) && (j_) < vectorPixels[0].length)
                        res.add(vectorPixels[i_][j_]);

                return res;
        }
        /**
         * Метод для виділення контурних ланцюгів
         * @param porog параметр
         * @return контурний ланцюг
         */
        public ConvexHull searchCounture(int porog) {
                List<ConvexHull> listCounture = new ArrayList<ConvexHull>();
                ConvexHull hull = new ConvexHull();
                int color1;
                int color2;
                for (int i = 1; i < points.length - 2; i++) {
                        for (int j = 1; j < points[i].length - 2; j++) {
                                color1 = 0x0000ff & vectorPixels[i][j].getColor();

                                color2 = vectorPixels[i - 1][j].getColor() & 0x0000ff;
                                if (Stat.difference(color2, color1) > porog) {
                                        if (!hull.peakPixel
                                                        .contains(vectorPixels[i][j].getPoint(1)))
                                                hull.peakPixel.add(vectorPixels[i][j].getPoint(1));
                                }

                                color2 = vectorPixels[i - 1][j - 1].getColor() & 0x0000ff;
                                if (Stat.difference(color2, color1) > porog) {
                                        if (!hull.peakPixel
                                                        .contains(vectorPixels[i][j].getPoint(0)))
                                                hull.peakPixel.add(vectorPixels[i][j].getPoint(0));
                                }

                                color2 = vectorPixels[i][j - 1].getColor() & 0x0000ff;
                                if (Stat.difference(color2, color1) > porog) {
                                        if (!hull.peakPixel
                                                        .contains(vectorPixels[i][j].getPoint(0)))
                                                hull.peakPixel.add(vectorPixels[i][j].getPoint(0));
                                }

                                color2 = vectorPixels[i + 1][j].getColor() & 0x0000ff;
                                if (Stat.difference(color2, color1) > porog) {
                                        if (!hull.peakPixel
                                                        .contains(vectorPixels[i][j].getPoint(3)))
                                                hull.peakPixel.add(vectorPixels[i][j].getPoint(3));
                                }

                                color2 = vectorPixels[i + 1][j].getColor() & 0x0000ff;
                                if (Stat.difference(color2, color1) > porog) {
                                        if (!hull.peakPixel
                                                        .contains(vectorPixels[i][j].getPoint(3)))
                                                hull.peakPixel.add(vectorPixels[i][j].getPoint(3));
                                }

                                color2 = vectorPixels[i + 1][j + 1].getColor() & 0x0000ff;
                                if (Stat.difference(color2, color1) > porog) {
                                        if (!hull.peakPixel
                                                        .contains(vectorPixels[i][j].getPoint(2)))
                                                hull.peakPixel.add(vectorPixels[i][j].getPoint(2));
                                }

                                color2 = vectorPixels[i][j + 1].getColor() & 0x0000ff;
                                if (Stat.difference(color2, color1) > porog) {
                                        if (!hull.peakPixel
                                                        .contains(vectorPixels[i][j].getPoint(2)))
                                                hull.peakPixel.add(vectorPixels[i][j].getPoint(2));
                                }

                                color2 = vectorPixels[i - 1][j + 1].getColor() & 0x0000ff;
                                if (Stat.difference(color2, color1) > porog) {
                                        if (!hull.peakPixel
                                                        .contains(vectorPixels[i][j].getPoint(1)))
                                                hull.peakPixel.add(vectorPixels[i][j].getPoint(1));
                                }
                        }

                }
                listCounture.add(hull);
                return hull;
        }

}

package com.lab111.picturetwister.vectorized;

/**
 * Клас що описує матрицю перетоврень
 *
```

```java
 * @author Бедь Анатолій Михайлович
 *
 */
public class MatrixTransform {
	private double[][] matrix;
	private Reticle reticle;

	public MatrixTransform(Reticle reticle) {
		this.reticle = reticle;
		matrix = new double[][] { { 1, 0, 0 },
                                  { 0, 1, 0 },
                                  { 0, 0, 1 } };
	}
	/**
	 * Метод для маштабування сітки побудованої з точок Point
	 * @param mx коефіцієнт маштабування по осі X
	 * @param my коефіцієнт маштабування по осі Y
	 * @return двовимірний масив точок промаштабованої Reticle
	 */
	public Point[][] scale(double mx, double my) {
		setScale(mx, my);
		Point[][] points = reticle.getPoints();
		for (int i = 0; i < points.length; i++) {
			for (int j = 0; j < points[0].length; j++) {
				points[i][j].setX(points[i][j].getX() * matrix[0][0]);
				points[i][j].setY(points[i][j].getY() * matrix[1][1]);
			}
		}
		return points;
	}
	/**
	 * Метод для встановлення коефіцієнтів маштабування
	 * @param mx коефіцієнт маштабування по осі X
	 * @param my коефіцієнт маштабування по осі Y
	 */
	public void setScale(double mx, double my) {
		matrix[0][0] = mx;
		matrix[1][1] = my;
	}
	/**
	 * Метод для встановлення кута повороту сітки
	 * @param angle кут повороту заданий в градусах.
	 */
	public void setRotate(double angle) {
		angle = angle * Math.PI / 180;
		matrix[0][0] = Math.cos(angle);
		matrix[1][1] = Math.cos(angle);
		matrix[0][1] = Math.sin(angle);
		matrix[1][0] = -Math.sin(angle);
		matrix[2][2] = 1;
	}
	/**
	 * Метод для повороту сітки
	 * @param angle кут повороту заданий в градусах.
	 * @return двовимірний масив точок повернутої на кут angle Reticle
	 */
	public Point[][] rotate(double angle) {
		setRotate(angle);
		Point[][] points = reticle.getPoints();
		for (int i = 0; i < points.length; i++) {
			for (int j = 0; j < points[0].length; j++) {
				points[i][j].setX(points[i][j].getX() * matrix[0][0]
                                  + points[i][j].getY() * matrix[0][1]);
				points[i][j].setY(points[i][j].getX() * matrix[1][0]
                                  + points[i][j].getY() * matrix[1][1]);
			}
		}
		return points;
	}

	/**
	 * Метод для переміщення сітки
	 *
	 * @param transferX відстань для переносу по осі X задана в пікселях
	 * @param transferY відстань для переносу по осі Y задана в пікселях
	 * @return двовимірний масив точок переміщеної Reticle
	 */
	public Point[][] transfer(double transferX, double transferY) {
		setTransfer(transferX, transferY);
		Point[][] points = reticle.getPoints();
		for (int i = 0; i < points.length; i++) {
			for (int j = 0; j < points[0].length; j++) {
				points[i][j].setX(points[i][j].getX() + matrix[0][2]);
				points[i][j].setY(points[i][j].getY() + matrix[1][2]);
			}
		}

		return points;
	}
```

```
	/**
	 * Метод для встановлення значень переміщення сітки
	 * @param transferX відстань для переносу по осі X задана в пікселях
	 * @param transferY відстань для переносу по осі Y задана в пікселях
	 */
	public void setTransfer(double transferX, double transferY) {
		matrix[0][2] = transferX;
		matrix[1][2] = transferY;
		for (int i = 0; i < matrix.length; i++) {
			matrix[i][i] = 1;
		}
	}
}
```

```
package com.lab111.picturetwister.core;
/**
 * Даний інтерфейс описує функцію
 * @author
 *
 */
public interface Function {
	public double getValue(double... args);
}
```

```
package com.lab111.picturetwister.core;
/**
 * Клас з статичними методами порівняння двох величин
 * @author
 *
 */
public class Inaccurate {
	public static double ACCURACY = 0.000001;

	public Inaccurate() {
		// TODO Auto-generated constructor stub
	}
	/**
	 * Перевіряє два числа на рівність з точністю 0.000001
	 * @param a перше число
	 * @param b друге число
	 * @return true, якщо a рівне b і false, якщо a не рівне b
	 */
	public static boolean equals(double a, double b) {
		return Math.abs(a - b) <= ACCURACY;
	}
	/**
	 * Перевіряє чи a < b з точністю 0.000001
	 * @param a перше число
	 * @param b друге число
	 * @return true, якщо a мешне b і false, якщо a більше або рівне b
	 */
	public static boolean less(double a, double b) {
		return (b - a) > ACCURACY;
	}
	/**
	 * Перевіряє чи a > b з точністю 0.000001
	 * @param a перше число
	 * @param b друге число
	 * @return true, якщо a більше b і false, якщо a менше або рівне b
	 */
	public static boolean more(double a, double b) {
		return (a - b) > ACCURACY;
	}
	/**
	 * Перевіряє чи a <= b з точністю 0.000001
	 * @param a перше число
	 * @param b друге число
	 * @return true, якщо a менше або рівне b і false, якщо a більше b
	 */
	public static boolean lessOrEquals(double a, double b) {
		return less(a, b) || equals(a, b);
	}
	/**
	 * Перевіряє чи a >= b з точністю 0.000001
	 * @param a перше число
	 * @param b друге число
	 * @return true, якщо a більше або рівне b і false, якщо a менше b
	 */
	public static boolean moreOrEquals(double a, double b) {
		return more(a, b) || equals(a, b);
	}

}
```

```
package com.lab111.picturetwister.core;

import java.util.ArrayList;

import org.apache.commons.math3.geometry.euclidean.twod.Line;
```

```java
import org.apache.commons.math3.geometry.euclidean.twod.Vector2D;

import com.lab111.picturetwister.vectorized.ConvexHull;
import com.lab111.picturetwister.vectorized.Point;
/**
 * Клас який містить статичні методи для роботи з геометрією
 * @author
 *
 */
public class Linear {
	/**
	 * Метод створю екземпляр класа Vector2D, який описує вектор
	 * @param a точка початку вектора
	 * @param b точка кінця вектора
	 * @return 2D векто (екземпляр класа Vector2D)
	 */
	public static Vector2D createVector(Point a,Point b){
		return new Vector2D(b.getX()-a.getX(), b.getY()-a.getY());
	}
	/**
	 * Метод для аналізу взаємного розташування двох векторів
	 * @param first перший вектор
	 * @param second другий вектор
	 * @return повертає додатнє число, якщо перший вектор випереджає другий,
	 * і відємне коли другий випереджає перший,
	 * якщо вектора дивляться в одному напрямку то повертає 0
	 *
	 */
	public static double product(Vector2D first,Vector2D second){
		return -first.getX()*second.getY()+second.getX()*first.getY();
	}
	/**
	 * Метод знахотидь середину відрізка
	 * @param p1 перша точка
	 * @param p2 друга точка
	 * @return Point - точку, яка є серединою відрізка що з'єднує точки p1 і p2
	 */
	public static Point middlePointOfSegment(Point p1, Point p2){
		return new Point(Stat.average(p1.getX(),p2.getX()), Stat.average(p1.getY(),p2.getY()));
	}
	/**
	 * Метод перетворює вектор в точку
	 * @param p точка
	 * @return вектор, початок якого точка (0, 0), а кінець точка p; повертає null, якщо p null
	 *
	 */
	public static Vector2D toVector (Point p){
		return (p == null) ? null : new Vector2D(p.getX(),p.getY());
	}
	/**
	 * Метод перетворє вектор з координатами (x, y) в точку з координатами (x, y)
	 * @param v вектор з координатами (x, y)
	 * @return точка з координатами (x, y), де x,y - кординати вектора v
	 */
	public static Point toPoint (Vector2D v){
		return (v == null) ? null : new Point(v.getX(),v.getY());
	}
	/**
	 * Метод повертає екземпляр класа Line, який описує лінію
	 * @param p1 перша точка
	 * @param p2 друга точка
	 * @return лінію, яка проходить чере точки p1, p2
	 */
	public static Line lineModel(Point p1, Point p2){
		return new Line(toVector(p1), toVector(p2));
	}
	/**
	 * Метод повертає екземпляр класа Point - точку перетину двох ліній
	 * @param l1 перша лінія
	 * @param l2 друга лінія
	 * @return точка перетину ліній l1 і l2, повертає null якщо лінії не перетинаються
	 */
	public static Point lineIntersection(Line l1, Line l2){
		return toPoint(l1.intersection(l2));
	}
	/**
	 * Метод знаходить точку перетину двох відрізків a1b1 і a2b2
	 * @param a1 перша точка
	 * @param b1 друга точка
	 * @param a2 третя точка
	 * @param b2 четверта точка
	 * @return точку перетину двох відрізків, або null якщо відрізки не перетинеаються
	 */
	public static Point segmentIntersection(Point a1, Point b1, Point a2, Point b2){
		Line l1 = lineModel(a1, b1);
		Line l2 = lineModel(a2, b2);
		Point p = lineIntersection(l1, l2);
		if (p == null) return null;
		if ( !p.inRect(a1, b1) || !p.inRect(a2, b2)) return null;
```

```
                return p;
        }

        public static Point centerOfMassForPlanarObj(ConvexHull object){
                // TODO сделать centerOfMassForPlanarObj
                return null;
        }
        /**
         * Метод знаходить точку центер мас системи з оболочок ConvexHull або його наслідників.<br/>
         * @param objects лінійний список з ConvexHull або його наслідників
         * @return точку центер мас
         */
        public static Point centerOfMassForSys(ArrayList<? extends ConvexHull> objects){

                double x_ = 0;
                double y_ = 0;
                double w_ = 0;
                for(ConvexHull c :objects){
                        Point p = c.getCenterOfMass();
                        double a = c.getAttribute("w");
                        x_ += p.getX()*a;
                        y_ += p.getY()*a;
                        w_ += a;
                }
                x_ /= w_;
                y_ /= w_;

                return new Point(x_,y_);
        }

        public static Point perpendicularLine(Line line, Point point){

                return null;
        }

}

package com.lab111.picturetwister.core;

import org.apache.commons.math3.stat.StatUtils;
/**
 * Клас з статичними методами математичної статистики
 * @author
 *
 */
public class Stat {
        public static double ACCURACY = 0.00000000000001;

        public Stat() {
        }

        /**
         * Метод повертає суму елементів
         * @param values вхідний масив
         * @return суму елементів, або 0 якщо не знадано жодного параметра
         */
        public static double sum(double... values) {
                double result = 0;
                for (double value : values)
                        result += value;
                return result;
        }

        /**
         * Метод шукає максимальний елемент
         * @param values вхідний масив
         * @return максимальний з елементів, або 0 якщо не знадано жодного параметра
         */
        public static double max(double... values) {
                double result = values[0];
                for (double value : values)
                        result = (result < value) ? value : result;
                return result;
        }
        /**
         * Метод шукає мінімальний елемент
         * @param values вхідний масив
         * @return мінімальний з елементів, або 0 якщо не знадано жодного параметра
         */
        public static double min(double... values) {
                double result = values[0];
                for (double value : values)
                        result = (result > value) ? value : result;
                return result;
        }
        /**
         * Метод шукає індекс максимального елемента
         * @param values вхідний масив
         * @return індекс максимального елемента, або 0 якщо не знадано жодного параметра
```

```
 */
public static int maxIndex(double... values) {
	double max = values[0];
	int res = 0;
	for (int i = 1; i < values.length; i++) {
		if (max < values[i]) {
			max = values[i];
			res = i;
		}
	}
	return res;
}
/**
 * Метод шукає індекс мінімального елемента
 * @param values вхідний масив
 * @return індекс мінімального елемента, або 0 якщо не знадано жодного параметра
 */
public static int minIndex(double... values) {
	double min = values[0];
	int res = 0;
	for (int i = 1; i < values.length; i++) {
		if (min > values[i]) {
			min = values[i];
			res = i;
		}
	}
	return res;
}
/**
 * Метод рахує модуль різниці двох чисел
 * @param a перше число
 * @param b друге число
 * @return модуль різниці a і b
 */
public static double difference(double a, double b) {
	return Math.abs(a - b);
}
/**
 * Метод шукає середнє арифметичне
 * @param values вхідний масив
 * @return середнє арифметичне елементів у вхідному масиві, або Double.NaN, якщо масив порожній.
 */
public static double average(double... values) {
	return StatUtils.mean(values);
}
/**
 * Метод шукає середньоквадратичне відхилення
 * @param values вхідний масив
 * @return середньоквадратичне відхилення
 */
public static double stdDeviance(double... values) {
	return Math.sqrt(StatUtils.variance(values));
}}
```

ДОДАТОК Б. СТРУКТУРА ПРОЕКТУ