

Wprowadzenie do grafiki maszynowej. Wprowadzenie do algorytmów rastrowych

Aleksander Denisiuk
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Olsztyn, ul. Słoneczna 54
denisjuk@matman.uwm.edu.pl

Wprowadzenie do algorytmów rastrowych

- ❖ Rasteryzacja odcinka
- ❖ Rasteryzacja okręgu
- ❖ Rasteryzacja elipsy
- ❖ Rasteryzacja krywej
- ❖ Wypełnienie obszaru

Najnowsza wersja tego dokumentu dostępna jest pod adresem

<http://wmii.uwm.edu.pl/~denisjuk/uwm>

Rasteryzacja odcinka

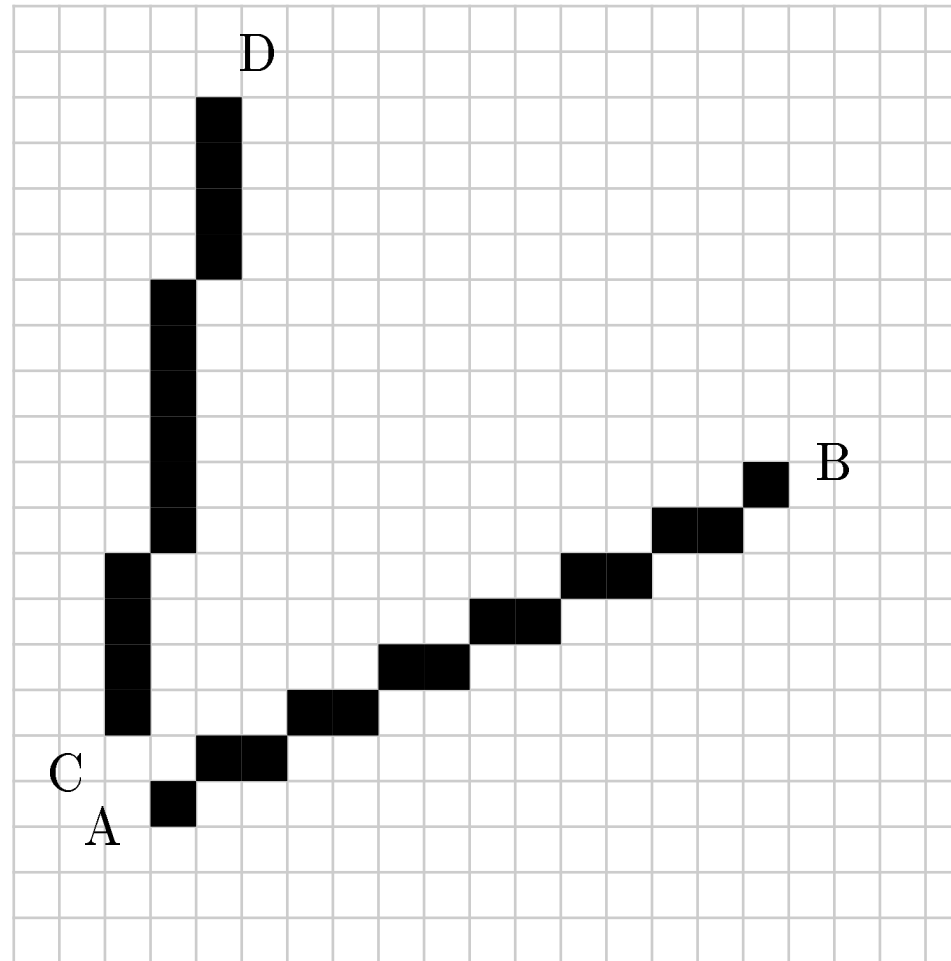
❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru



Założenia

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

- (x, y) — współrzędne „abstrakcyjne”, liczby rzeczywiste
- (i, j) — współrzędne ekranowe, liczby całkowite
- $x_2 > x_1, y_2 \geq y_1$
- $y_2 - y_1 \leq x_2 - x_1$
- **Zaokrąglenie:** $i_1 = \text{round}(x_1)$, $i_2 = \text{round}(x_2)$,
 $j_1 = \text{round}(y_1)$, $j_2 = \text{round}(y_2)$

Algorytm

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

- $y(i) = j_1 + \frac{i-i_1}{i_2-i_1}(j_2 - j_1)$
- $j = \text{round}(y)$
- Kod:

Wejście: (i_1, j_1) — początek odcinka, (i_2, j_2) — koniec odcinka, $i_2 > i_1, j_2 \geq j_1, j_2 - j_1 \leq i_2 - i_1$

Wynik: Odcinek został wyświetlony

```
 $m \leftarrow \frac{j_2 - j_1}{i_2 - i_1}$   
writePixel( $i_1, j_1$ )  
 $y \leftarrow j_1$   
for  $i = i_1 + 1$  to  $i_2$  do  
     $y \leftarrow y + m$   
     $j \leftarrow \text{round}(y)$   
    writePixel( $i, j$ )  
end for
```

Kumulacja przyrostu y

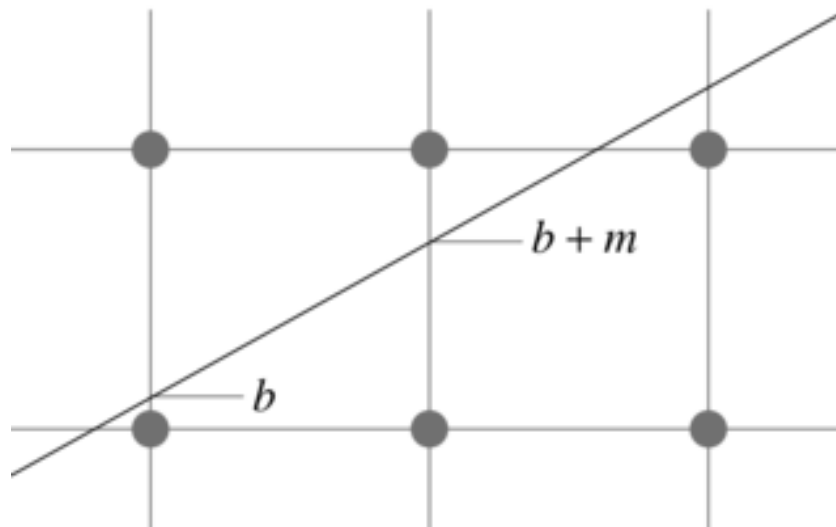
❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru



- na każdym kroku do przyrostu y dodaje się m
- przechodzimy o jeden piksel w górę, jeżeli przyrost przekroczy $1/2$

Algorytm 2

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

Wejście: (i_1, j_1) — początek odcinka, (i_2, j_2) — koniec odcinka, $i_2 > i_1, j_2 \geq j_1, j_2 - j_1 \leq i_2 - i_1$

Wynik: Odcinek został wyświetlony

$$m \leftarrow \frac{j_2 - j_1}{i_2 - i_1}$$

$$b \leftarrow 0$$

writePixel(i_1, j_1)

$$j \leftarrow j_1$$

for $i = i_1 + 1$ **to** i_2 **do**

$$b \leftarrow b + m$$

if $b > \frac{1}{2}$ **then**

$$j \leftarrow j + 1$$

$$b \leftarrow b - 1$$

end if

writePixel(i, j)

end for

Eliminacja liczb rzeczywistych

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

- przyrost jest wielokrotnością $m = \frac{j_2 - j_1}{i_2 - i_1}$:
 - ◆ $b = k \frac{j_2 - j_1}{i_2 - i_1}$
- $b < \frac{1}{2} \iff 2k(j_2 - j_1) < i_2 - i_1$
 - ◆ zamieniamy przyrost na przyrost całkowity
 - ◆ przyrost całkowity na każdym kroku zwiększa się o $2\Delta j = 2(j_2 - j_1)$
 - ◆ przechodzimy na wyższy poziom w j , jeżeli przyrost całkowity przekroczy $(i_2 - i_1)$

Algorytm Bresenhama

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

Wejście: (i_1, j_1) — początek odcinka, (i_2, j_2) — koniec odcinka, $i_2 > i_1, j_2 \geq j_1, j_2 - j_1 \leq i_2 - i_1$

Wynik: Odcinek został wyświetlony

$m \leftarrow 2(j_2 - j_1)$

$b \leftarrow 0$

$\text{writePixel}(i_1, j_1)$

$j \leftarrow j_1$

$P \leftarrow i_2 - i_1$

for $i = i_1 + 1$ **to** i_2 **do**

$b \leftarrow b + m$

if $b > P$ **then**

$j \leftarrow j + 1$

$b \leftarrow b - 2P$

end if

$\text{writePixel}(i, j)$

end for

Osiem symetrii okręgu

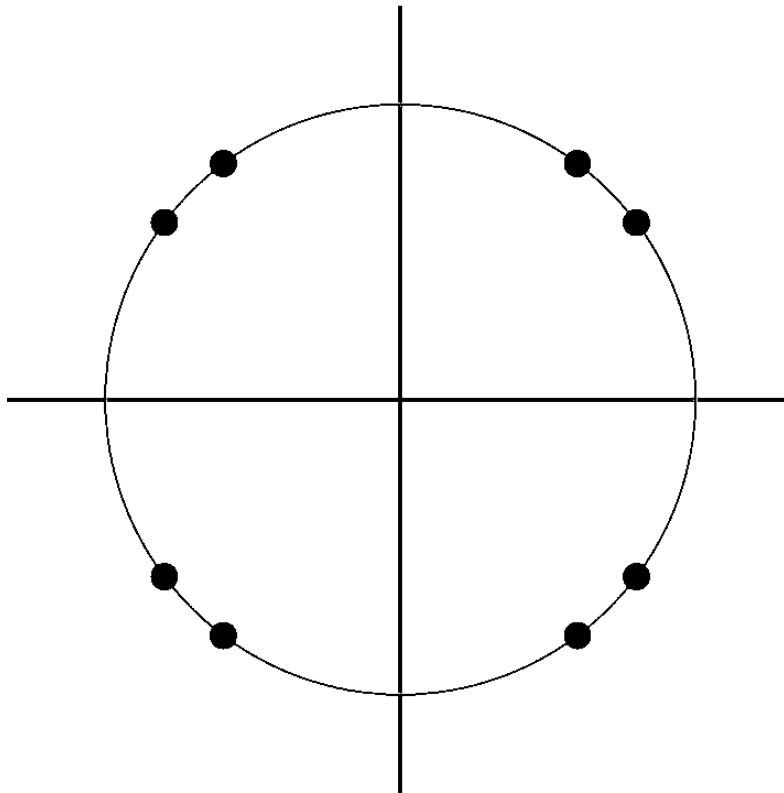
❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

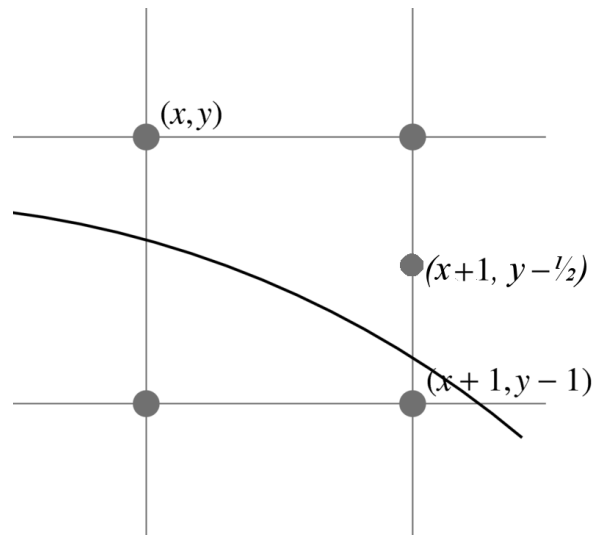
❖ Wypełnienie obszaru



- $x^2 + y^2 = R^2$
- jeżeli (x, y) leży na okręgu, to
 - ◆ $(y, x), (x, -y), (y, -x), (-x, y), (-y, x), (-x, -y), (-y, -x)$ też leżą na okręgu

Wybór następnego piksela

- ❖ Rasteryzacja odcinka
- ❖ Rasteryzacja okręgu
- ❖ Rasteryzacja elipsy
- ❖ Rasteryzacja krywej
- ❖ Wypełnienie obszaru



- Zaczynamy od wierzchołka $(0, R)$
- Analizujemy $f(x, y) = 4((x+1)^2 + (y - \frac{1}{2})^2 - R^2)$
 - ◆ jeżeli $f(x, y) > 0$ to przechodzimy w prawo i w dół
 - ◆ jeżeli $f(x, y) < 0$ to przechodzimy tylko w prawo
- $f(x+1, y) = f(x, y) + 8x + 12$
- $f(x+1, y-1) = f(x, y) + 8x - 8y + 20$
- $f(0, R) = 5 - 4R$

Algorytm

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

Wejście: Środek okręgu jest w $(0, 0)$, promień $R \in \mathbb{N}$

Wynik: Okrąg został wyświetlony

$i \leftarrow 0, j \leftarrow R, f \leftarrow 5 - 4R$

writePixel(i, j)

while $i < j$ **do**

if $f > 0$ **then**

$f \leftarrow f + 8i - 8j + 20$

$j \leftarrow j - 1$

else

$f \leftarrow f + 8i + 12$

end if

$i \leftarrow i + 1$

writePixel(i, j)

end while

Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

- Zaczynamy od wierzchołka $(0, b)$
- Analizujemy $f(x, y) = 4a^2b^2 \left(\frac{(x+1)^2}{a^2} + \frac{(y-\frac{1}{2})^2}{b^2} - 1 \right)$
 - ◆ jeżeli $f(x, y) > 0$ to przechodzimy w prawo i w dół
 - ◆ jeżeli $f(x, y) < 0$ to przechodzimy tylko w prawo
- $f(x + 1, y) = f(x, y) + 8b^2x + 12b^2$
- $f(x + 1, y - 1) = f(x, y) + 8b^2x - 8a^2y + 12b^2 + 8a^2$
- $f(0, b) = 4b^2 - 4a^2b + a^2$

Zmiana kierunku

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

- Jeżeli $b^2x > a^2y$, to zmienia się kierunek rasteryzacji
- Analizujemy $g(x, y) = 4a^2b^2 \left(\frac{(x+\frac{1}{2})^2}{a^2} + \frac{(y-1)^2}{b^2} - 1 \right)$
 - ◆ jeżeli $g(x, y) > 0$ to przechodzimy w prawo i w dół
 - ◆ jeżeli $g(x, y) < 0$ to przechodzimy tylko w dół
- $g(x, y) = f(x, y) - 4b^2x - 3b^2 - 4a^2y + 3a^2$
- $g(x, y - 1) = g(x, y) - 8a^2y + 12a^2$
- $g(x + 1, y - 1) = g(x, y) + 8b^2x - 8a^2y + 8b^2 + 12a^2$

Algorytm

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

Wejście: Środek elipsy jest w $(0, 0)$, promienie $a, b \in \mathbb{N}$

Wynik: Elipsa została wyświetlona

$i \leftarrow 0, j \leftarrow b, f \leftarrow 4b^2 - 4a^2b + a^2$

writePixel(i, j)

while $b^2i < a^2j$ **do**

if $f > 0$ **then**

$f \leftarrow f + 8b^2i - 8a^2j + 12b^2 + 8a^2$

$j \leftarrow j - 1$

else

$f \leftarrow f + 8b^2i + 12b^2$

end if

$i \leftarrow i + 1$

 writePixel(i, j)

end while

Algorytm. Zmiana kierunku

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

```

$$g \leftarrow f - 4b^2i - 3b^2 - 4a^2j + 3a^2$$
while  $j > 0$  do  
  if  $g \leq 0$  then  
     $g \leftarrow g + 8b^2i - 8a^2j + 8b^2 + 12a^2$   
     $i \leftarrow i + 1$   
  else  
     $g \leftarrow g - 8a^2j + 12a^2$   
  end if  
   $j \leftarrow j - 1$   
  writePixel( $i, j$ )  
end while
```

Rasteryzacja krywej

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

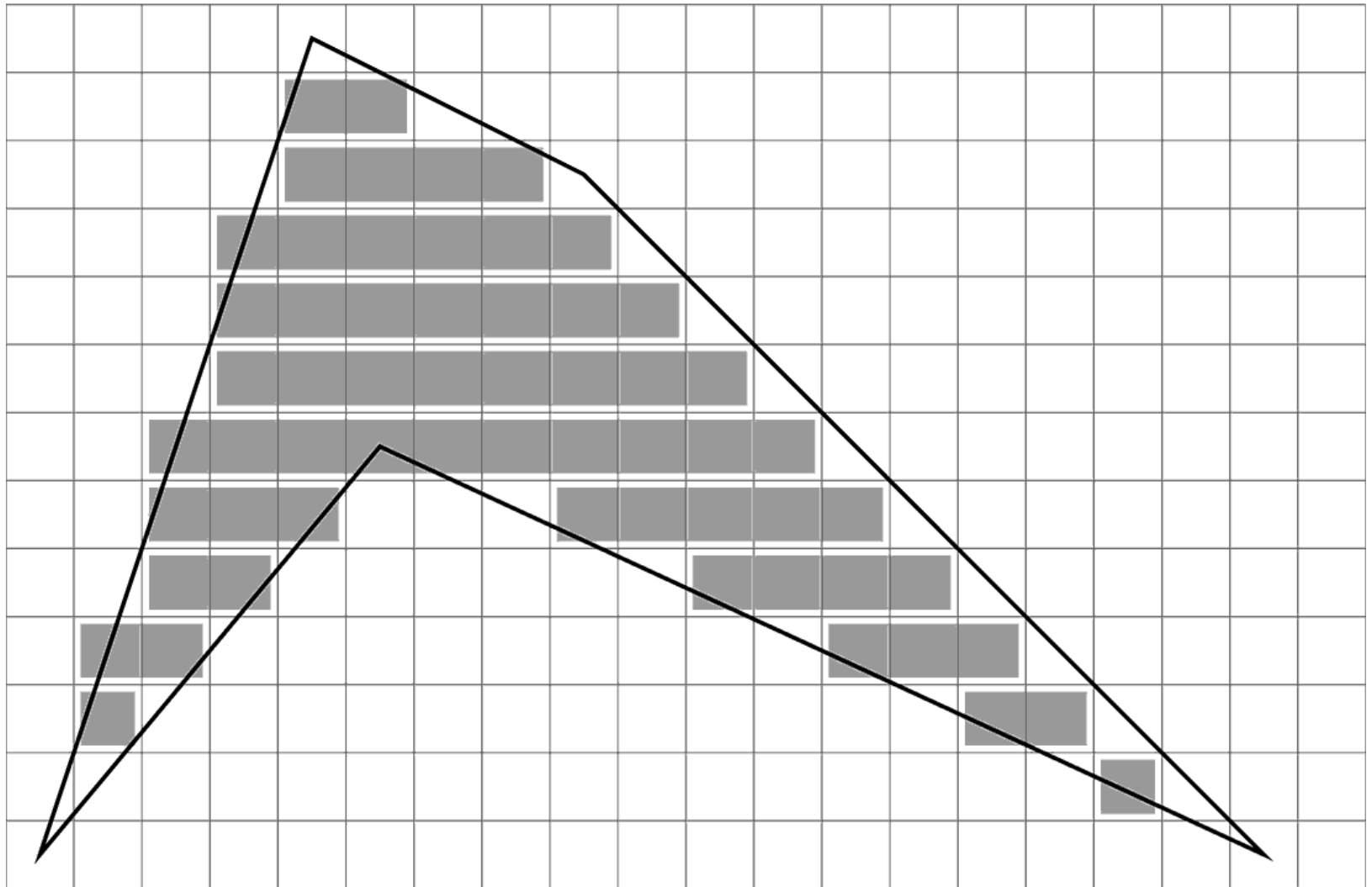
❖ Wypełnienie obszaru

- Przybliżenie przez łamaną

- Metoda Eulera dla równania
$$\begin{cases} \dot{x} = f_1(x, y), \\ \dot{y} = f_2(x, y), \\ x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0. \end{cases}$$

Wypełnienie wieloboku

- ❖ Rasteryzacja odcinka
- ❖ Rasteryzacja okręgu
- ❖ Rasteryzacja elipsy
- ❖ Rasteryzacja krywej
- ❖ Wypełnienie obszaru



Przeglądanie liniami poziomymi (Scanline interpolation)

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

Wejście: lista krawędzi wieloboku $\{ [(x_i, y_i), (x_{i+1}, y_{i+1})] \}$,
 $i = 0, \dots, n, x_n = x_0, y_n = y_0$

Wynik: wypełniono wnętrze wieloboku
uporządkuj wierzchołki w krawędziach aby $y_i < y_{i+1}$, usuń krawędzie poziome

uporządkuj krawędzie w kolejności rosnących y_i

$TAK \leftarrow \emptyset$ (Tabela Aktywnych Krawędzi)

$y \leftarrow y_i$ pierwszej krawędzi

repeat

$TAK \leftarrow TAK \cup \{ \text{krawędzie, których pierwszy koniec jest na linii } y \}$

Opracowanie poziomu y

$y ++$;

$TAK \leftarrow TAK \setminus \{ \text{krawędzie, których drugi koniec jest na linii } y \}$

until $TAK = \emptyset$

Opracowanie poziomu y

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

Wejście: $TKA \neq \emptyset$ (zawiera parzystą ilość elementów)

Wynik: wypełniony poziom y

for all krawędzi z TKA **do**

Oblicz współrzędną x punktu przecięcia z linią poziomą y

end for

Posortuj TKA w kolejności rosnących współrzędnych x punktów przecięcia

for all kolejnych par krawędzi z TKA **do**

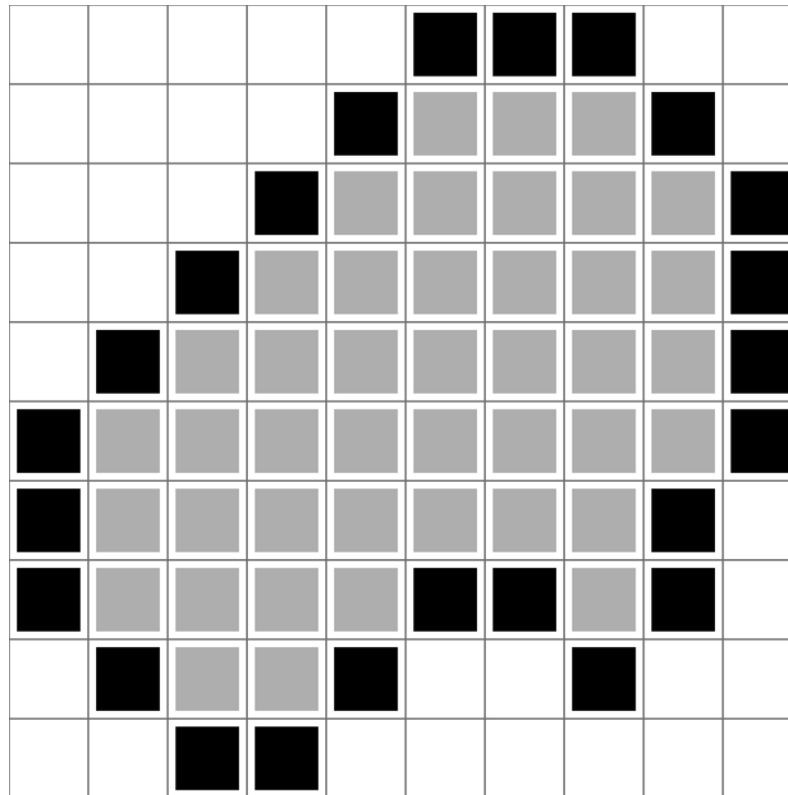
rysuj odcinek poziomy na linii y , między ich punktami przecięcia z linią y ;

end for

Wypełnianie przez zalewanie

- ❖ Rasteryzacja odcinka
- ❖ Rasteryzacja okręgu
- ❖ Rasteryzacja elipsy
- ❖ Rasteryzacja krywej
- ❖ Wypełnienie obszaru

- obszar jest czterospójny
- brzeg obszaru jest ośmiospójny



Procedura rekurencyjna

❖ Rasteryzacja odcinka

❖ Rasteryzacja okręgu

❖ Rasteryzacja elipsy

❖ Rasteryzacja krywej

❖ Wypełnienie obszaru

Wejście: punkt (i, j) zawiera się w obszarze

Wynik: zamalowany cały obszar

if niezamalowany wewnętrzny piksel (i, j) **then**

 Zamaluj (i, j)

 Wypełnij poczynając z $(i - 1, j)$

 Wypełnij poczynając z $(i, j - 1)$

 Wypełnij poczynając z $(i + 1, j)$

 Wypełnij poczynając z $(i, j + 1)$

end if

Stos zawieszonych zadań

Wejście: punkt (i, j) zawiera się w obszarze

Wynik: zamalowany cały obszar

Stos $S \leftarrow \emptyset$

zamaluj (i, j) ; $S \leftarrow S \cup (i, j)$

while $S \neq \emptyset$ **do**

$S \leftarrow S \setminus (i, j)$

if niezamalowany wewnętrzny piksel $(i - 1, j)$ **then**
 zamaluj $(i - 1, j)$; $S \leftarrow S \cup (i - 1, j)$

end if

if niezamalowany wewnętrzny piksel $(i, j - 1)$ **then**
 zamaluj $(i, j - 1)$; $S \leftarrow S \cup (i, j - 1)$

end if

if niezamalowany wewnętrzny piksel $(i + 1, j)$ **then**
 zamaluj $(i + 1, j)$; $S \leftarrow S \cup (i + 1, j)$

end if

if niezamalowany wewnętrzny piksel $(i, j + 1)$ **then**
 zamaluj $(i, j + 1)$; $S \leftarrow S \cup (i, j + 1)$

end if

end while

❖ Rasteryzacja
odcinka

❖ Rasteryzacja
okręgu

❖ Rasteryzacja
elipsy

❖ Rasteryzacja
krywej

❖ Wypełnienie
obszaru