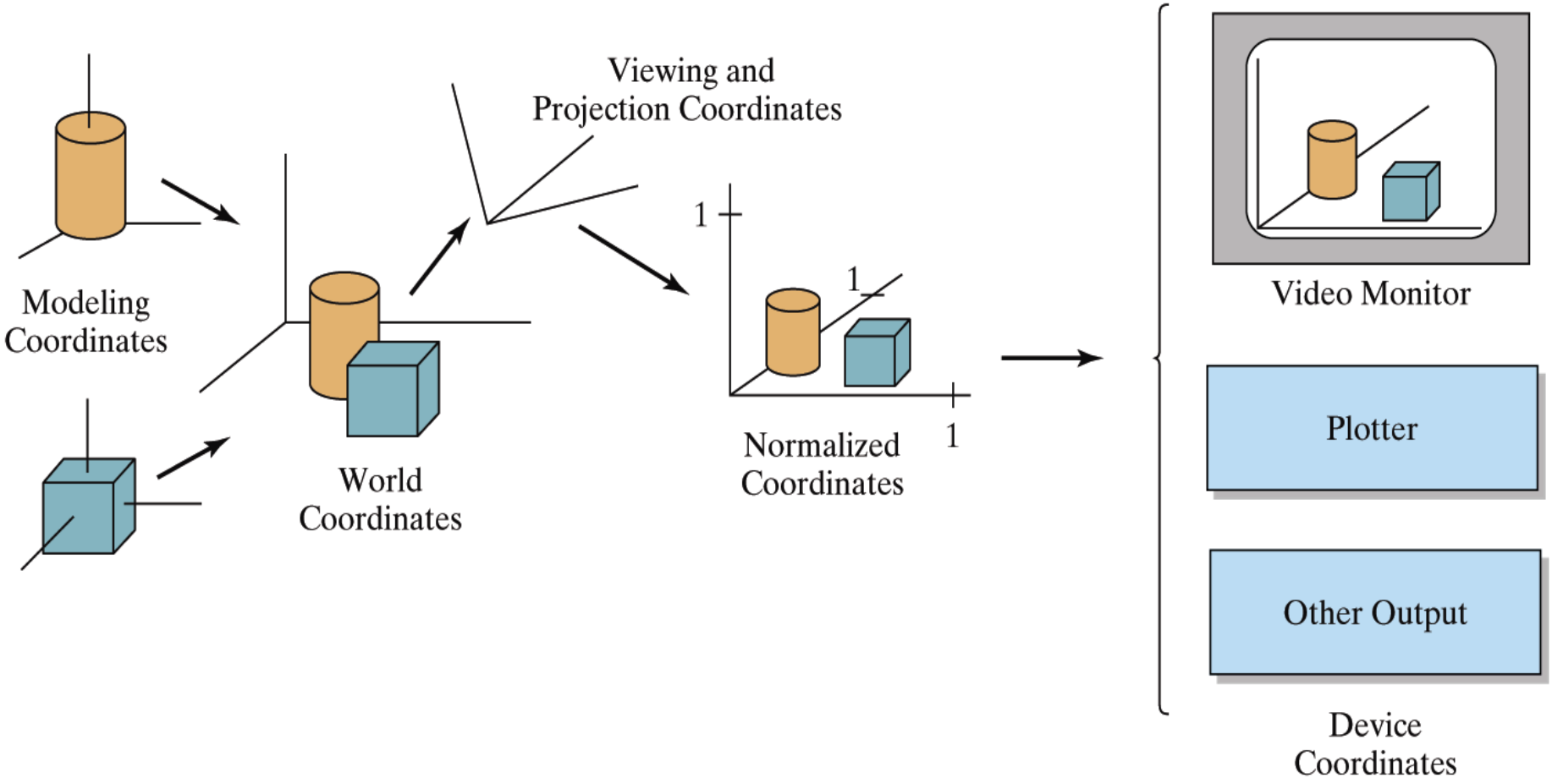
Компютърна графика

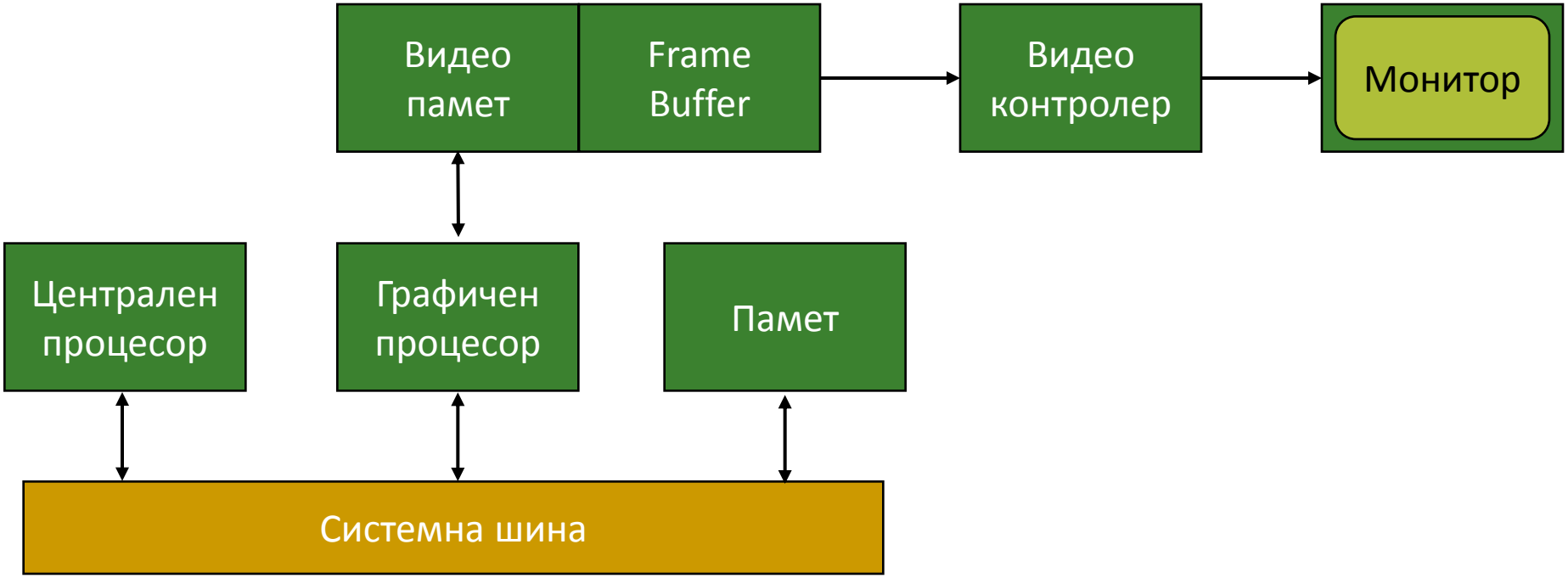
Основни алгоритми за растеризиране

доц. Милена Лазарова, кат. КС, ФКСУ

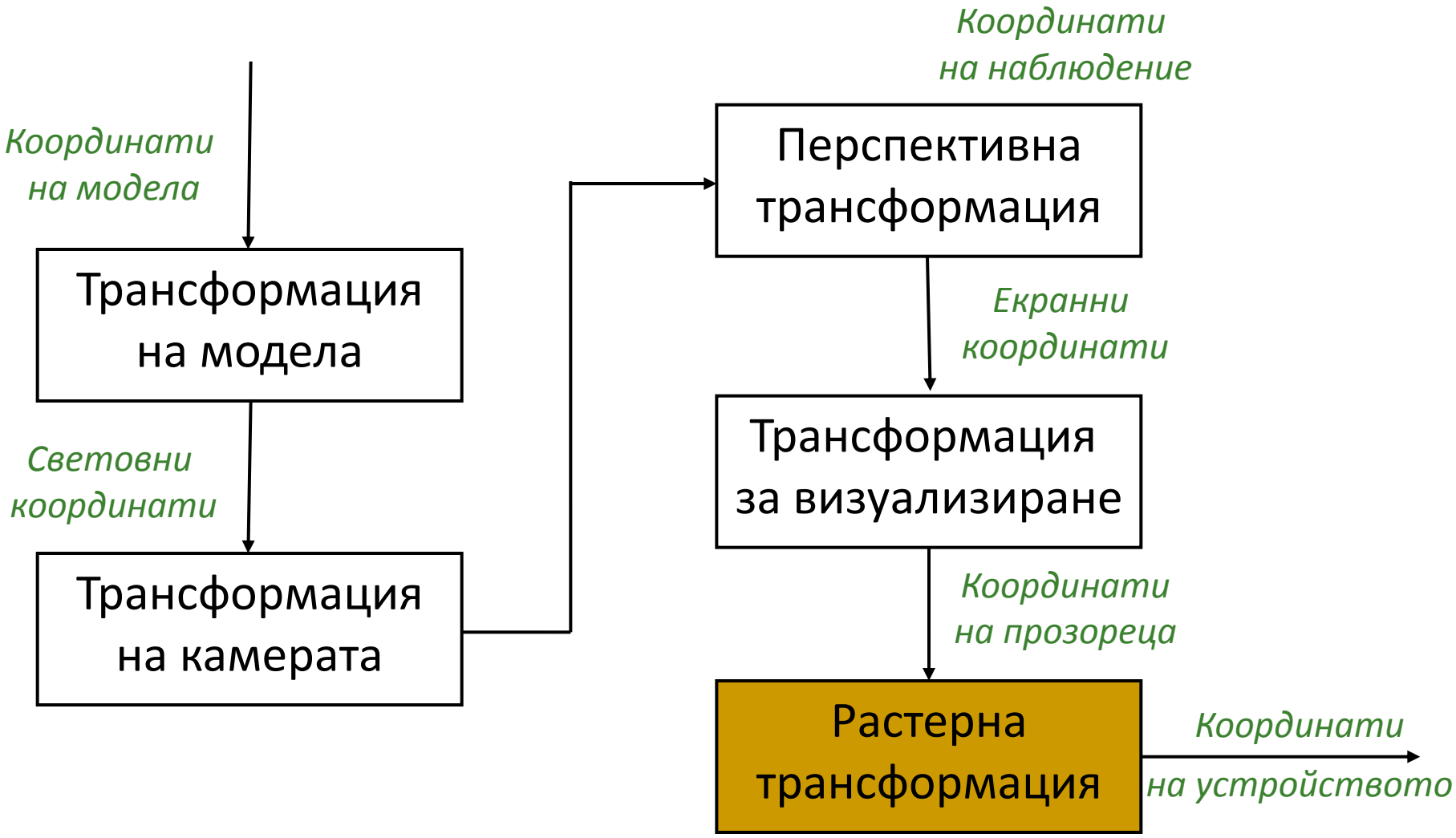
Компютърна графика



Архитектура на графична система



Основен графичен конвейер



Растерна трансформация

- Последната стъпка от графичния конвейер
  - растерна трансформация
  - растеризиране (***scan conversion***)
    - преобразуване на геометрични примитиви в масив от пиксели, съхранявани в буферна памет преди визуализиране
- Изпълнява се след изрязването (clipping)

- Всички графични библиотеки изпълняват растеризирането в края на графичния конвейер
  - преобразуват се примитиви в пиксели на екрана
  - отчитат се и други характеристики като осветеност

Растерна трансформация

- ***Да се изчертае линия между две точки в растерен екран***

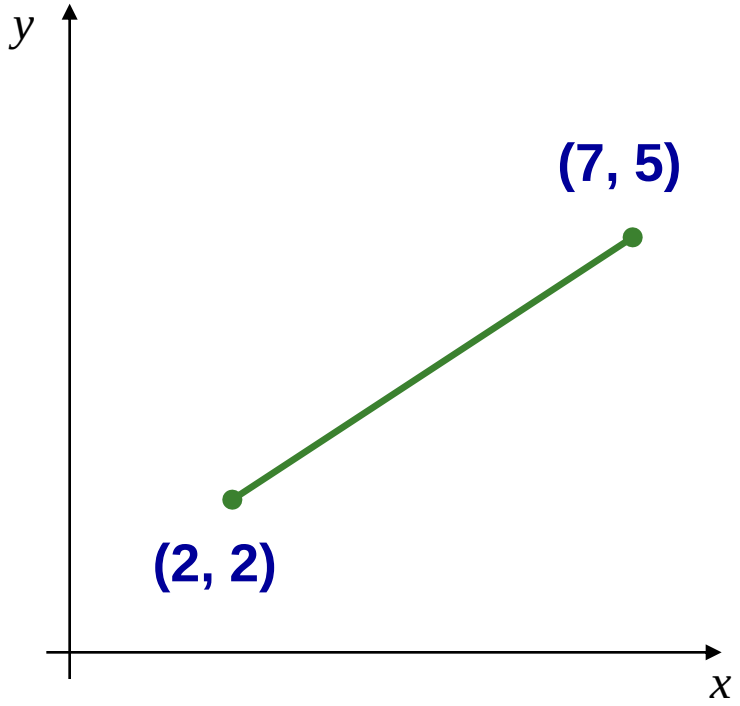
- Некоректно поставена задача
  - не се задава какви могат да бъдат крайните точки
  - не се дефинира какво означава “да се изчертае”
  - не се определя какво е “линия” в растерен модел
  - не се формулира как ще се измерва качество на различните алгоритми за изчертаване

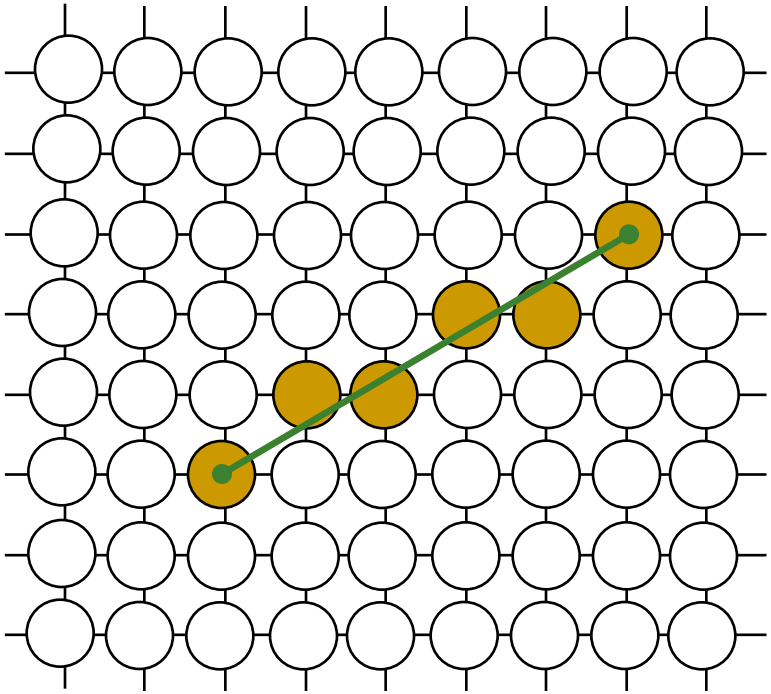
Изчертаване на линия

- ***Формулиране на задачата***
  - Дадени са две точки P и Q с целочислени координати в 2D координатна система
  - Да се определи кои пиксели от растерен образ трябва да се визуализират за да се представи линеен сегмент с единична дебелина с начална точка P и крайна точка Q

Изчертаване на линия

- Как да се определи кои пиксели от растерния образ да се изчертаят?





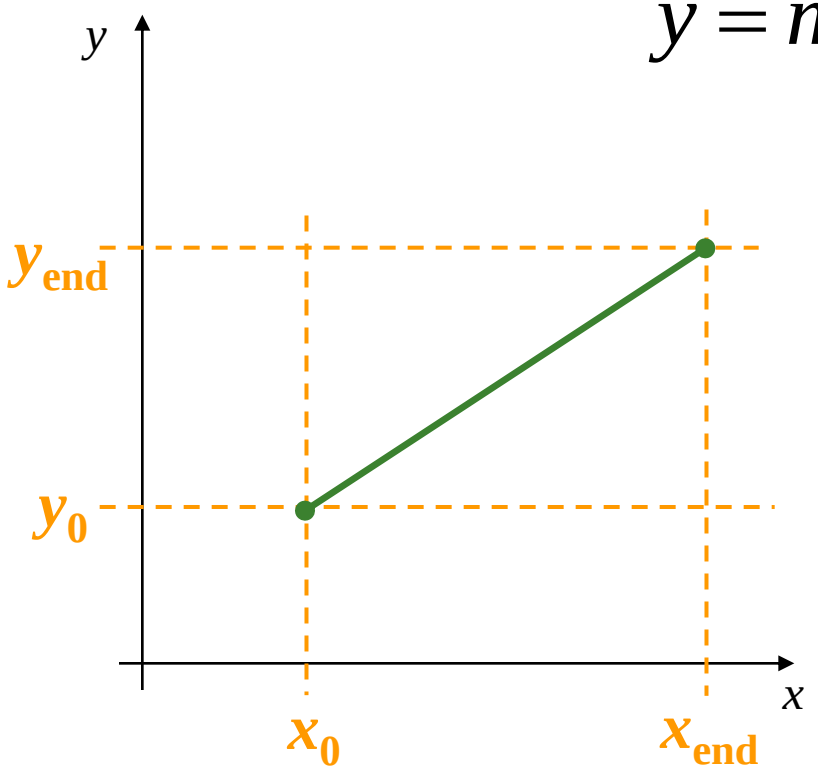
Изчертаване на линия

- Изисквания
  - линията да има колкото е възможно по-правилна форма (права)
    - да се избегнат “нащърбвания” (“jaggies”)
  - да се изчертава бързо!
    - обикновено сцените съдържат голям брой линии

Изчертаване на линия

- Декартово уравнение на права

$$y = m \cdot x + b$$



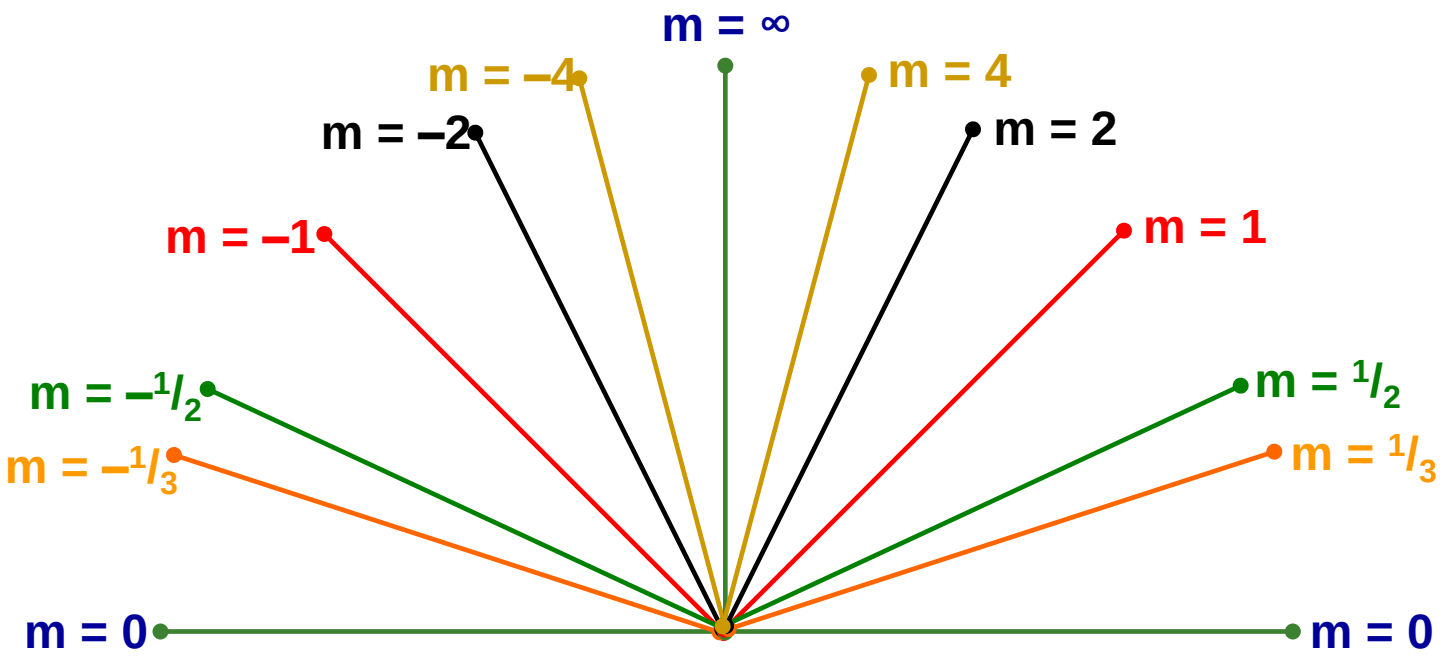
където ъгловият коефициент *m* и отрезът *b* се определят като

$$m = \frac{y_{end} - y_0}{x_{end} - x_0}$$

$$b = y_0 - m \cdot x_0$$

Изчертаване на линия

- Ъгловият коефициент *m* определя наклона на правата



Изчертаване на линия

- **Алгоритъм на грубата сила (“brute force”)**

  два варианта

  - по стойностите на x да се определят стойностите на y

$$y = m \cdot x + b$$

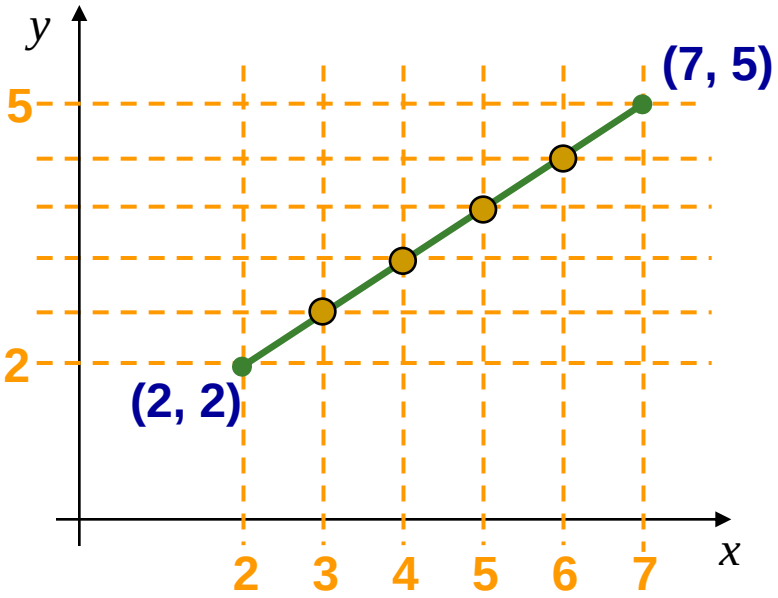
  - по стойностите на y да се определят стойностите на x

$$x = \frac{y - b}{m}$$

    - където $m = \frac{y_{end} - y_0}{x_{end} - x_0}$ $b = y_0 - m \cdot x_0$

Алгоритъм на грубата сила

- Пример
  - изчисляват се *m* и *b*: $m = \frac{5-2}{7-2} = \frac{3}{5}$ $b = 2 - \frac{3}{5} \cdot 2 = \frac{4}{5}$
  - за всяка стойност на *x* се определя стойността на *y*



$$y(3) = \frac{3}{5} \cdot 3 + \frac{4}{5} = 2\frac{3}{5}$$

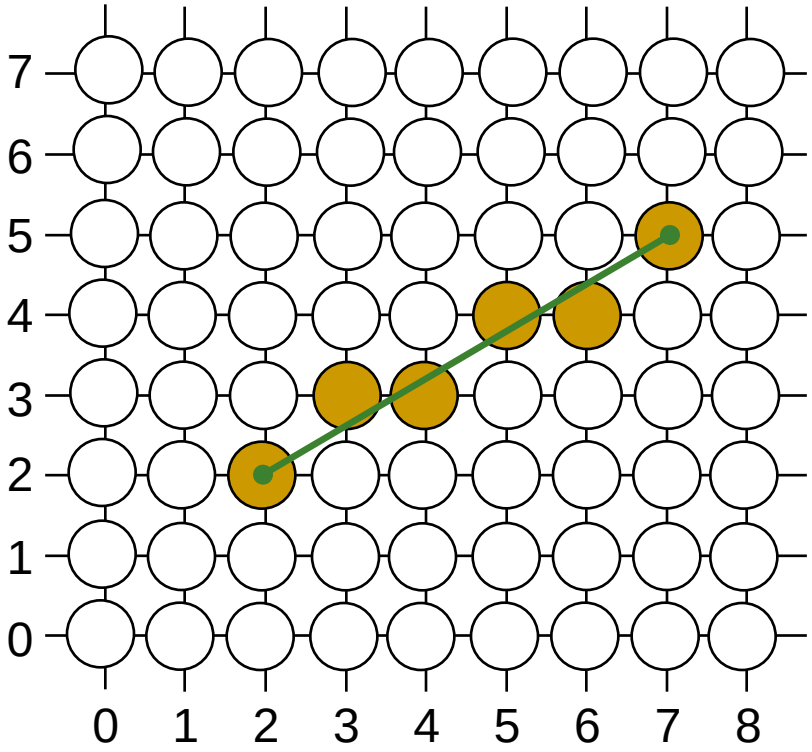
$$y(4) = \frac{3}{5} \cdot 4 + \frac{4}{5} = 3\frac{1}{5}$$

$$y(5) = \frac{3}{5} \cdot 5 + \frac{4}{5} = 3\frac{4}{5}$$

$$y(6) = \frac{3}{5} \cdot 6 + \frac{4}{5} = 4\frac{2}{5}$$

Алгоритъм на грубата сила

- Изчислените стойности се ***закръглят*** и се изчертават



$$y(3) = 2\frac{3}{5} \approx 3$$

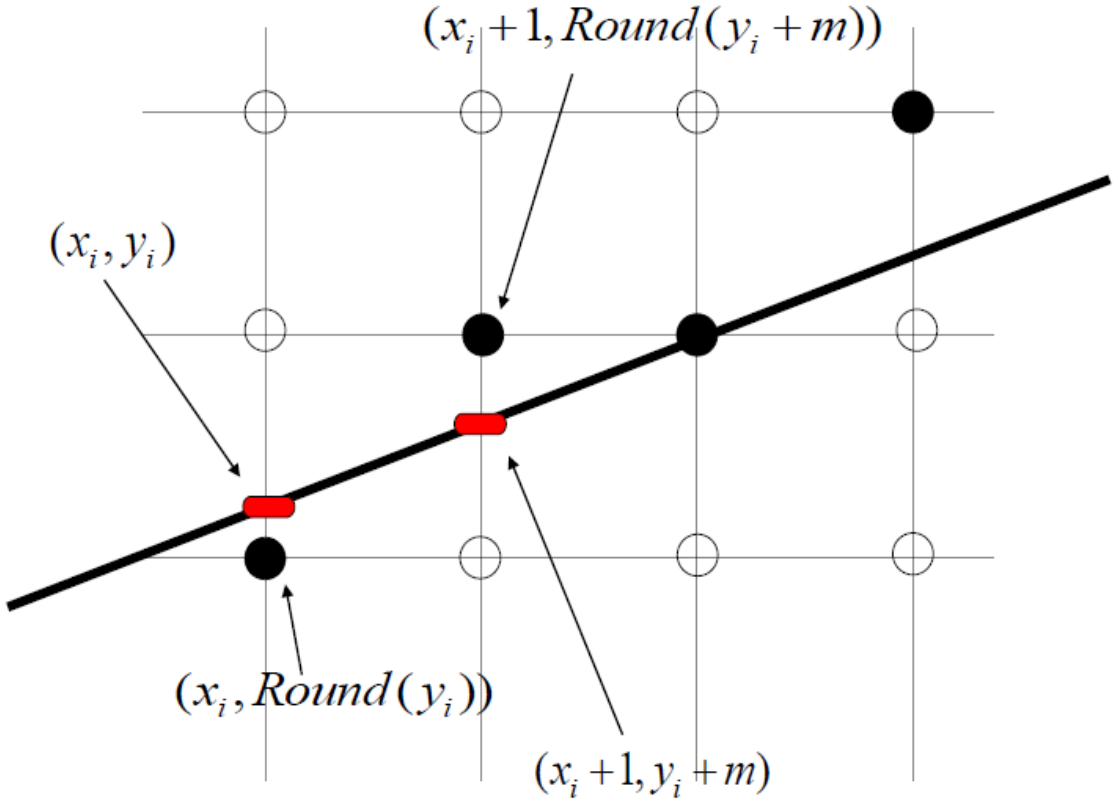
$$y(4) = 3\frac{1}{5} \approx 3$$

$$y(5) = 3\frac{4}{5} \approx 4$$

$$y(6) = 4\frac{2}{5} \approx 4$$

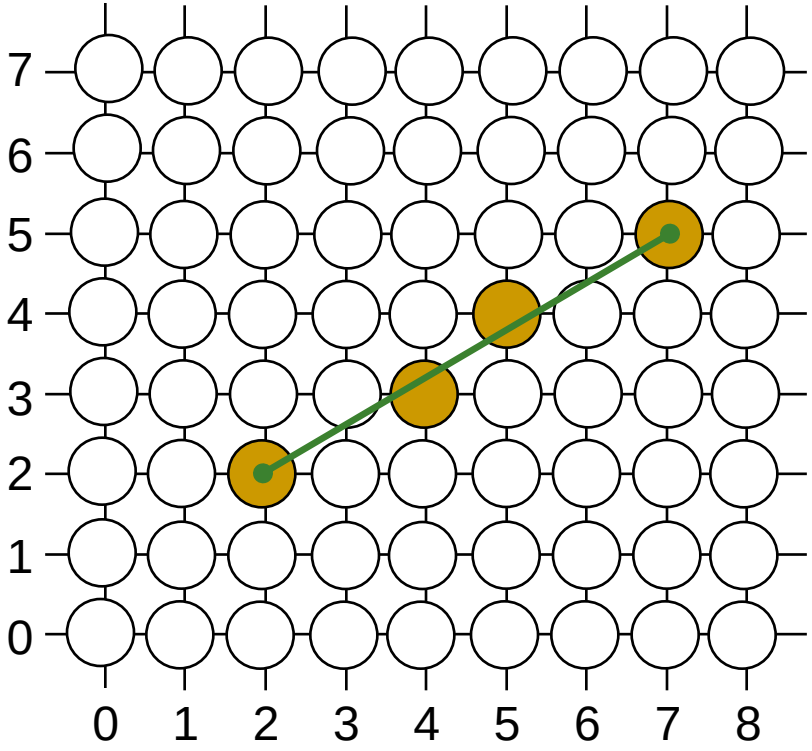
Алгоритъм на грубата сила

- Изчислените стойности се ***закръглява*** и се изчертават



Алгоритъм на грубата сила

- Ако по стойностите на *y* се изчислят и закръглят стойностите на *x*, то се получава



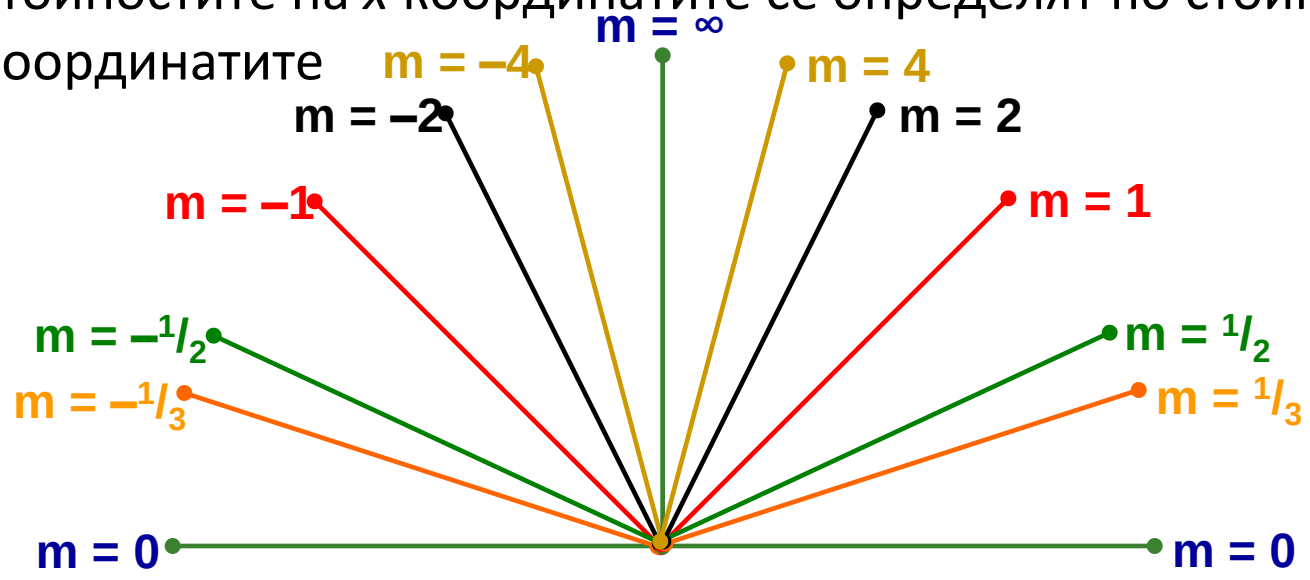
$$x(3) = 3\frac{2}{3} \approx 4$$

$$x(4) = 5\frac{1}{3} \approx 5$$

- по-лош резултат
- как да се изчертае линията (спрямо *x* или спрямо *y*) се определя от наклона *m*

Алгоритъм на грубата сила

- ***За права с наклон между –1 и 1***
  - стойностите на *y* координатите се определят по стойностите на *x* координатите
- ***В противен случай***
  - стойностите на *x* координатите се определят по стойностите на *y* координатите



Алгоритъм на грубата сила

- ***Алгоритъм на грубата сила***
  - бавен алгоритъм
    - определянето на стойностите на y изисква ***умножение*** на *m* и *x*
    - определянето на пикселите за изчертаване изисква ***закръгляване***

Изчертаване на линия

- **Алгоритъм *Digital Differential Analyzer* (DDA)**
  - за ускоряване на изчисленията се използва ***инкрементален*** подход
  - стойността на координатата y_{k+1} се определя на базата на стойността на координатата y_k

  - *Differential Analyzer е физическа машина, създадена през 1930 в MIT от Vannevar Bush с цел решаване на диференциални уравнения*

Алгоритъм DDA

- В примера за алгоритъма на грубата сила изчертаването на линията е на базата на точките

  (2, 2)

  (3, 23/5)

  (4, 31/5)

  (5, 34/5)

  (6, 42/5)

  (7, 5)

- ***При увеличаване на стойността на x координатите с 1, стойностите на y координатите се увеличават със стойността на наклона на правата***

Алгоритъм DDA

- За права линия с наклон между –1 и 1
  - започвайки от началната точка на линията стойността на *x* координатата се инкрементира с 1, а стойността на съответната y координата се определя като

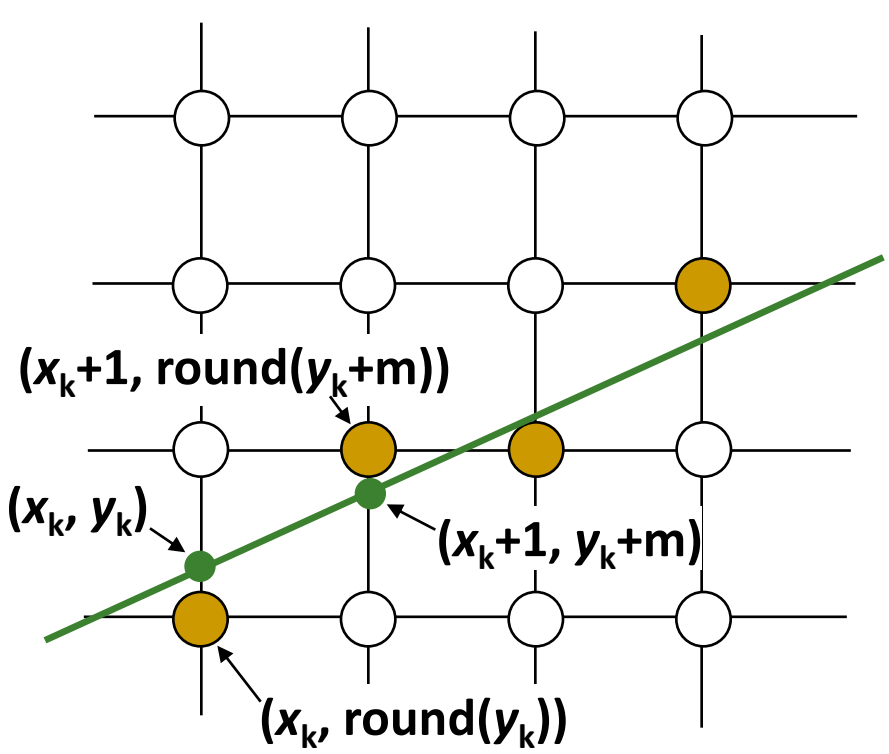
$$y_{k+1} = y_k + m$$

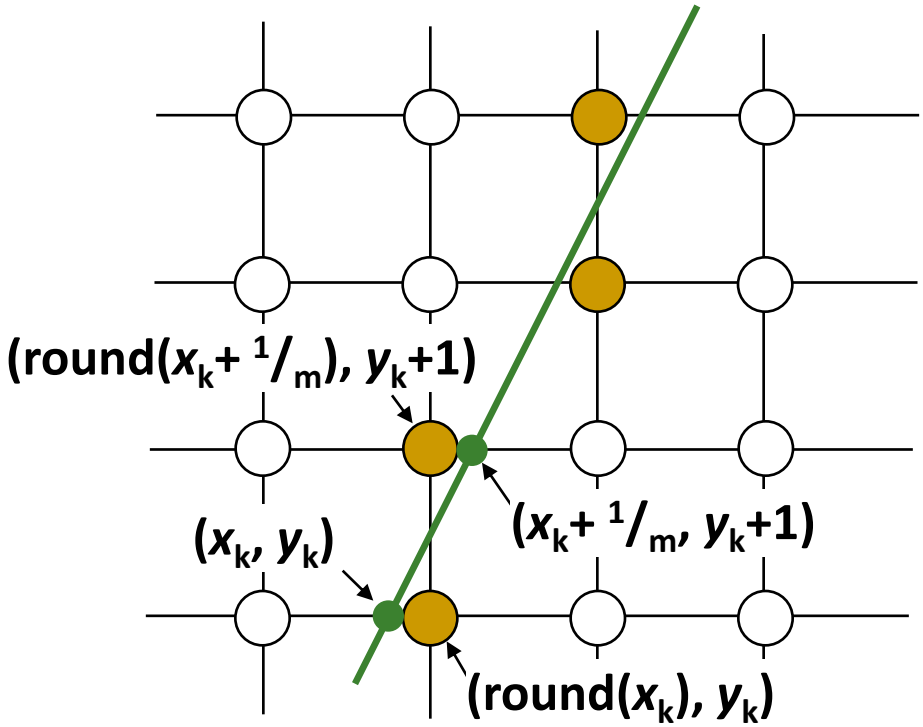
- За права с наклон по-голям от 1 или по-малък от – 1
  - *y* координатата се инкрементира с 1 и се изчислява съответната *x* координата като

$$x_{k+1} = x_k + \frac{1}{m}$$

Алгоритъм DDA

- Изчислените с алгоритъма DDA стойности се ***закръглява*** за да се определят координатите на пикселите за изчертаване





Алгоритъм DDA

- ***Предимства***
  - алгоритъмът DDA е много по-бърз от алгоритъма на грубата сила
    - не изисква умножение
- ***Недостатъци***
  - натрупването на грешки от закръгляване може да доведе до отклоняване на растеризираната линия от векторното й представяне
  - закръгляването и операциите с плаваща запетая са изчислително сложни

Алгоритъм DDA

```
// DDA Line Algorithm
// Assume x0 < x1

void Line(int x0, int y0,
          int x1, int y1) {
   int x, y;
   float dy = y1 - y0;
   float dx = x1 - x0;
   float m = dy / dx;

   y = y0;
   for (x = x0; x < x1; x++) {
       WritePixel(x, Round(y));
       y = y + m;
   }
}
```

закръгляването е изчислително сложно и води до натрупване на грешка

тъй като наклонът се определя като отношение, вертикалните линии са специфичен случай

Алгоритъм DDA

- Определяне на следващ пиксел

  специални случаи

  - ***хоризонтална линия***
    - изчертава се пиксел P и се увеличава x координатата му с 1 за да се определи следващия пиксел
  - ***вертикална линия***
    - изчертава се пиксел P и се увеличава y координатата му с 1 за да се определи следващия пиксел
  - ***диагонална линия***
    - изчертава се пиксел P и се увеличават x и y координатите му с 1 за да се определи следващ пиксел

Алгоритъм DDA

- Определяне на следващ пиксел
  в общия случай
  - увеличава се *x* координатата с 1 и се определя точка, която е най-близка до линията

- ***Как се измерва “близост”?***

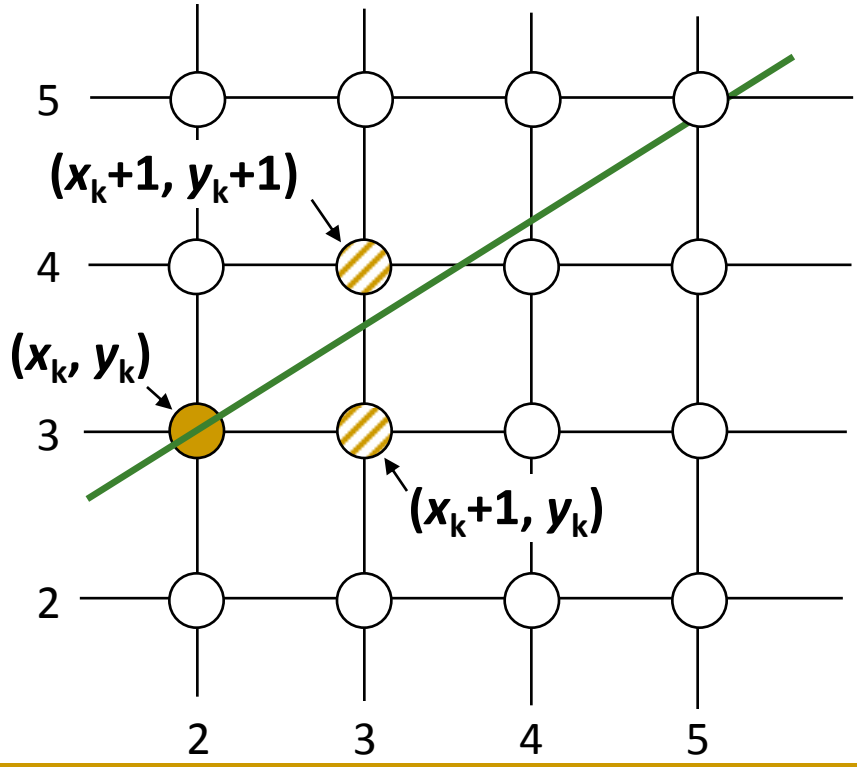
Изчертаване на линия

- ***Алгоритъмът на Брезенам***
  - Bresenham
  - Midpoint Line Algorithm

- Основно предимство
  - използва само ***целочислена аритметика***

Алгоритъмът на Брезенам

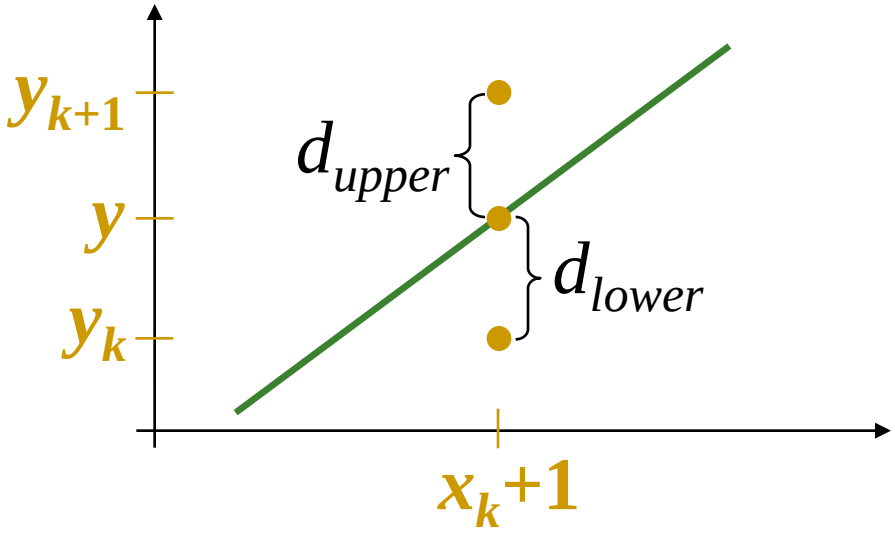
- Основна идея
  - *x* координатата се увеличава с 1 и се избира една от две възможни *y* координати
    - например от точка (2, 3) трябва да се избере между (3, 3) и (3, 4)
  - избира се точката, която е ***по-близо*** до правата линия



Алгоритъмът на Брезенам

- За точка с координати x_k+1 дължината на вертикалните отсечки до математическата линия са означени с d_{upper} и d_{lower}
- Стойността на y координатата върху линията в точка с координата x_k+1 е

$$y = m(x_k + 1) + b$$



Алгоритъмът на Брезенам

- Стойността на d_{lower} се изчислява като:

$$d_{lower} = y - y_k$$
$$= m(x_k + 1) + b - y_k$$

- Стойността на d_{upper} се изчислява като:

$$d_{upper} = (y_k + 1) - y$$
$$= y_k + 1 - m(x_k + 1) - b$$

- Решението кой пиксел се намира по-близо до математическата линия може да се вземе на базата на тези стойности

Алгоритъмът на Брезенам

- Най-простото решение се базира на разликата между позициите на двата пиксела

$$d_{lower} - d_{upper} = 2m(x_k + 1) - 2y_k + 2b - 1$$

- Ако означим с Δx и Δy разликите между координатите на двете крайни точки и заместим m с $\Delta y/\Delta x$:

$$\Delta x(d_{lower} - d_{upper}) = \Delta x(2\frac{\Delta y}{\Delta x}(x_k + 1) - 2y_k + 2b - 1)$$

$$= 2\Delta y \cdot x_k - 2\Delta x \cdot y_k + 2\Delta y + \Delta x(2b - 1)$$

$$= 2\Delta y \cdot x_k - 2\Delta x \cdot y_k + c$$

Алгоритъмът на Брезенам

- Решаващият параметър p_k за k-тата стъпка по протежение на линията се определя като:

$$p_k = \Delta x(d_{lower} - d_{upper})$$
$$= 2\Delta y \cdot x_k - 2\Delta x \cdot y_k + c$$

- ***Знакът*** на решаващия параметър съвпада със знака на разликата $d_{lower} - d_{upper}$
  - ако p_k е отрицателно, то се избира долния пиксел
  - в противен случай се избира горния пиксел

Алгоритъмът на Брезенам

- Тъй като изменението на координатите по абцисната ос *x* е със стъпка 1, изчисленията могат да са целочислени

- На стъпка *k*+1 решаващия параметър се определя като:

$$p_{k+1} = 2\Delta y \cdot x_{k+1} - 2\Delta x \cdot y_{k+1} + c$$

- Може да се определи разликата с решаващия параметър на предишната стъпка p_k:

$$p_{k+1} - p_k = 2\Delta y(x_{k+1} - x_k) - 2\Delta x(y_{k+1} - y_k)$$

Алгоритъмът на Брезенам

- Но x_{k+1} е всъщност равно на x_k+1, следователно:

$$p_{k+1} = p_k + 2\Delta y - 2\Delta x(y_{k+1} - y_k)$$

  - където $y_{k+1} - y_k$ има стойност или 0, или 1, в зависимост от знака на p_k

- На първата стъпка решаващият параметър p_0 се определя за началната точка от отсечката с координати (x_0, y_0) като:

$$p_0 = 2\Delta y - \Delta x$$

Алгоритъмът на Брезенам

Изчертаване на линия по алгоритъм на Брезенам

(за |m| < 1.0)

1. Въвеждат се координатите на двете крайни точки, като лявата точка има координати (x_0, y_0)
2. Изчертава се точката (x_0, y_0)
3. Изчисляват се константите Δx, Δy, $2\Delta y$ и $(2\Delta y - 2\Delta x)$ и се определя началната стойност на решаващия параметър:

$$p_0 = 2\Delta y - \Delta x$$

4. За всяка стойност на x_k по протежение на линията (започвайки от $k = 0$) се определя:
   - ако $p_k < 0$ то следващата точка за изчертаване е (x_k+1, y_k) и: $p_{k+1} = p_k + 2\Delta y$
   - в противен случай следващата точка за изчертаване е (x_k+1, y_k+1) и: $p_{k+1} = p_k + 2\Delta y - 2\Delta x$

5. Стъпка 4 се повтаря $(\Delta x - 1)$ пъти

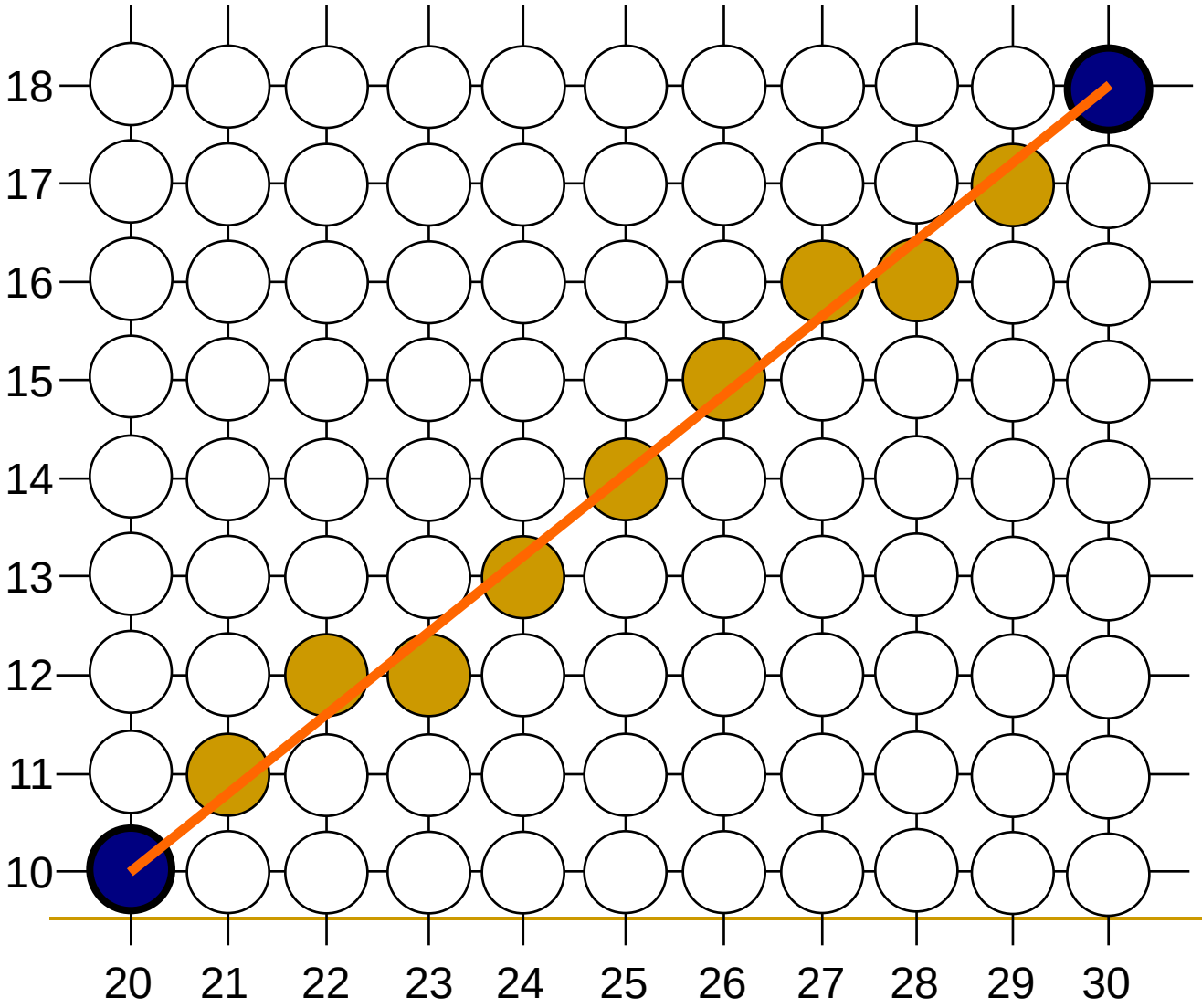
Алгоритъмът на Брезенам

```
void BresenhamLine (int x0, int y0, int x1, int y1) {
   int dx = x1 - x0;
   int dy = y1 - y0;
   int p = 2 * dy - dx;
   int incrE = 2 * dy;
   int incrNE = 2 * (dy - dx);
   int x = x0;
   int y = y0;
   writePixel(x, y);
   while (x < x1) {
       if (p <= 0) {          // East Case
              p = p + incrE;
       } else {               // Northeast Case
              p = p + incrNE;
              y++;   }
       x++;
       writePixel(x, y);
   }          /* while */
}             /* BresenhamLine */
```

Алгоритъмът на Брезенам

- Пример:
  - Да се изчертае линия от точка с координати (20, 10) до точка с координати (30, 18)
- *Стъпка 2:* Изчисляване на константите:
  - $\Delta x = 10$
  - $\Delta y = 8$
  - $2\Delta y = 16$
  - $2\Delta y - 2\Delta x = -4$
- *Стъпка 3:* Изчислява се началната стойност на решаващия параметър p_0:
  - $p_0 = 2\Delta y - \Delta x = 6$

Алгоритъмът на Брезенам



k	p_k	(x_{k+1}, y_{k+1})
0	6	(21, 11)
1	2	(22, 12)
2	–2	(23, 12)
3	14	(24, 13)
4	10	(25, 14)
5	6	(26, 15)
6	2	(27, 16)
7	–2	(28, 16)
8	14	(29, 17)
9	10	(30, 18)

Изчертаване на линия

- ***Алгоритъм DDA***
  - **недостатъци**
    - натрупването на грешки от закръгляване води до отклонение на растеризираната отсечка от реалната математическа линия
    - операциите закръгляване и изчисленията с реални стойности са времеотнемащи
- ***Алгоритъм на Брезенам***
  - **предимства**
    - бърз инкрементален алгоритъм
    - използва само целочислени изчисления

Изчертаване на окръжност

- Уравнение на окръжност в декартови координати

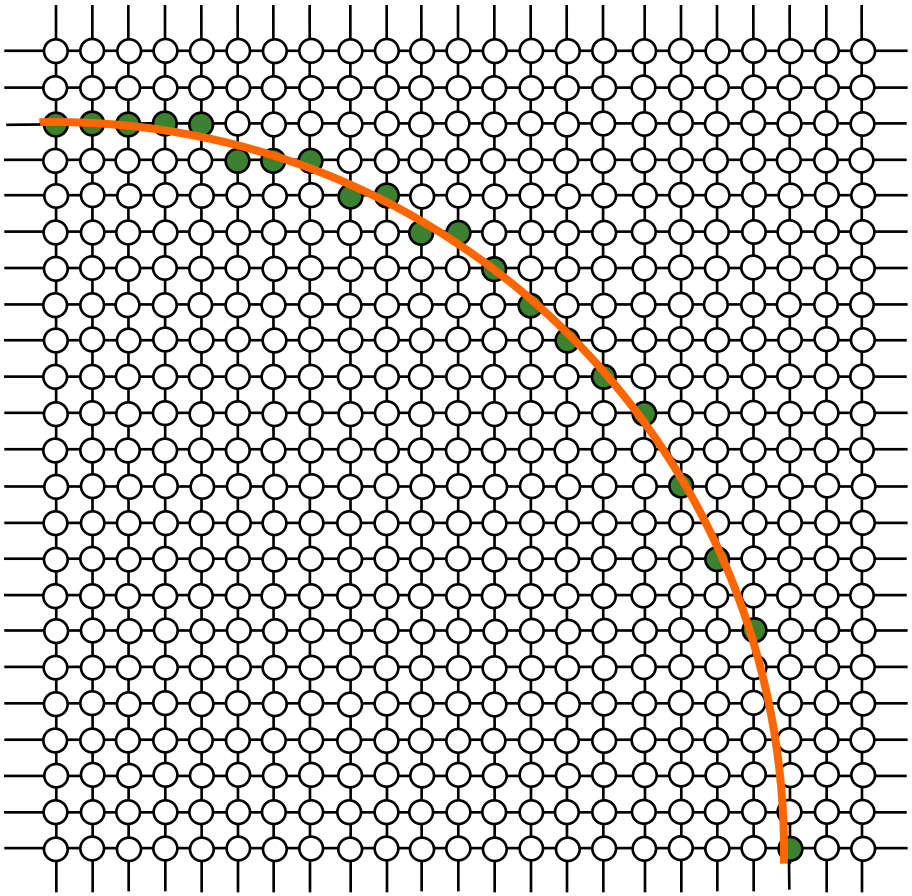
$$x^2 + y^2 = r^2$$

  - където *r* е радиус на окръжността

- ***Алгоритъм на грубата сила*** за изчертаване на окръжност
  - решава се уравнението на окръжността за *y* при единична стъпка на изменение на *x*:

$$y = \pm\sqrt{r^2 - x^2}$$

Алгоритъм на грубата сила



$$y_0 = \sqrt{20^2 - 0^2} \approx 20$$

$$y_1 = \sqrt{20^2 - 1^2} \approx 20$$

$$y_2 = \sqrt{20^2 - 2^2} \approx 20$$

$$\vdots$$

$$y_{19} = \sqrt{20^2 - 19^2} \approx 6$$

$$y_{20} = \sqrt{20^2 - 20^2} \approx 0$$

Алгоритъм на грубата сила

- ***Недостатъци*** на алгоритъма на грубата сила
  - резултантната растеризирана окръжност съдържа много големи празнини (gaps)
    - особено в позициите, за които наклонът клони към вертикален
  - изчисленията не са много ефективни
    - операции за повдигане на квадрат (умножение)
    - операции за коренуване
      - желателно е да се избягват!

Изчертаване на окръжност

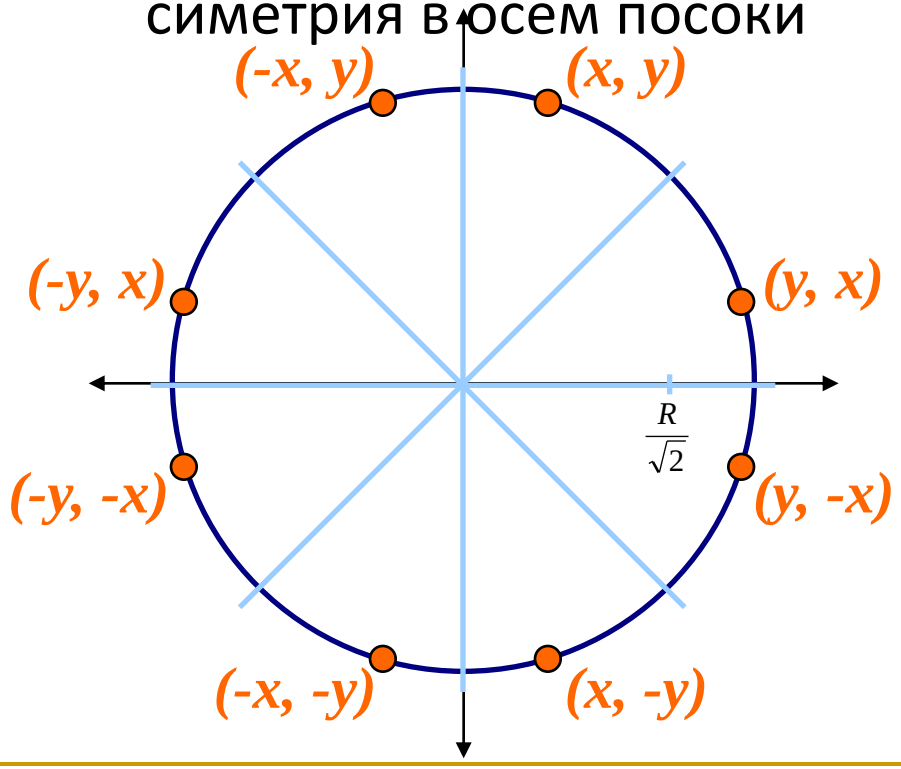
- ***Апроксимация на окръжност с отсечки***
  - Изчертава се многоъгълник с върхове по окръжността
    - например стоъгълник
  - Всяка отсечка се чертае от точка (X_1, Y_1) до (X_2, Y_2)
  - Центърът на окръжността е в точка с координати (X_C, Y_C)
  - В началото $(X_1,Y_1) = (X_C+R, Y_C)$
  - На всяка стъпка
    - (X_2, Y_2) се изчислява по формулите

      $X_2 = X_C+R.\cos\theta$, $Y_2 = Yc+R.\sin\theta$

      където $\theta \in [0,2\pi)$ със стъпка $2\pi/100$
    - $(X_1, Y_1) = (X_2, Y_2)$

Изчертаване на окръжност

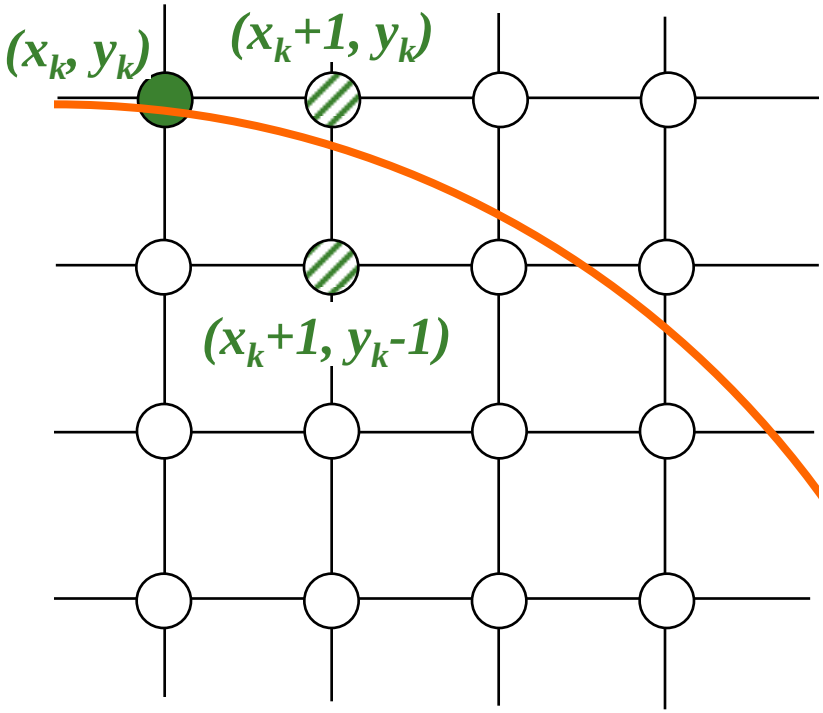
- ***Симетрия на окръжността***
  - окръжност с център в точка с координати (0, 0) има симетрия в осем посоки



- Ако се изчислят координатите (x,y) на една точка от окръжността, от нея могат да се получат още 7 точки за изчертаване
  - (±x, ±y) и (±y, ±x) също лежат върху окръжността
- Задачата се редуцира до определяне на пикселите от 1/8 от окръжността

Изчертаване на окръжност

- ***Алгоритъм на средната точка***
  - Mid-Point Circle Algorithm
  - Jack Bresenham



- Нека е изчертана точката с координати (x_k, y_k)
- За следваща точка от окръжността трябва да се избере между (x_{k+1}, y_k) and (x_{k+1}, y_{k-1})
  - избира се точката, която е ***по-близо*** до окръжността

Алгоритъм на средната точка

- Уравнението на окръжност може да се представи като

$$f_{circ}(x, y) = x^2 + y^2 - r^2$$

- За дадена точка с координати (x, y) е в сила:

$$f_{circ}(x, y) \begin{cases} < 0, & \text{ако } (x, y) \text{ е вътре в окръжността} \\ = 0, & \text{ако } (x, y) \text{ е върху окръжността} \\ > 0, & \text{ако } (x, y) \text{ е извън окръжността} \end{cases}$$

- ***С оценяване на стойността на функцията $f_{circ}(x, y)$ за средните точки между кандидат-пикселите може да се определи кои пиксели да се изчертаят***

Алгоритъм на средната точка

- Нека последната изчертана точка е в пиксел с координати (x_k, y_k)
- Трябва да се избере следваща точка за изчертаване между (x_k+1, y_k) и (x_k+1, y_k-1)
- Решаващата променлива може да бъде определена като:

$$p_k = f_{circ}(x_k + 1, y_k - \frac{1}{2}) = (x_k + 1)^2 + (y_k - \frac{1}{2})^2 - r^2$$

- Ако $p_k < 0$ то средната точка е вътре в окръжността и пикселът с координата y_k е по-близко до окръжността
- В противен случай средната точка е извън окръжността и пикселът с координата y_k-1 е по-близко до окръжността

Алгоритъм на средната точка

- За постигане на по-голяма ефективност изчисленията се извършват инкрементално
- Разглежда се

$$p_{k+1} = f_{circ}\left(x_{k+1}+1, y_{k+1}-\frac{1}{2}\right) = [(x_k+1)+1]^2 + \left(y_{k+1}-\frac{1}{2}\right)^2 - r^2$$

- или

$$p_{k+1} = p_k + 2(x_k+1) + (y_{k+1}^2 - y_k^2) - (y_{k+1} - y_k) + 1$$

където y_k+1 е или y_k, или y_k-1 в зависимост от знака на p_k

Алгоритъм на средната точка

- Началната стойност на решаващата променлива се определя като:

$$p_0 = f_{circ}(1, r - \frac{1}{2}) = 1 + (r - \frac{1}{2})^2 - r^2 = \frac{5}{4} - r$$

- Ако $p_k < 0$ то следващата решаваща променлива е

$$p_{k+1} = p_k + 2x_{k+1} + 1$$

- Ако $p_k > 0$ то следващата решаваща променлива е

$$p_{k+1} = p_k + 2x_{k+1} - 2y_k + 1$$

Алгоритъм на средната точка

Изчертаване на окръжност по алгоритъм на средната точка

1. Въвеждат се радиусът на окръжността r и координатите на центъра (x_c, y_c) и се определят координатите на първата точка от окръжност, центрирана спрямо началото на координатната система: $(x_0, y_0) = (0, r)$
2. Изчислява се началната стойност на решаващия параметър:
$$p_0 = 5/4 - r$$
3. Прилага се следния тест за всяка стойност на x_k по протежение на линията (започвайки от $k = 0$):
   - ако $p_k < 0$, то следващата точка за изчертаване от окръжността е (x_k+1, y_k) и се изчислява
   $$p_{k+1} = p_k + 2x_{k+1} + 1$$
   - в противен случай следващата точка за изчертаване е (x_k+1, y_k-1) и новата стойност на решаващия параметър е
   $$p_{k+1} = p_k + 2x_{k+1} + 1 - 2y_{k+1}$$

Алгоритъм на средната точка

Изчертаване на окръжност по алгоритъм на средната точка (продължение)

4. Определят се симетричните точки в останалите 7 октанта
5. Изчертават се точки с координати, определени от изчислените (x, y), отместени спрямо центъра на окръжността (x_c, y_c)

$$x = x + x_c \qquad y = y + y_c$$

6. Стъпка 3 до 5 се повтарят докато $x >= y$

Алгоритъм на средната точка

```
MEC (R)                          // 1/8th of a circle with radius R
{
  int x = 0, y = R;
  int delta_E, delta_SE;
  float decision;
  delta_E = 2*x + 3;
  delta_SE = 2(x-y) + 5;
  decision = (x+1)*(x+1) + (y + 0.5)*(y + 0.5) - R*R;
  Pixel(x, y);
  while( y > x ) {
       if (decision > 0) {          /* Move east */
              decision += delta_E;
              delta_E += 2; delta_SE += 2;       /*Update delta*/
       }
       else {                       /* Move SE */
              y--;
              decision += delta_SE;
              delta_E += 2; delta_SE += 4;       /*Update delta*/
       }
       x++;
       Pixel(x, y);
  }
}
```

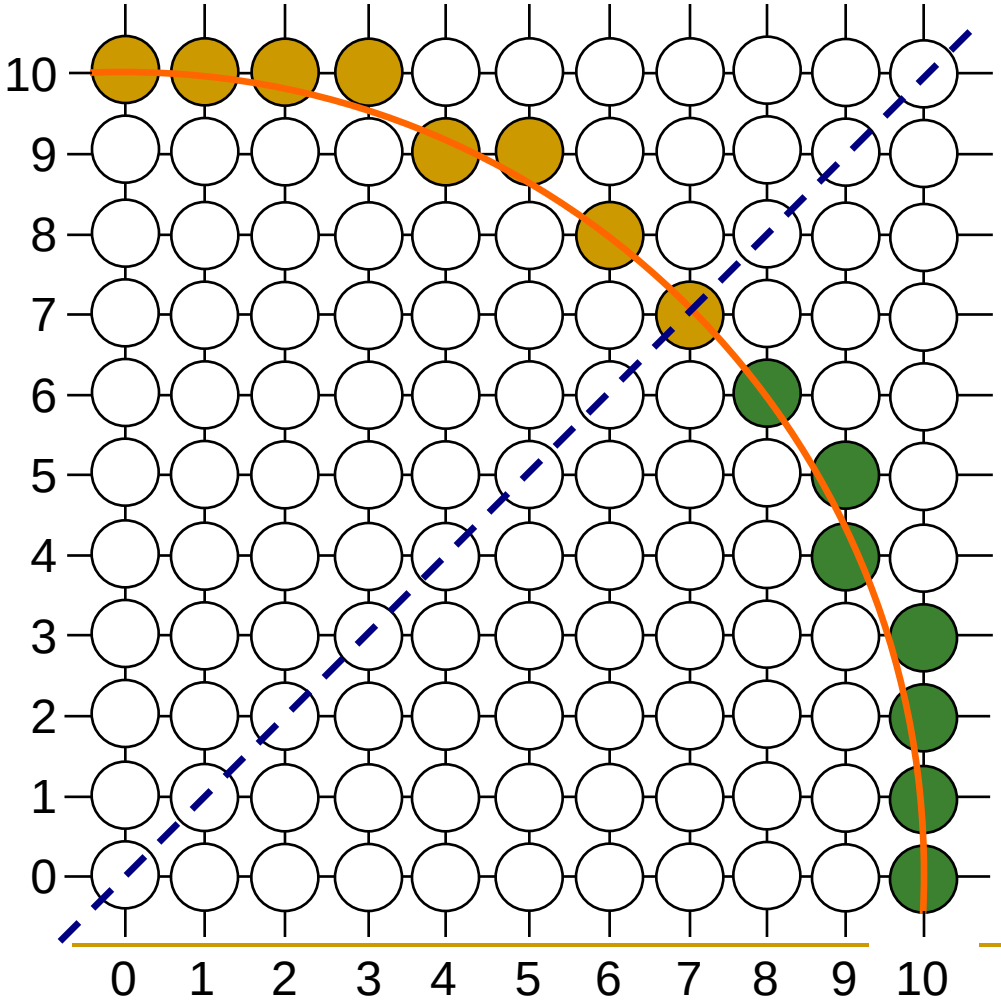
Алгоритъм на средната точка

- Пример
  - Да се изчертае окръжност с център с координати (0, 0) и радиус 10

- *Стъпка 2:* Начален пиксел от окръжността (x_0,y_0)
  - (x_0,y_0) = (0, 10)

- *Стъпка 3:* Изчислява се началната стойност на решаващия параметър p_0:
  - $p_0 = 5/4 - 10 = -8.75 \cong -9$

Алгоритъм на средната точка



k	p_k	(x_{k+1},y_{k+1})	$2x_{k+1}$	$2y_{k+1}$
0	–9	(1, 10)	2	20
1	–6	(2, 10)	4	20
2	–1	(3, 10)	6	20
3	5	(4, 9)	8	18
4	–4	(5, 9)	10	18
5	7	(6, 8)	12	18
6	3	(7, 7)	6	6

Алгоритъм на средната точка

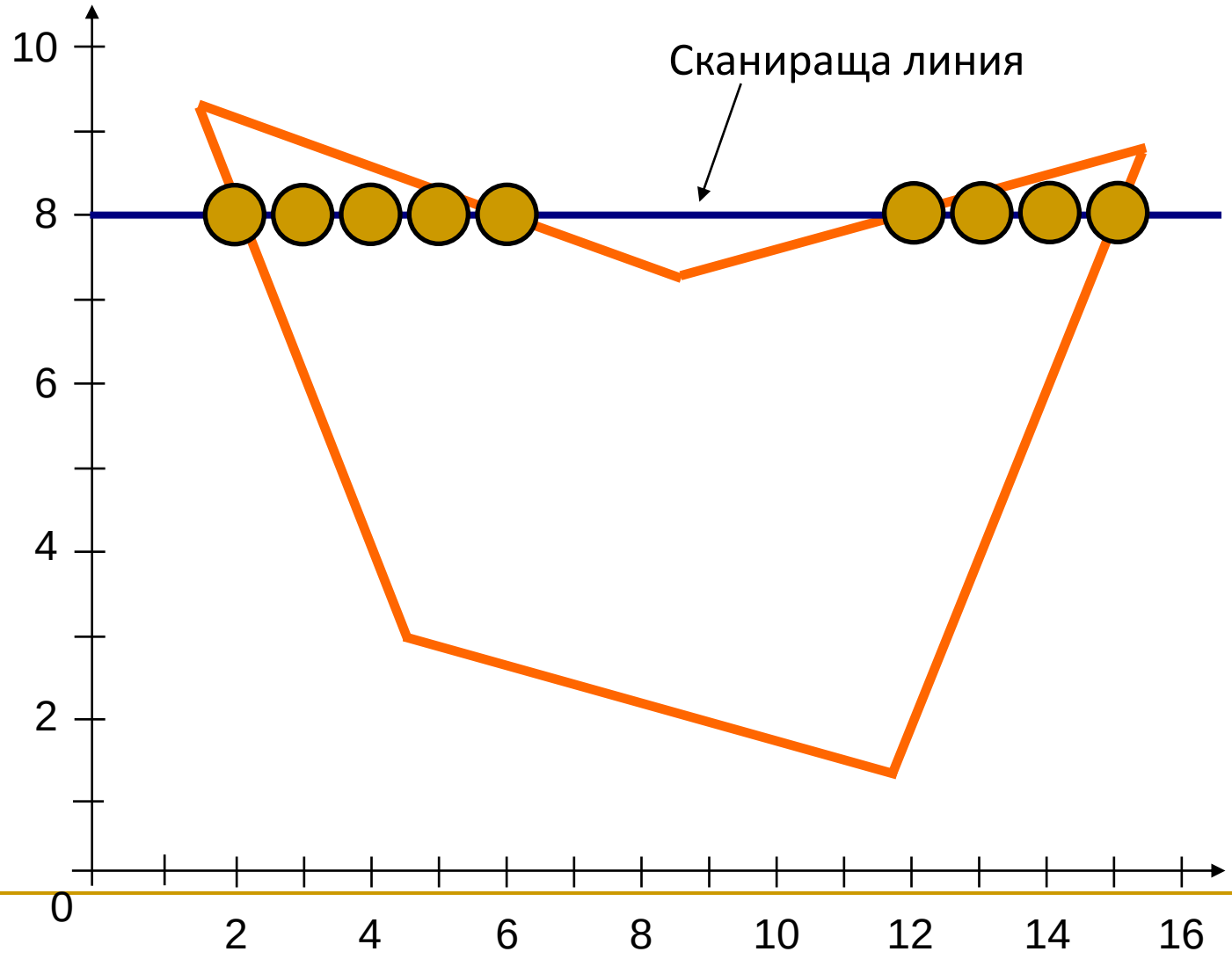
- ***Алгоритъм на средната точка***
  - **предимства**
    - използването на симетрия в осем посоки значително намалява изчисленията
    - инкрементален алгоритъм
      - увеличаването на стойността на координатата по абцисната ос x със стъпка 1 изисква вземане на решение за следващата точка за изчертване измежду една от две възможни точки

Запълване на геометрични фигури

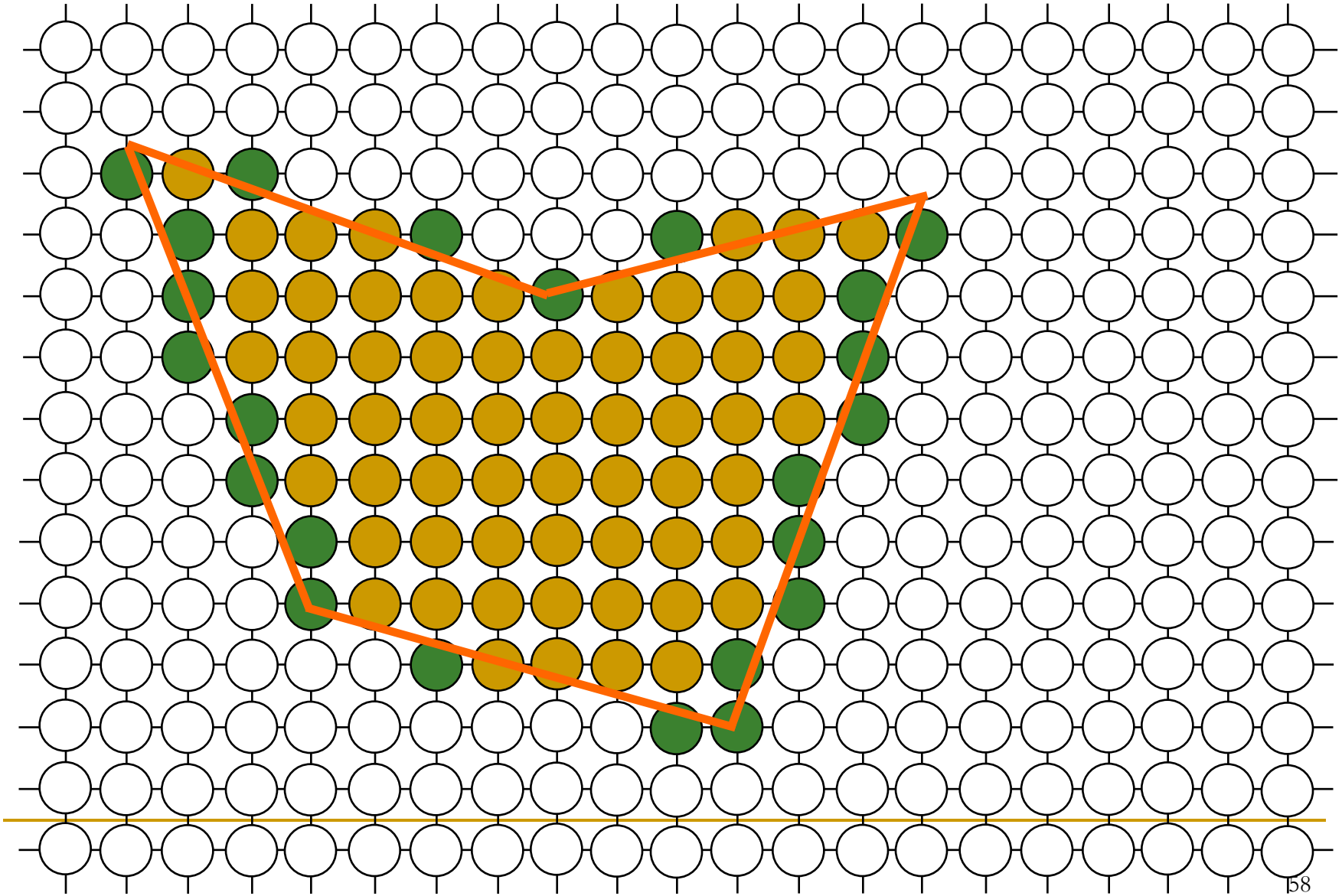
- ***Алгоритъм на сканиращата линия***
  - за изчертаване/запълване на полигони

- Определят се пресечните точки на сканиращата линия с всички ръбове на полигона
- Сортират се пресечните точки по стойност на нарастване на координатата x
- Запълват се всички пиксели, които са разположени между двойки пресечни точки и са вътре в полигона

Алгоритъм на сканиращата линия



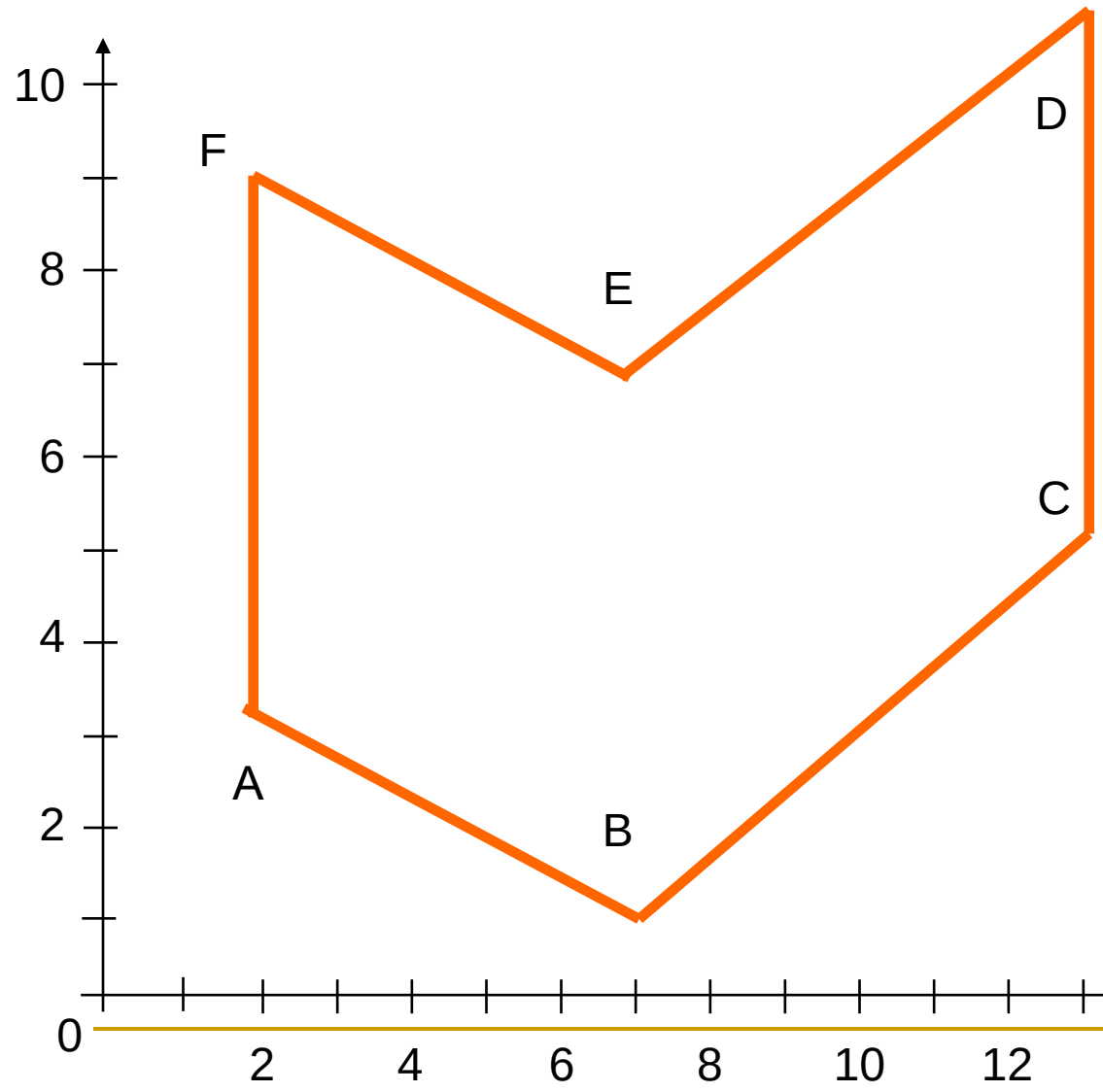
Алгоритъм на сканиращата линия



Алгоритъм на сканиращата линия

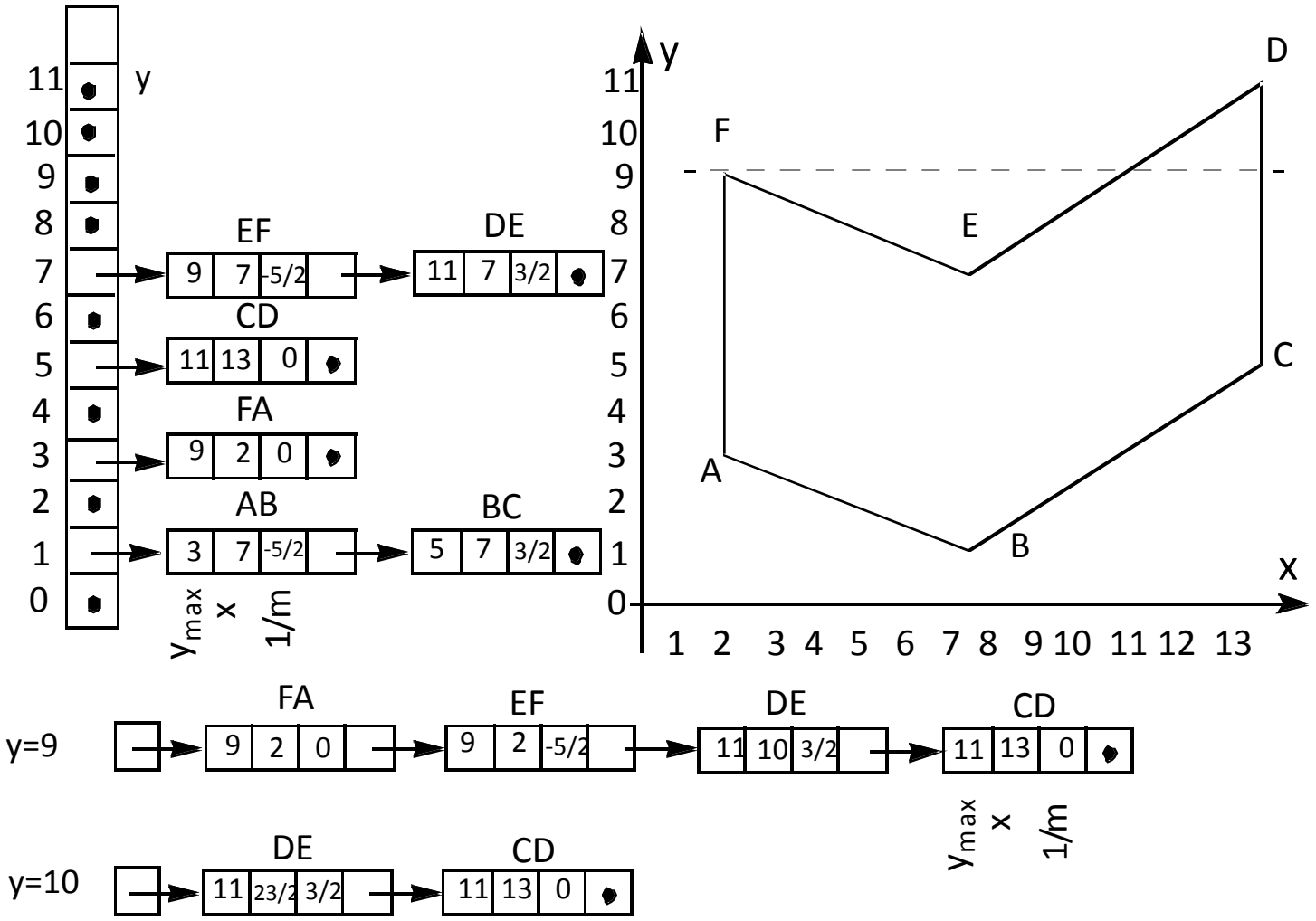
1. Намира се Y_{max} и Y_{min} за всички върхове на многоъгълника
2. Създава се подреден списък от сканиращи линии от Y_{min} до $Y_{max}-1$
3. За всеки ръб на многоъгълника се прави следната проверка:
   - Ако ръбът е хоризонтален, то се прескача
   - Изчислява се наклонът m на правата, определена от ръба и се изчислява стойността на 1/m
   - Започва се от върха с по-малката координата Y_1 и за него в списъка за съответната сканираща линия се записва стойността на X координатата му
   - Y се увеличава с 1, изчислява се X=X+1/m (ако m≠0, иначе X не се променя) и стойността на X се записва в списъка на X координатите за съответната сканираща линия, като се спазва подреждането на X координатите по големина
   - Продължава се до $Y_{max}-1$ включително
4. За всяка сканираща линия от Y_{min} до $Y_{max}-1$ се изчертават всички пиксели за двойките X координати

Алгоритъм на сканиращата линия



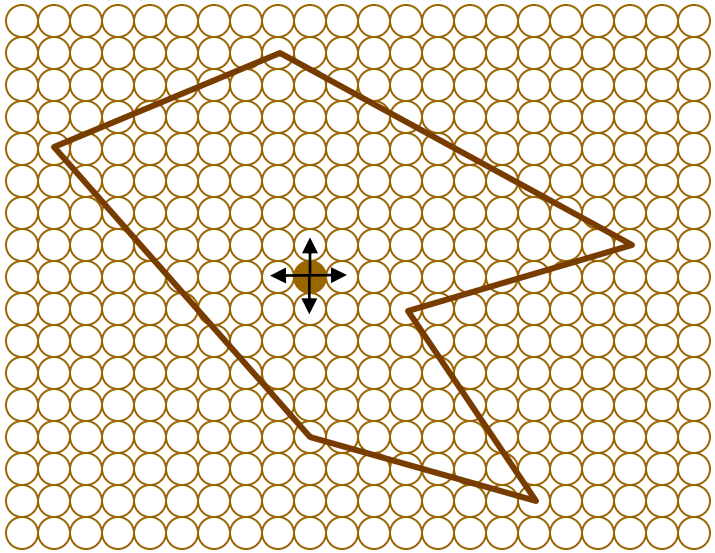
Y_i	$X_{i,1}$	$X_{i,2}$	$X_{i,3}$	$X_{i,4}$	Изчертани пиксели
1	7	7			7
2	4.5	8.5			от 5 до 8
3	2	10			от 2 до 10
4	2	11.5			от 2 до 11
5	2	13			от 2 до 13
6	2	13			от 2 до 13
7	2	7	7	13	от 2 до 7 и от 7 до 13
8	2	4.5	8.5	13	от 2 до 4 и от 9 до 13
9	10	13			от 10 до 13
10	11.5	11.5			12

Алгоритъм на сканиращата линия



Запълване на геометрични фигури

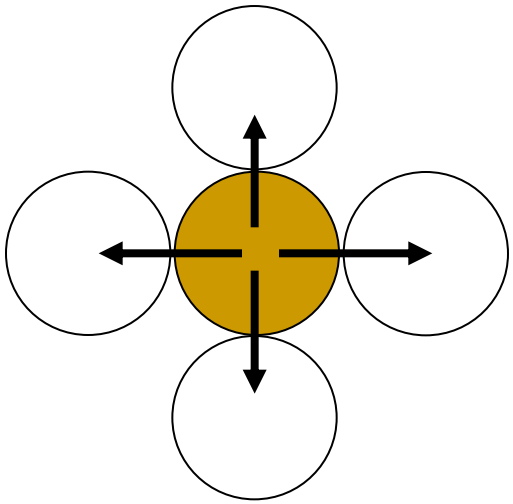
- ***"Наводняващ" алгоритъм***
  - избира се пиксел вътре в полигона
  - изчертава се пиксела и съседните му пиксели
  - продължава се рекурсивно докато се достигнат ръбовете на полигона



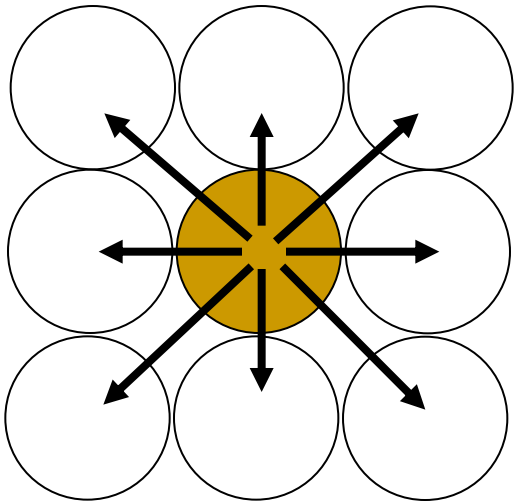
...

Запълване на геометрични фигури

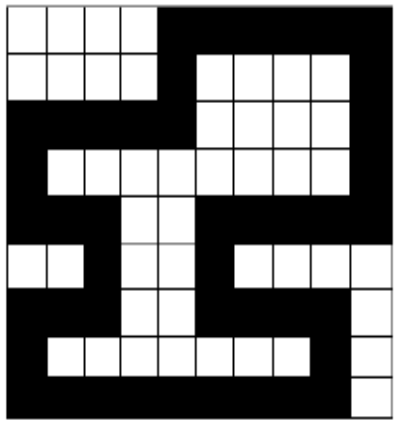
- *“Наводняващ” алгоритъм*
  - съседни пиксели



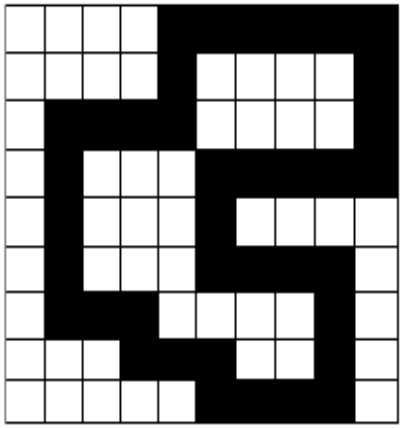
4 свързаност



8 свързаност



4-свързан полигон

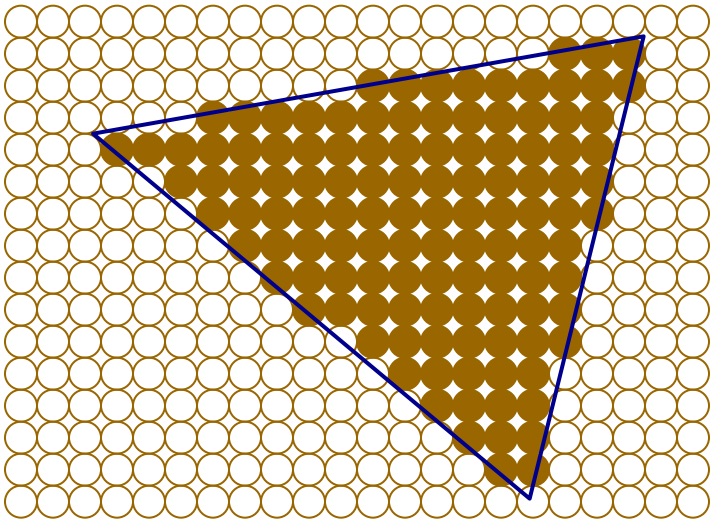


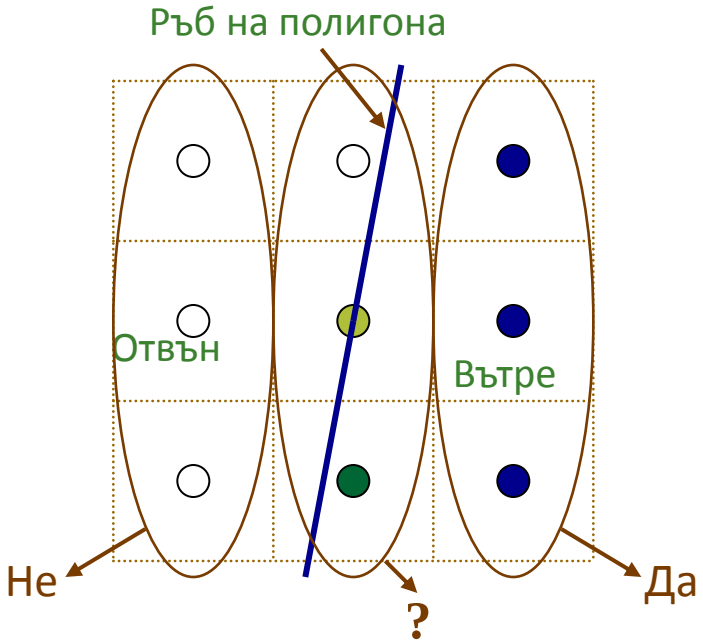
8-свързан полигон

...

Запълване на геометрични фигури

- ***"Наводняващ" алгоритъм***
  - кои пиксели са вътре в границите на полигона?
    - тези, чиито център е вътре в полигона

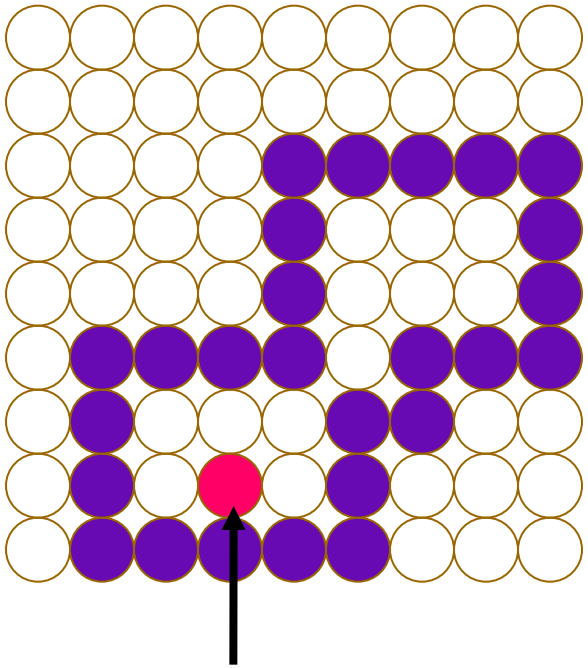


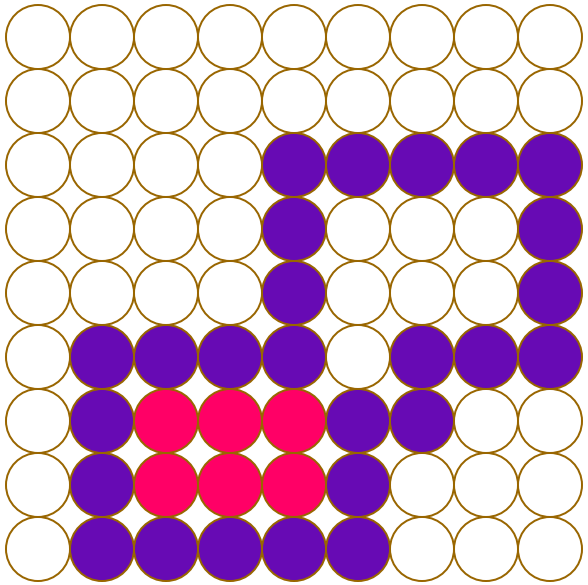


...

Запълване на геометрични фигури

- ***"Наводняващ" алгоритъм***
  - пример – 4 свързаност

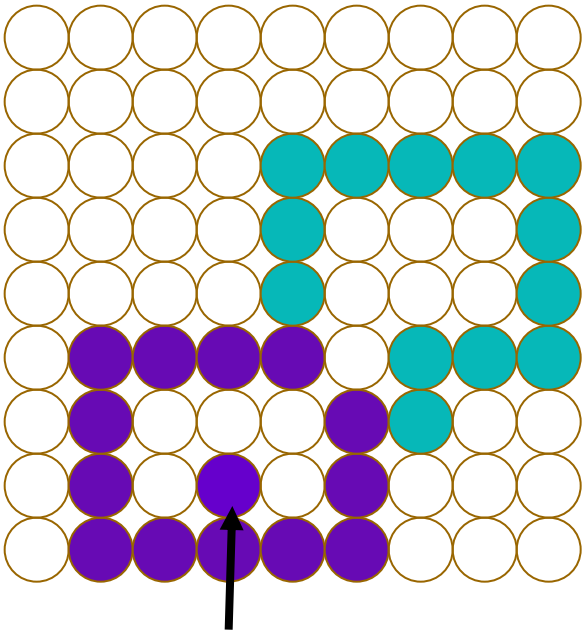




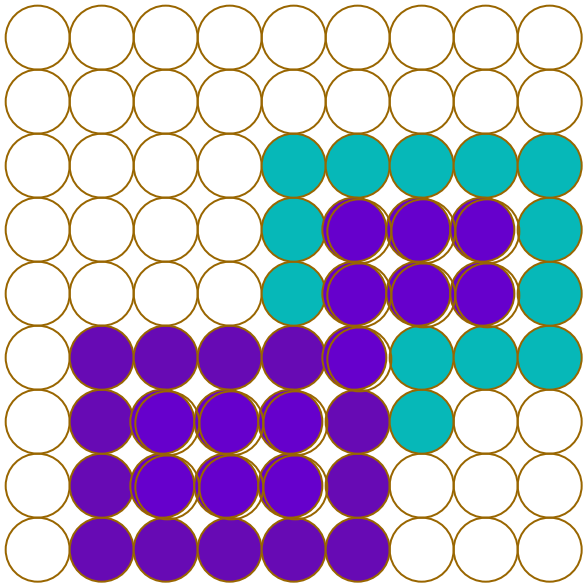
...

Запълване на геометрични фигури

- ***"Наводняващ" алгоритъм***
  - пример – 8 свързаност



Начална точка



Запълнен полигон

...

Запълване на геометрични фигури

- ***"Наводняващ" алгоритъм***
  - **проблеми**
    - рекурсивност
    - резултатът зависи от свързаността
      - може да се "премине" в съседен полигон
      - може да не се запълни правилно полигон

КРАЙ

Следваща тема:

3D трансформации