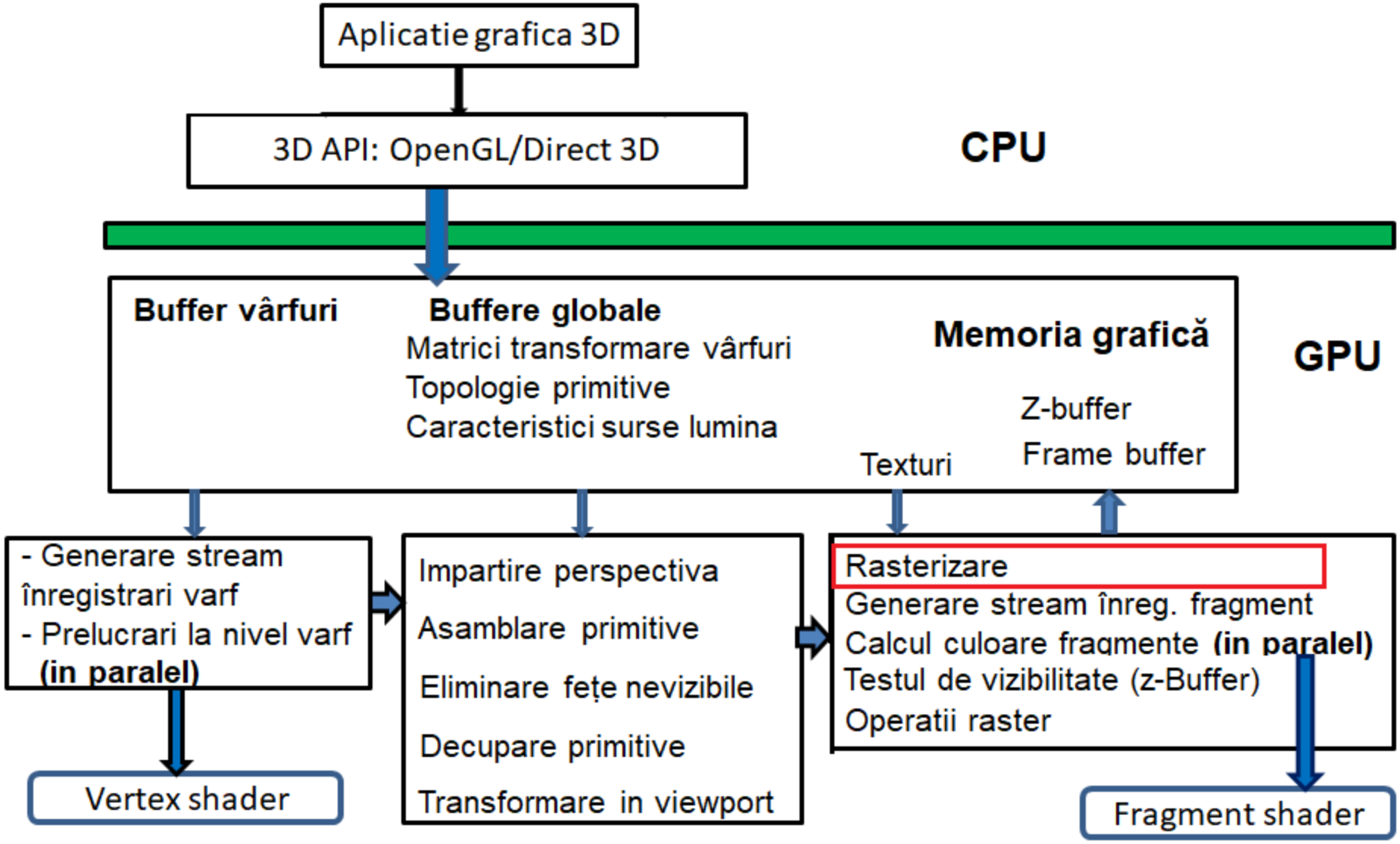
# *Rasterizarea primitivelor grafice -1*

*Prof. univ. dr. ing. Florica Moldoveanu*

Curs *Elemente de Grafică pe Calculator* – UPB, Automatică şi Calculatoare
2021-2022

# Rasterizarea in banda grafica



# Rasterizarea (1)

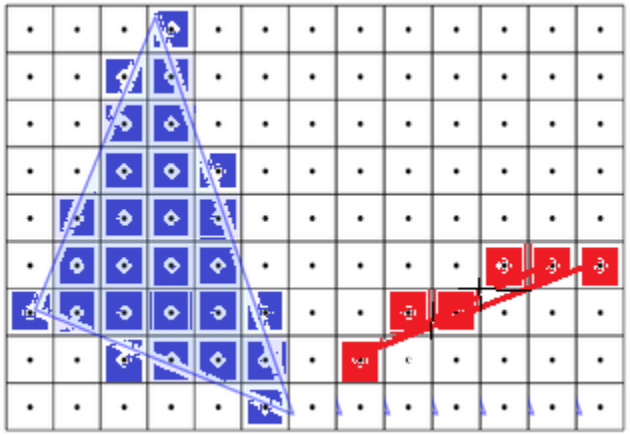
- **Primitive grafice acceptate in versiunile noi ale bibliotecii OpenGL(3.3+) sunt**:
  - punctul
  - linia, polilinia (LINE_STRIP, LINE_LOOP) – descompusa intr-o secventa de linii
  - tringhiul, figurile compuse din mai multe triunghiuri (TRIANGLE_FAN, TRIANGLE_STRIP) – descompuse in secvente de triunghiuri.

- **Primitivele rasterizate sunt:**
  - **punctul**, definit prin coordonatele sale (x,y,z);
  - **linia**, definita prin coordonatele extremitatilor sale, (x1,y1,z1) si (x2,y2,z2); specificate in aceasta ordine, **linia este un vector cu originea in (x1,y1,z1) si varful in (x2,y2,z2);**
  - **suprafaţa triunghiulară**, definita prin coordonatele 3D ale varfurilor sale.

- Coordonatele primitivelor rasterizate sunt raportate la spatiul (sistemul de coordonate) imagine – rezultate din transformarea in viewport

# Rasterizarea (1)

- Suprafața de afişare este un spațiu discret, alcatuit din celule de afisare adresate prin coordonate intregi, (0,0) <= (x,y) <= (xmax,ymax).
- Primitivele grafice sunt definite intr-un plan analogic: coordonatele punctelor de pe traseul unui vector sau ale punctelor interioare unei suprafete triunghiulare sunt numere reale.



- **Rasterizarea:**
  - operatia de discretizare a primitivelor grafice: descompunerea lor in fragmente care se afiseaza in pixelii suprafetei de afisare;
  - are ca rezultat o aproximare in spatiul discret a primitivelor definite analitic.

# Rasterizarea (2)

Algoritmii de rasterizare executati pe GPU integreaza:

1. Calculul coordonatelor (x,y) ale pixelilor in care se afiseaza fragmentele.
2. Calculul coordonatei z a fiecarui fragment, prin interpolarea coordonatelor z ale varfurilor primitivei (vezi cursul 7: algoritmul Z-buffer).
3. Interpolarea atributelor varfurilor primitivei care sunt transmise la fragment shader (iesiri din Vertex shader) : culoare, coordonate textura, ş.a.
4. Calculul culorii fiecarui fragment, în fragment shader.
5. Testul de vizibilitate (adancime) a fiecarui fragment si actualizarea culorii pixelului (vezi cursul 7: algoritmul Z-buffer).

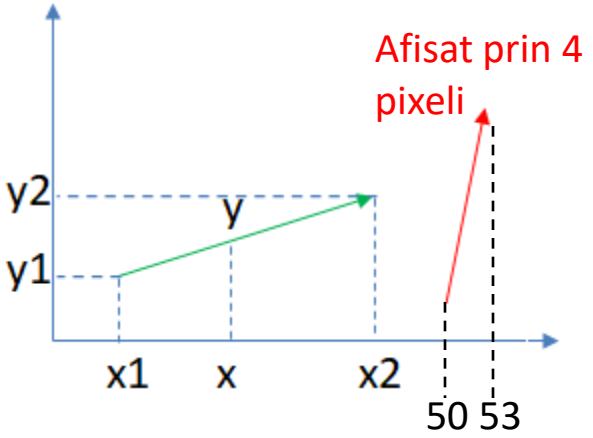
- Algoritmii de rasterizare se deosebesc prin pasul 1, de aceea vom abstractiza operatiile din pasii 2, 3, 4 şi 5 în functia **putpixel (int x, int y)**
- Coordonatele (x,y) sunt alese astfel incat sa fie cat mai apropriate de coord punctelor primitivei analitice.

# Rasterizarea vectorilor

**Ecuatia unui vector: y = m*x + b**

m = (y2-y1)/(x2-x1) şi b=y1 - m*x1

(x1,y1), (x2,y2) sunt adrese de pixeli




**Consideram urmatorul algoritm de rasterizare a unui vector:**

```
int x, x1,y1,x2,y2; float m, b, y;
putpixel(x1,y1);
for(x=x1+1; x<x2; x++)
   { y=m*x+b ;
     putpixel(x, (int)(y+0.5));//fragmentul se afiseaza in pixelul cu adresa cea mai apropiata de (x,y)
    }
putpixel(x2,y2);
```


**Dezavantaje algoritm:**

- Nu se tine cont de panta dreptei: vectorii cu panta mare (ex. cel rosu) sunt aproximati prin câțiva pixeli!
- Calculul fiecarei adrese de pixel contine operatii cu numere reale

# Algoritmul Digital Differential Analyser (DDA)

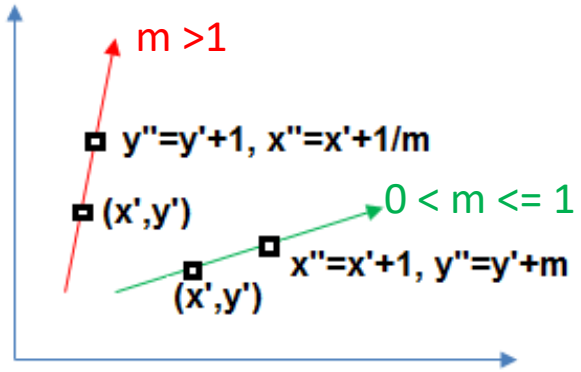
- Ține cont de panta vectorului
- Coordonatele pixelilor de pe traseul vectorului se obtin printr-un calcul incremental (eficient)

Fie (x', y') si (x'',y'')  - 2 puncte succesive de pe vector

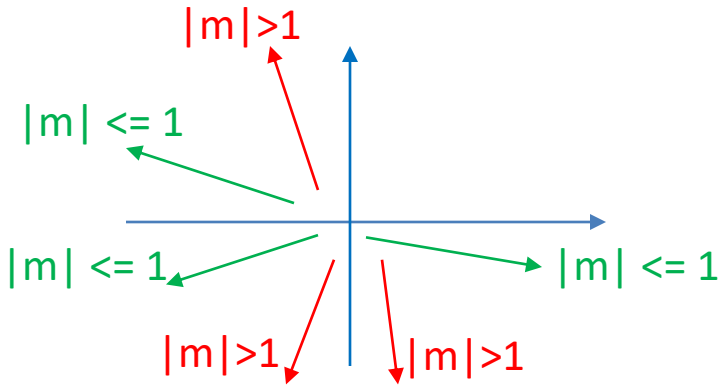
$(y'' - y') / (x'' - x') = (y2 - y1) / (x2 - x1) = m$

|m <1| : se incrementeaza x : x'' = x' +1 → y'' = y' + m

| m >1| : se incrementeaza y: y'' = y' + 1 → x'' = x' +1/m




```
void DDA(int x1, int y1, int x2, int y2)
{double m, absm, rx, ry; int x, y;
//vectorul se genereaza de la (x1,y1) la (x2,y2)
 if(x1==x2) //vector vertical
  { if(y1>y2) {y=y1; y1=y2; y2=y;}
    for(y=y1; y<=y2; y++)  putpixel(x1,y);
   return;
 }
```



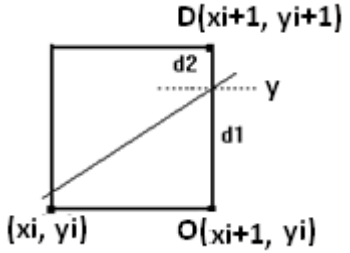
# Algoritmul DDA(2)

```
if(y1==y2) //vector orizontal
  {if(x1>x2)
     {x=x1; x1=x2; x2=x;}
   for(x=x1; x<= x2; x++)  putpixel(x,y1);
   return;
  }
 m=(double)(y2-y1)/(x2-x1); absm=abs(m);
 if(absm<=1 && x1>x2  ||  absm>1 &&  y1>y2)
     {x=x1; x1=x2; x2=x; y=y1; y1=y2; y2=y;}
 putpixel(x1, y1);
 if( absm<=1)
     for(x=x1+1, ry=y1; x<x2; x++)
       {ry+=m;  putpixel(x, (int)(ry+0.5)); } // y = y + m
else
     {m=1/m;
      for(y=y1+1, rx=x1; y<y2; y++)
       {rx+=m;  putpixel((int)(rx+0.5), y); } // x = x +1/m
     }
 putpixel(x2, y2);
}
```

Dezavantaj: calcule cu numere reale

# Algoritmul Bresenham (1)

- Contine numai operatii cu numere intregi.
- Coordonatele pixelilor de pe traseul vectorului se obtin prin calcul incremental.
- **Este definit pentru vectori din primul octant: vectori cu panta 0<m<=1**
- Pentru fiecare valoare a lui x, de la xmin_vector la xmax_vector, se alege acel punct al spaţiului discret care este mai apropiat de punctul de pe vectorul teoretic.




- Fie m=(y2-y1)/(x2-x1)= dy/dx panta vectorului,
- ($x_i$, $y_i$) ultimul punct de pe traseul vectorului în spaţiul discret
- d1 distanţa de la punctul de pe vectorul teoretic, ($x_i$+1, y), la punctul O($x_i$+1,$y_i$)
- d2 distanţa de la punctul de pe vectorul teoretic la punctul D($x_i$+1,$y_i$+1).
- O si D sunt adrese de pixeli (puncte ale spatiului discret)

➢ Următorul punct al spatiului discret ales pentru aproximarea vectorului va fi:

- O dacă d1<d2, D în caz contrar.
- Dacă d1=d2 se poate alege oricare dintre cele două puncte.

# Algoritmul Bresenham(2)

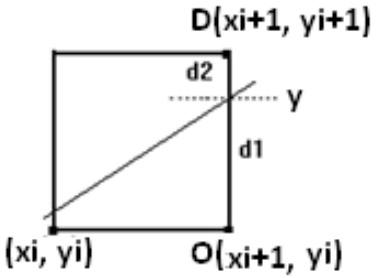
- Exprimăm diferenţa d1-d2:

  $y=m*(x_i+1)+b$ este ordonata punctului de pe vectorul teoretic

  $d1= y - y_i= m*(x_i+1)+b-y_i$

  $d2= y_i + 1-y= y_i+1-m*(x_i+1)-b$

  $d1- d2= 2*m*(x_i+1)-2*y_i+2*b -1$




- Se înlocuieşte m cu dy/dx apoi se înmulţeşte în ambele părţi cu dx. Rezultă:

  $t_i= (d1-d2)*dx= 2*dy*(x_i+1)-2*dx*y_i+2*b*dx-dx = 2*dy*x_i - 2*dx*y_i + 2*b*dx - dx + 2*dy$

- $t_i$ reprezintă eroarea de aproximare în pasul i: pe baza ei se alege urmatorul punct al spatiului discret

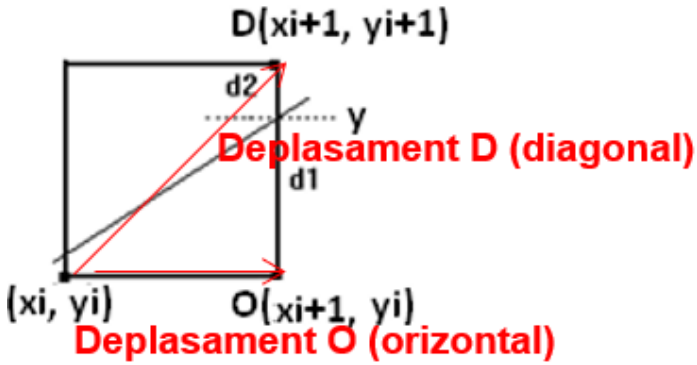
  Notăm cu $(x_{i+1},y_{i+1})$ punctul care se va alege în pasul i.

- Expresia erorii de aproximare în pasul i+1 este:

  $t_{i+1} = 2*dy*x_{i+1} - 2*dx*y_{i+1} + 2*b*dx - dx +2*dy$

# Algoritmul Bresenham(3)

$t_i=(d1-d2)*dx = 2*dy*x_i - 2*dx*y_i + 2*b*dx-dx + 2*dy$, (dx>0)




(1) Dacă $t_i <= 0$ (d1<=d2), se alege punctul O: $x_{i+1}= x_i+1, y_{i+1} =y_i$

Rezultă:

$t_{i+1} = 2*dy*(x_i+1) - 2*dx*y_i + 2*b*dx - dx +2*dy$

sau **$t_{i+1} = t_i + 2*dy = t_i + c1$**

(2) Dacă $t_i > 0$, se alege punctul D, deci $x_{i+1} = x_i + 1$ şi $y_{i+1} = y_i +1$

Rezultă:

$t_{i+1} = 2*dy*(x_i+1) - 2*dx*(y_i+1) + 2*b*dx - dx +2*dy$

sau **$t_{i+1} = t_i + 2*dy - 2*dx = t_i + c2$**

- Valoarea variabilei de test se obtine prin calcul incremental: adunarea unei constante intregi

Eroarea de aproximare pentru primul pas. Se inlocuiesc in $t_i$ : $x_i = x1$ şi $y_i = y1$:

$t_1 = 2*dy*x1 - 2*dx*y1 + 2*dy – dx + 2*dx(y1 - (dy/dx)*x1)$

sau **$t_1 = 2*dy-dx$**

# Algoritmul Bresenham(4)

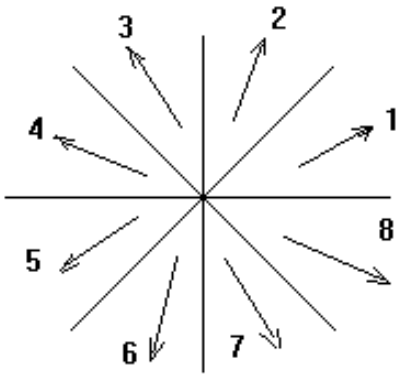
**Implementare in C:**

```
void Bres_vect(int x1, int y1, int x2, int y2)
{ //pentru vectori cu panta cuprinsă între 0 şi 1
  int dx, c1, c2, x, y, t;
  dx=x2-x1;
  c1=(y2-y1)<<1;  // 2*dy
  c2=c1-(dx<<1);  // 2*dy – 2*dx
  t=c1-dx;  // 2*dy - dx
  putpixel(x1, y1);
  for(x=x1+1, y=y1; x<x2; x++)
   { if(t<0) t+= c1; //deplasament  O
      else  { t+= c2; y++;} // deplasament D
    putpixel(x,y);
   }
  putpixel(x2,y2);
}
```

# Algoritmul Bresenham- generalizare(1)

**Generalizarea algoritmului Bresenham pentru vectori de orice panta**

- Vectorii definiţi în planul XOY pot fi clasificaţi, pe baza pantei, în **opt clase geometrice**, numite **“octanţi“**
- Un vector care apartine unui octant O are 7 vectori simetrici in ceilalti 7 octanti




dx=x2 – x1 şi dy=y2 – y1

octantul 1: dx>0 şi dy>0 şi dx>=dy;

octantul 2: dx>0 şi dy>0 şi dx<dy;

octantul 3: dx<0 şi dy>0 şi abs(dx)<dy;

octantul 4: dx<0 şi dy>0 şi abs(dx)>=dy;

octantul 5: dx<0 şi dy<0 şi abs(dx)>=abs(dy);

octantul 6: dx<0 şi dy<0 şi abs(dx)<abs(dy);

octantul 7: dx>0 şi dy<0 şi dx<abs(dy);

octantul 8: dx>0 şi dy<0 şi dx>=abs(dy);

# Algoritmul Bresenham –generalizare(2)

Intr-un pas al algoritmului generalizat sunt posibile urmatoarele deplasamente:

+h, deplasamentul orizontal spre dreapta (în sensul crescător al axei x): x++

-h, deplasamentul orizontal spre stânga (în sensul descrescător al axei x): x--

+v, deplasamentul vertical în sus (în sensul crescător al axei y): y++

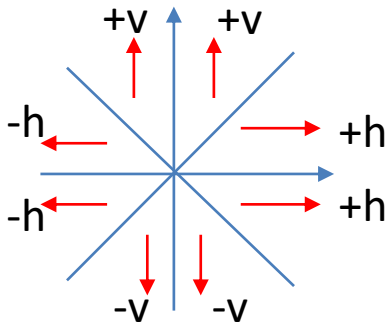
-v, deplasamentul vertical în jos (în sensul descrescător al axei y): y--

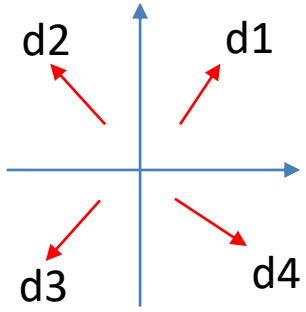
d1, deplasamentul diagonal dreapta-sus: x++; y++

d2, deplasamentul diagonal stânga-sus: x--; y++

d3, deplasamentul diagonal stânga-jos: x--; y--

d4, deplasamentul diagonal dreapta-jos: x++; y--



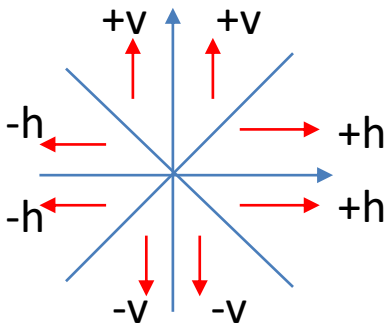



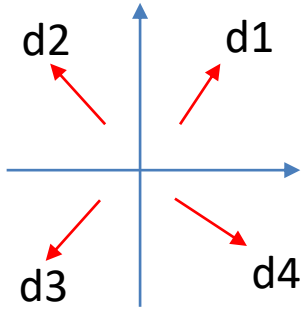

| Octant | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplas O | +h | +v | +v | -h | -h | -v | -v | +h |
| Deplas D | d1 | d1 | d2 | d2 | d3 | d3 | d4 | d4 |

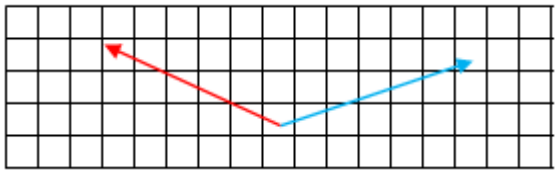
Corespondenţa între deplasamentul ales într-un pas al algoritmului Bresenham (punctul O sau punctul D) şi deplasamentele echivalente pentru vectorii simetrici din ceilalti octanti:

# Algoritmul Bresenham –generalizare(2)

| Octant | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplas O | +h | +v | +v | -h | -h | -v | -v | +h |
| Deplas D | d1 | d1 | d2 | d2 | d3 | d3 | d4 | d4 |



Vectorul simetric din octantul 1
(x1=10, y1=3) – (x2=15, y2=5)
dx=5; dy =2

Vectorul care trebuie generat:
(x1 =10, y1=3) – (x2=5, y2 = 5)
dx = -5; dy =2; abs(dx)>dy →Vectorul face parte din octantul 4

In fiecare pas al algoritmului Bresenham generalizat:

- Se determina tipul deplasamentului pentru urmatorul pixel al vectorului simetric din oct. 1
- Se calculeaza coordonatele punctului de pe vectorul care trebuie generat:
  - Pentru deplasament O: x--
  - Pentru deplasament D: x--; y++

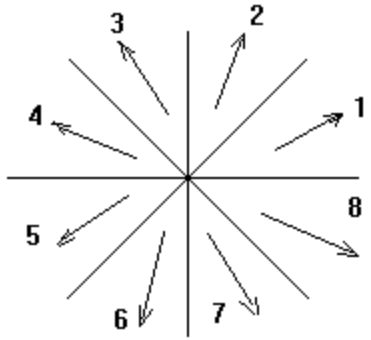
# Algoritmul Bresenham – generalizare(3)

**Algoritmul Bresenham generalizat - implementare in C**

```
void Bres_general(int x1, int y1, int x2, int y2)
{ int x, y, i, oct, dx, dy, absdx, absdy, c1, c2, t;
  if(x1==x2) //vertical
  { if(y1>y2){y=y1; y1=y2; y2=y;}
     for(y=y1; y<=y2;y++)
       putpixel(x1,y);
     return;
  }
 if(y1==y2) //orizontal
   {if(x1>x2) {x=x1; x1=x2; x2=x;}
     for(x=x1; x<= x2; x++)
       putpixel(x,y1);
    return;
   }
```

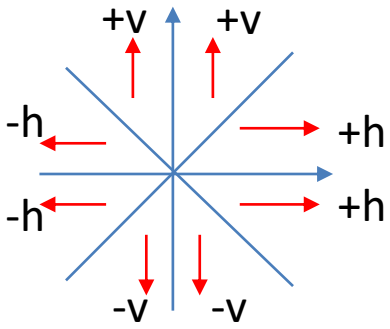
# Algoritmul Bresenham – generalizare (4)

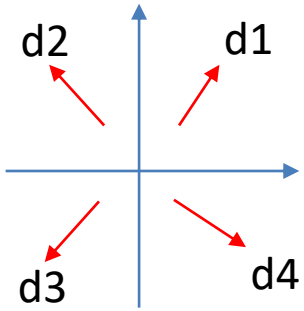
```
dx= x2-x1; dy= y2-y1; absdx= abs(dx); absdy= abs(dy);
if(dx>0)//oct=1,2,7,8
   { if(dy>0)// oct=1,2
      if(dx>=dy) oct=1; else oct=2;
     else
      if(dx>=absdy) oct=8; else oct=7;
   }
else//3,4,5,6
   { if(dy>0)// oct=3,4
      if(absdx>=dy) oct=4; else oct=3;
     else
      if(absdx>=absdy) oct=5; else oct=6;
   }
// Numărul de paşi la execuţia algoritmului generalizat este maxim(abs(dx), abs(dy))
// Dacă abs(dy) > abs(dx), se inversează rolul variabilelor absdx şi absdy în calculul constantelor c1 şi c2
if(absdy>absdx) //  adresele de pe traseul vectorului se obtin prin incrementarea lui y
    {x=absdx; absdx=absdy;absdy=x;}
  c1= absdy<<1;  c2= c1-(absdx<<1); t= c1-absdx;
```

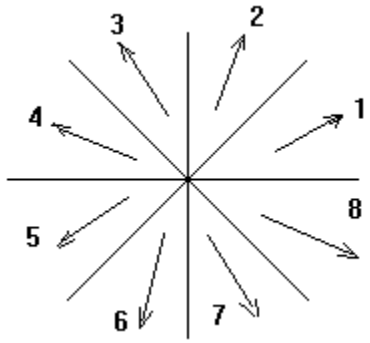


# Algoritmul Bresenham – generalizare (5)

```
putpixel(x1,y1);
for(i=1, x=x1, y=y1; i<absdx; i++)
{ if(t<0) // deplasament O
   {t+=c1;
    switch(oct)
    {case 1:  case 8: x++; break; // +h
     case 4:  case 5: x--;break; // -h
     case 2:  case 3: y++;break; //+v
     case 6:  case 7: y--;break; // -v
    }
   }
  else
   {t+=c2 // deplasament D
    switch(oct)
    {case 1: case 2: x++; y++; break; // d1
     case 3: case 4: x--; y++; break; // d2
     case 5: case 6: x--; y--; break; // d3
     case 7: case 8: x++; y--; break; // d4
    }
  }
  putpixel(x,y);
 } putpixel(x2,y2);
}
```



# Generarea liniilor intrerupte

```
void Bres_gen(int x1, int y1, int x2, int y2, int şablon)
{  // şablon: defineste tipul de linie intrerupta - intreg pe 16 biti cu valori 0 si 1
   // se suprapune şablonul  pe traseul vectorului: se afiseaza numai acei pixeli ai vectorului pentru care
      // bitul sablonului = 1

    int val, bit, biţi[16] ;
   // se extrag biții şablonului în vectorul biţi
    for(int i=0, val=1; i<16; i++)
    { if (şablon & val) biţi[i] = 1; else biţi[i] = 0;
      val = val << 1;
    }
    .....................................................
   if(biţi[0]]) putpixel(x1,y1);
   for(i=1, x=x1, y=y1, bit=1; i<absdx; i++)
  { .....................................................
     if(biţi[(bit++) % 16]) putpixel(x,y); // se repeta sablonul din 16 in 16 pixeli
  }
  if(biţi[bit % 16) putpixel(x2,y2);
}
```