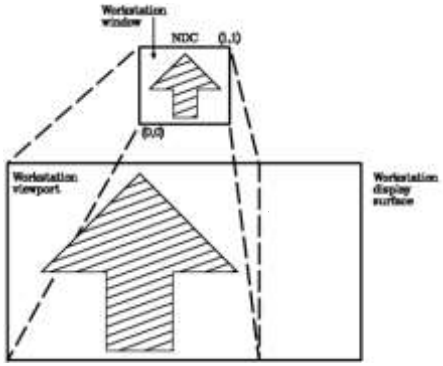
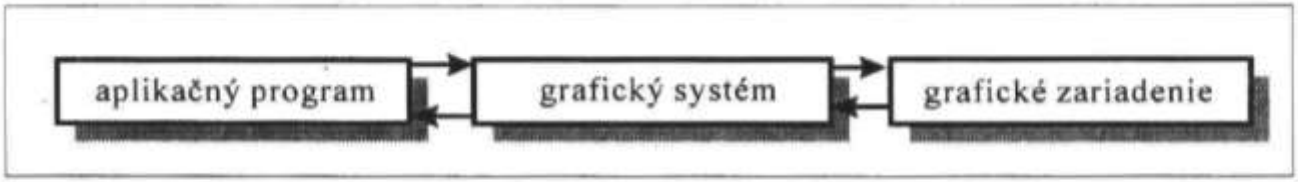
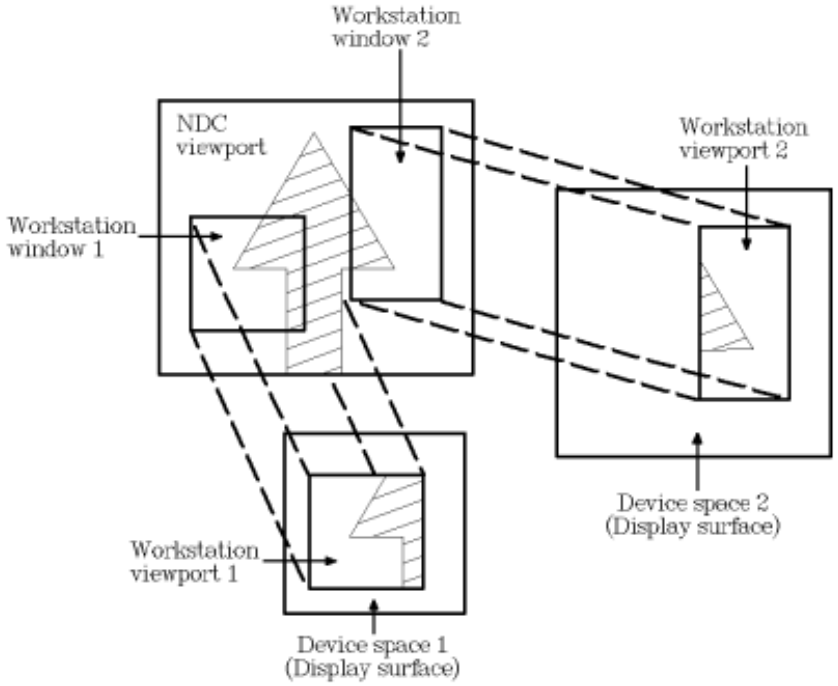




Obr. 1.8 Základná štruktúra interaktívnej grafickej aplikácie

Workstation window to viewport transformation at IBM Infocenter. http://pic.dhe.ibm.com/infocenter/zos/v1r13/index.jsp?topic=%2Fcom.ibm.zos.r13.admk100%2Fadmk1a0036.htm



16.3 Spracovanie výstupu v oknovom systéme

Oknový systém musí mať na spracovanie výstupu aspoň tieto základné funkcie:

Create Window (name) - vytvorí okno s daným menom

Set Position (xmin, ymin) - nastaví pozíciu aktuálneho okna

Set Size (height, width) - nastaví veľkosť aktuálneho okna

Select Window (name) - určí aktuálne okno

Show Window - zobraz aktuálne okno

Hide Window - skry aktuálne okno

Set Title (name) - nastav meno aktuálneho okna

Get Position (xmin, ymin) - zisti pozíciu aktuálneho okna

Get Size (height, width) - zisti veľkosť aktuálneho okna

Bring To Top - pošli aktuálne okno na vrch všetkých okien

Send To Bottom - pošli aktuálne okno na dno, za všetky okná

Delete Window - zruš aktuálne okno

Tým sme popísali minimálnu funkčnosť oknového systému pri spracovaní výstupu, pričom algoritmické riešenia tejto funkčnej špecifikácie nás na tejto úrovni nezaujímajú, hoci niektoré úvahy môžeme naznačiť. Napr. uvedené funkcie predpokladajú obdĺžnikové okno s menom, rozmermi a pozíciou na obrazovke, súbor takýchto okien s

URL: http://pic.dhe.ibm.com/infocenter/zos/v1r13/topic/com.ibm.zos.r13.admk100/admk1a0036.htm .

2.7 Zobrazenie okna na zobrazovacie pole

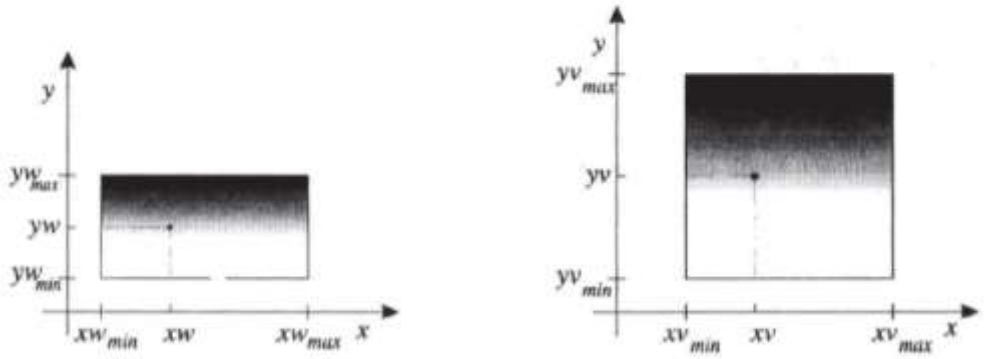
Užívateľ obvykle zadáva objekty vo svojich užívateľských súradniciach. Na zobrazenie **oblasti záujmu** si zvolí minimálne a maximálne súradnice v obidvoch smeroch, tzv. **okno**. Funkciu na definovanie okna viditeľnosti budeme označovať

$$window\ (xw_{min}, xw_{max}, yw_{min}, yw_{max})\ .$$

Avšak toto okno užívateľ nemusí chcieť zobraziť na celú obrazovku (zobrazovaciu časť príslušného výstupného zariadenia). Preto je prirodzené zaviesť pojem **zobrazovacie pole** resp. **záber**. Je to tá časť, na ktorú sa bude transformovať okno. Funkciu pre definovanie zobrazovacieho poľa (záberu) označíme

$$viewport\ (xv_{min}, xv_{max}, yv_{min}, yv_{max})\ .$$

Ako vyzerá transformačná matica, ktorá bude realizovať príslušné zobrazenie okna na zobrazovacie pole?



Obr. 2.7 Transformácia okna na zobrazovacie pole (záber)

Predpokladáme, že bod (xw, yw) sa zobrazí do bodu (xv, yv), pozri obrázok 2.7. Prirodzená požiadavka je, aby sa pri transformácii **zachovali pomery strán**. Preto podľa označenia z obrázku 2.7 požadujeme, aby platili tieto rovnosti

$$\frac{xw-xw_{min}}{xw_{max}-xw_{min}} = \frac{xv-xv_{min}}{xv_{max}-xv_{min}},$$

$$\frac{yw-yw_{min}}{yw_{max}-yw_{min}} = \frac{yv-yv_{min}}{yv_{max}-yv_{min}}.$$

Odtiaľ môžeme vyjadriť hodnoty xv a yv

$$xv = s_x \cdot (xw - xw_{min}) + xv_{min}\ ,$$

$$yv = s_y \cdot (yw - yw_{min}) + yv_{min}\ ,$$

kde

$$s_x = \frac{xv_{max}-xv_{min}}{xw_{max}-xw_{min}}, \qquad s_y = \frac{yv_{max}-yv_{min}}{yw_{max}-yw_{min}}\ .$$

V tomto poslednom vyjadrení s_x a s_y sú koeficienty pre zmenu mierky z okna na záber a xv_{min}, yv_{min} sú relatívne hodnoty posunu. Nakoniec rovnosti môžeme upraviť na tvar, kde pre transformáciu jednej súradnice máme len jednu operáciu súčtu a násobenia:

$$xv = s_x \,.\, xw + a\ ,$$

$$yv = s_y \,.\, yw + b\ ,$$

kde

$$a = -s_x.xw_{min} + xv_{min},\ \ b = -s_y.yw_{min} + yv_{min}.$$

Hľadaná matica je teda

$$\begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ a & b & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ -s_x.xw_{min} + xv_{min} & -s_y.yw_{min} + yv_{min} & 1 \end{pmatrix}.$$

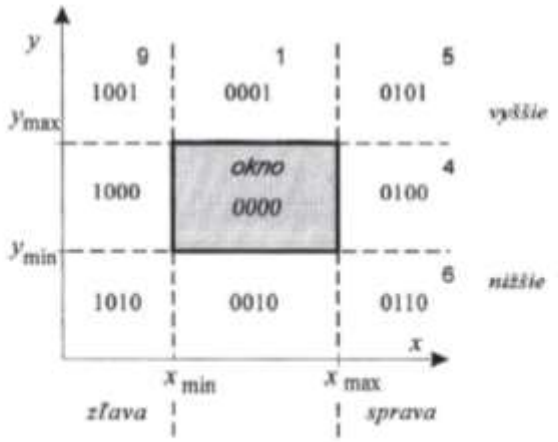
V grafických systémoch sa táto matica zostrojí automaticky po zadaní funkcií *window* a *viewport*. Kvôli úspore pamäti sa zvyčajne ukladajú len prvé dva stĺpce, pretože pre afinné transformácie je tretí stĺpec rovnaký.

3.3.1 Algoritmus orezávania Cohena-Sutherlanda

Tento algoritmus rýchlo vylúči vyššie spomenuté prípady. Zvlášť rýchly je v prípade okna, ak obsahuje veľa úsečiek vo vnútri a taktiež pri takom okne, ak väčšina úsečiek je mimo okna. V týchto prípadoch sa úsečka podľa polohy buď celá zobrazí alebo nezobrazí.

Na začiatku algoritmu nastavíme 4-bitové hodnoty (kód) pre obidva koncové body úsečky podľa polohy vzhľadom na okno. Pre každú hraničnú priamku okna nastavíme jeden bit podľa toho, či leží bod v danej polrovine (pozri obr. 3.1). Pravidlo upresníme podľa polohy bodu vzhľadom na okno:

1. bit - bod leží vyššie od okna ($x_{max} < x$);
2. bit - bod leží nižšie od okna ($x_{min} < x$);
3. bit - bod leží sprava od okna ($y_{max} < y$);
4. bit - bod leží zľava od okna ($y_{min} < y$).



Obr. 3.1 Kódovanie jednotlivých častí roviny

Algoritmus Cohen-Sutherlanda

```
Procedure Clipping;
begin
1.  accept:= false;                                  { nastav - P1P2 sa nevykresľuje }
    outcod (x2, y2, cd2);                            { zistíme kód bodu P2 }
2.  repeat
        outcod (x1, y1, cd1);                        { zistíme kód bodu P1 }
3.      if and (cd1, cd2) ≠ 0 then done:= true       { 1. jednoduchý test - mimo okna}
        else
4.          begin
            if (cd1=0 and cd2=0) then                { 2. jednoduchý test - vnútri okna}
                              begin accept:= true;   { žiadaj vykreslenie v kroku 10. }
                                    done:= true end
            else
5.              begin
                if cd1=0 then swap(P1, P2);          { zameníme body, aby 1. bol von}
6.              if cd1 ∈ (1, 5, 9) then              { orezávanie zhora }
                    begin
                    x1:= x1 + (x2-x1)*(ymax-y1)/(y2-y1);
                    y1:= ymax ;
                    end
7.              else if cd1 ∈ (2, 6, 10) then        { orež zdola }
                    begin
                    x1:= x1 + (x2-x1)*(ymin-y1)/(y2-y1);
                    y1:= ymin ;
                    end
8.              else if cd1 ∈ (4, 5, 6) then         { orež sprava }
                    begin
                    y1:= y1 + (y2-y1)*(xmax-x1)/(x2-x1);
                    x1:= xmax ;
                    end
9.              else if cd1 ∈ (8, 9, 10) then        { orež zľava }
                    begin
                    y1:= y1 + (y2-y1)*(xmin-x1)/(x2-x1);
                    x1:= xmin ;
                    end
                end                  { od kroku 5 }
            end                      { od kroku 4 }
    until done
10. if accept then draw(P1, P2);                     { vykresli úsečku }
end.
```

5.2 Rastrový rozklad úsečky

Uvedieme dva algoritmy generovania úsečiek do rastrovej formy. Pri rozklade úsečky budeme predpokladať, že oba koncové body majú celočíselné súradnice $(x1, y1)$, $(x2, y2)$.

5.2.1 Jednoduchý prírastkový algoritmus

Analytické vyjadrenie priamky, ktorá nie je rovnobežná s osou y, vyjadrujeme v tvare:

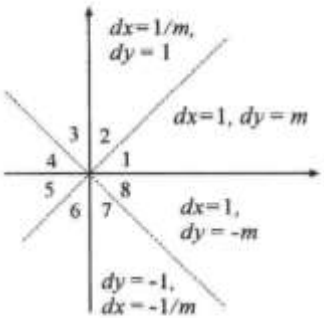
$$y = m.x + b,$$

kde m je smernica priamky a b posun na osi y. Koncové body úsečky určujú priamku s parametrami m a b:

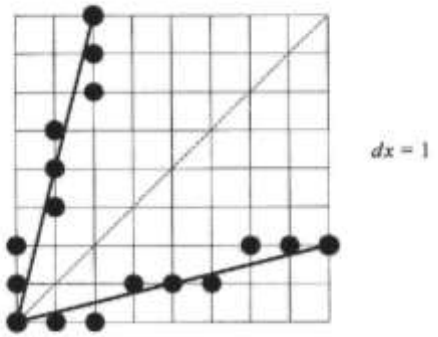
$$m = \frac{y2-y1}{x2-x1} \quad \text{a} \quad b = \frac{x2.y1-x1.y2}{x2-x1}.$$

Prírastkový algoritmus úsečky DDA (Digital Differential Analyzer)

```
procedure DDA_line ( x1, y1,                    { začiatočný bod P }
                     x2, y2,                    { koncový bod Q }
                     colour :integer );         { farba vykreslenej úsečky }

var dx, dy, x, y, m: real;
begin
   if x1 > x2 then swap;                        { zameň body, aby prvý bod bol ľavý }
   if x1 < x2 then
      begin
      dx:= x2 - x1;
      dy:= y2 - y1;
      m:= dy/dx;
      y:=y1;
      for x:= x1 to x2 do
         begin
         write_pixel (x, round(y), colour);     { zobraz bod (x, y) }
         y:= y + m                              { inkrementuj súradnicu y }
         end
      end
   else if y1 = y2 then write_pixel (x1, y1, colour)   { zapíš len jeden bod }
   else error;
end.
```



Inkrementálne dy = 1

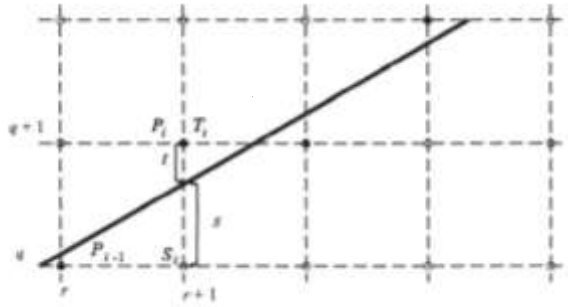


Obr. 5.1 Prírastky pre niektoré oktanty a dve úsečky v 1. a 2. oktante

Prírastkový algoritmus úsečky pre všetky oktanty

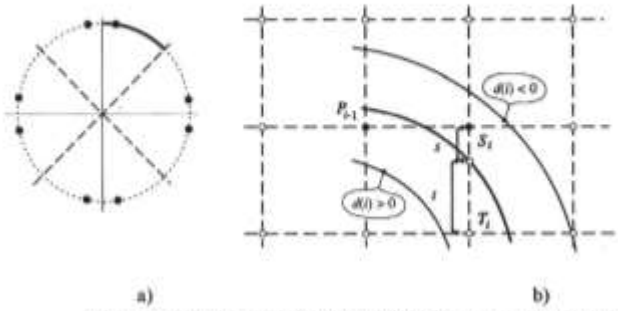
```
Procedure line ( x1, y1,                        { začiatočný bod }
                 x2, y2,                        { koncový bod }
                 colour : integer );            { farba vykreslenej úsečky }

var dx, dy, x, y, m: real;
begin
   dx:= x2 - x1;
   dy:= y2 - y1;
   if abs(dx) > abs(dy) then
      begin                                     { oktanty 1, 4, 5, 8 }
      if x1 > x2 then swap;                     { zameň body, aby prvý bod bol vľavo }
      if y1 < y2 then Yinc:= 1;
                 else Yinc:= -1;
         begin                                  { generovanie úsečky pre 1. oktant }
         DDA_Line1(x1, y1, x2, y2, colour);
         end;
      end;
   else begin                                   { abs(dx)<abs(dy), t.j. oktanty 2, 3, 6, 7 }
```

...



Obr. 5.2 Rozklad úsečky do rastra

$$d(P(i)) = (x_i^2 + y_i^2) - r^2 .$$

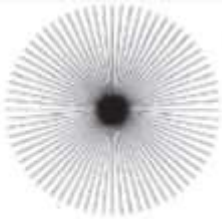


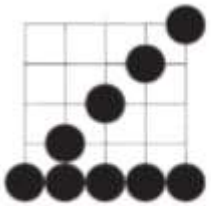
a) b)

Obr. 5.3 Symetria kružnice a rozklad kružnice do rastra podľa hodnôt s a t

Bresenhamov algoritmus úsečky

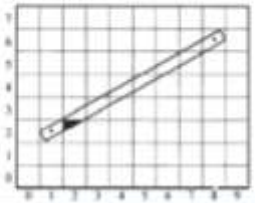
```
procedure Bres_line ( x1, y1,                    { začiatočný bod }
                      x2, y2,                    { koncový bod }
                      colour : integer );        { farba vykreslenej úsečky }

var  dx, dy, d, incr1, incr2, x, y, m  : integer;
begin
    dx:= abs(x2 - x1);   dy:= abs(y2 - y1);
    d:= 2*dy - dx;                               { začiatočná hodnota d }
    incr1:= 2*dy;                                { prírastok pre d < 0 horizontálne }
    incr2:= 2*(dy-dx);                           { prírastok pre d ≥ 0 diagonálne }
     if x1 > x2 then begin x:= x2 ; y:= y2 ; xend:= x1 end
                else begin x:= x1 ; y:= y1 ; xend:= x2 end;
    write_pixel (x, y, colour);                  { vykresli 1. bod }
    while x < xend do
                    begin
                    x:= x + 1 ;
                    if d < 0 then d:= d + incr1  { vyber bod S(i), horizontálne }
                             else begin
                                    y:= y + 1 ;
                                    d:= d + incr2;  { vyber bod T(i), diagonálne }
                                  end
                    write_pixel (x, y, colour);  { vykresli bod }
                    end
end.
```



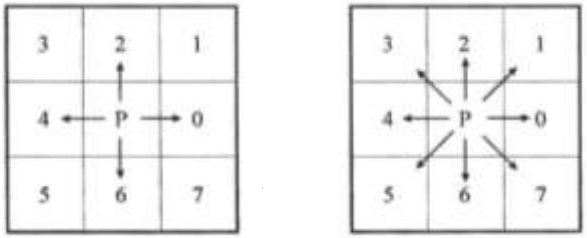


Obr. 5.4 Aliasing úsečiek

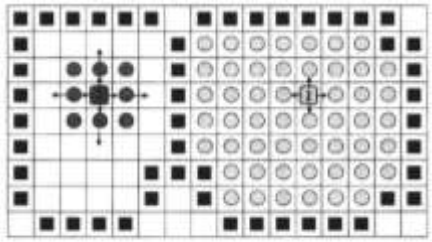
Na obrázku 5.5 je zobrazená úsečka nenulovej hrúbky, položená do rastra. Rastrová sieť je posunutá tak, aby mrežové body ležali vo vnútri každého obdĺžnika siete a nie v priesečníkoch mriežky. Každý obrazový bod je zobrazený obdĺžnikom.



Ružický, E. et al. 2012. *Počítačová grafika a spracovanie obrazu.* **http://www.sccg.sk/~ferko/PGASO2012-bookmarks.pdf**



Obr. 5.7 Susednosť (4 a 8) v štvorcovom rastri pre bod P



Obr. 5.8 Vypĺňanie oblasti farbou zadaného vnútorného bodu

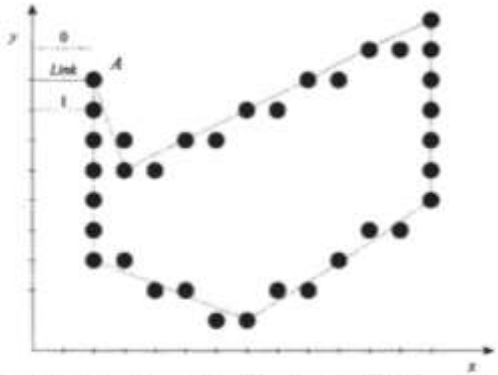
Algoritmus vlnového vypĺňania *Flood_fill*

```
procedure Flood_fill_4 ( x, y,              { začiatočný vnútorný bod vypĺňania oblasti }
                         old_colour,        { stará farba oblasti }
                         new_colour : integer);   { nová farba oblasti }
begin
  if read_pixel (x,y) = old_colour then
    begin
      write_pixel (x, y, new_colour);
      Flood_fill_4 (x, y-1, old_colour, new_colour);
      Flood_fill_4 (x, y+1, old_colour, new_colour);
      Flood_fill_4 (x-1, y, old_colour, new_colour);
      Flood_fill_4 (x+1, y, old_colour, new_colour);
    end
end.
```

Algoritmus vypĺňania do hraničných bodov *Bound_fill_4*

```
procedure Bound_fill_4 ( x, y,              { začiatočný bod vypĺňania oblasti }
                         bound_colour,      { farba hranice oblasti }
                         new_colour: integer);   { nová farba oblasti }
begin
 if read_pixel (x, y) ≠ bound_colour and read_pixel (x, y) ≠ new_colour
 then begin
      write_pixel (x, y, new_colour);
      Bound_fill_4 (x, y-1, old_colour, new_colour);
      Bound_fill_4 (x, y+1, old_colour, new_colour);
      Bound_fill_4 (x-1, y, old_colour, new_colour);
      Bound_fill_4 (x+1, y, old_colour, new_colour);
      end
end.
```

Obr. 5.9 Vypĺňanie podľa 4-súvislosti a 8-súvislosti

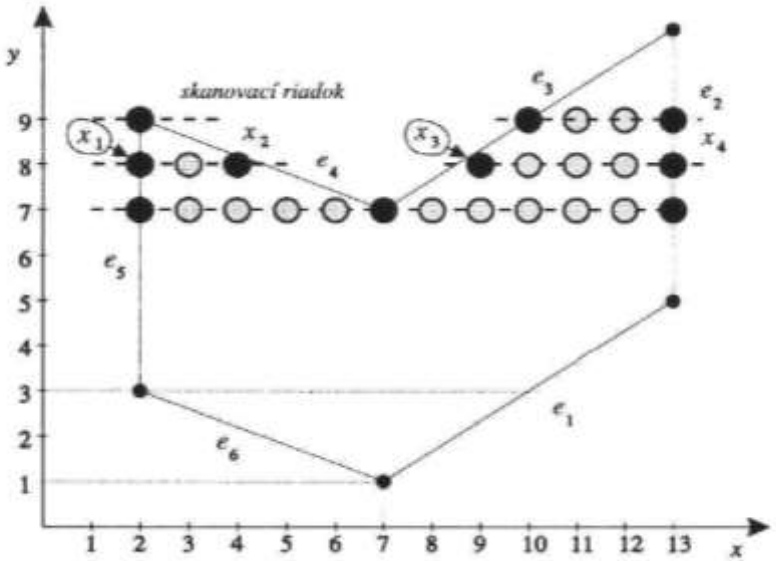


Obr. 5.11 Nekorektná hranica pre algoritmus vypĺňania podľa parity

Ružický, E. et al. 2012. *Počítačová grafika a spracovanie obrazu.* **http://www.sccg.sk/~ferko/PGASO2012-bookmarks.pdf**

Algoritmus vypĺňania podľa parity *Parity_fill*

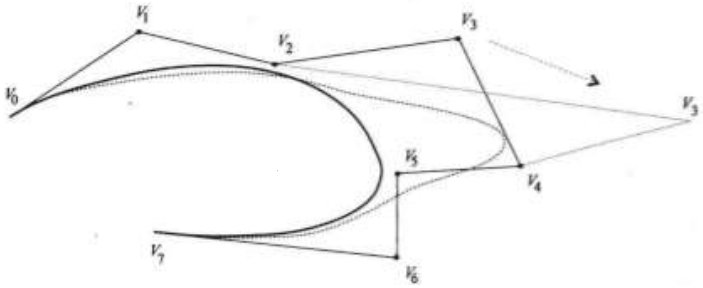
```
procedure Parity_fill;
var x, y, Xmax, Ymax, par, error_flag,
    nad, pod, bound_colour, ab: integer;
begin
   for y:= 1 to Ymax do                          { pre všetky riadky }
   begin
   par:= 0; error_flag:= 0;                      { inicializácia premenných *}
   nad:= 0; pod:= 0;   x:= 1;
   while x <= Xmax do
      begin
      if (h[x, y] ≠ bound_colour) then
         begin
         if (Odd(par)) then Fill_Pixel (x, y);   { vyplň *}
                        x:= x + 1;               { posuň *}
         end
      else
         begin
         Link_4 (x, y, nad, pod);                { zisti lokálne správanie hranice *}

         if ((nad=1) and (pod=1)) then par:= par + 1;
                                  ab:= nad + pod;
         if ((ab ≠ 0) or (ab ≠ 2)) then error_flag:= 1;
         end
      end;
   end;
   if (error_flag ≠ 0) then Title ('Error in boundary');   { vypíš chybovú správu }
end.
```



Obr. 5.13 Skanovací riadok pre rozklad mnohouholníka do rastra

Algoritmus Scan_Line

1. Skrátime zdola hrany naväzujúce vo vrchole monotónneho spojenia.
2. Vylúčime vodorovné hrany.
3. V cykle od minimálnej po maximálnu súradnicu *y* mnohouholníka:
  3.1 Nájdeme priesečníky skanovacej priamky so všetkými hranami.
  3.2 Usporiadame priesečníky podľa *x*-ovej súradnice.
  3.3 Vykreslíme všetky body, ktoré sú medzi dvojicami za sebou.
4. Vykreslíme hranicu mnohouholníka.



Obr. 4.3 Zmena riadiaceho polygónu Bézierovej krivky

Sformulujeme niektoré vlastnosti Bézierových kriviek :

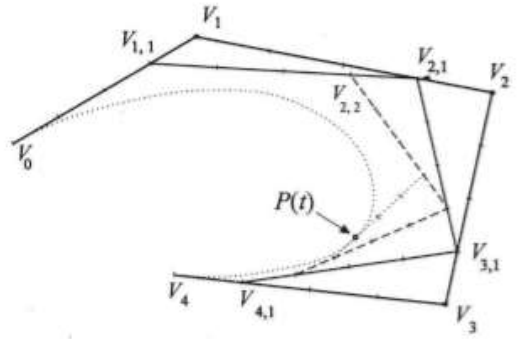
1. Začiatočným bodom Bézierovej krivky je bod V_0 a krivka sa v tomto bode dotýka priamky V_0V_1. Podobne koncovým bodom krivky je bod V_n a krivka sa v tomto bode dotýka priamky $V_{n-1}V_n$.

2. Bézierova krivka je krivkou stupňa n (pre daných n+1 bodov). Polynómi stupňa n, pre veľké n, sú numericky nestabilné a takisto aj Bezierová krivka stupňa n. Z toho dôvodu sa začali používať splajnové krivky nižšieho stupňa.

3. Na obr. 4.4 je ukázaná podstata tzv. algoritmu Casteljau. Určenie bodu krivky $\boldsymbol{P}(t)$ pre parameter t vykonáme postupným iteratívnym delením úsečiek riadiaceho polygónu pomerom závislým od parametru t. Na obrázku 4.4 sú znázornené tieto úsečky, kde pomer delenia je pre parameter $t = 0.75$ a $n = 4$. V každom i-tom priblížení definujeme body

$$V_{j,i} = (1-t).V_{j-1,i-1} + t.V_{j,i-1},$$

pre $i = 1, 2, 3, 4$ a $j = i, ..., 4$ a hľadaný bod je $\boldsymbol{P}(t) = V_{4,4}$.



Obr. 4.4 Algoritmus de Casteljau

Zobrazenie t sa často definuje tabuľkou s celočíselnými hodnotami. Môžu to byť obrázky zosnímané skenerom alebo vytvorené grafickým editorom, ktoré ukladajú informáciu v diskrétnej podobe. Inverzné zobrazenie mapuje do oblasti D_t vo všeobecnosti reálnymi hodnotami, preto musíme vedieť interpolovať chýbajúce hodnoty. Najčastejšie sa využíva **bilineárna interpolácia**.

Chceme získať hodnotu $t(x, y)$, preto označme najbližšie hodnoty nasledovne:

$\lfloor x \rfloor$ - zaokrúhlenie smerom dole na celočíselnú hodnotu a

$\lceil x \rceil$ - zaokrúhlenie smerom hore,

$$t_{11} = t(\lfloor x \rfloor, \lfloor y \rfloor), \quad t_{12} = t(\lfloor x \rfloor, \lceil y \rceil),$$

$$t_{21} = t(\lceil x \rceil, \lfloor y \rfloor), \quad t_{22} = t(\lceil x \rceil, \lceil y \rceil).$$

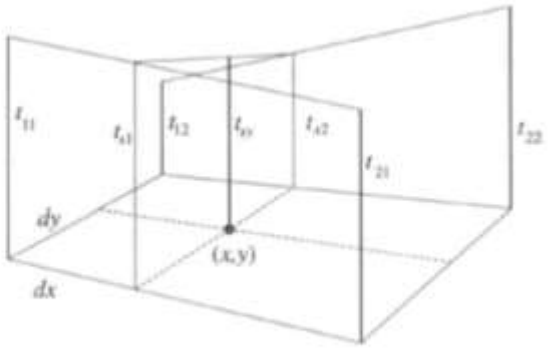
Z obrázku 15.2 vidíme ako vypočítať hodnotu $t(x, y)$ pomocou interpolácie:

$$t_{x1} = t_{11}(1-dx) + t_{21}(dx), \quad t_{x2} = t_{12}(1-dx) + t_{22}(dx),$$

$$t(x,y) = t_{x1}(1-dy) + t_{x2}(dy).$$

Po úprave

$$t(x,y) = t_{11} + (t_{12} - t_{11})dy + [t_{21} - t_{11} + (t_{11} - t_{12} - t_{21} + t_{22})dy]dx$$



Obr. 15.2 Výpočet interpolovanej hodnoty t(x, y)