Rastrová 2D grafika

- Určite kresliace programy používať viete ...
- Ako fungujú algoritmy?
  - Viete nakresliť úsečku z bodu A do bodu B?
  - Viete nakresliť kružnicu?
    - Elipsu?
  - Viete vyplniť farbou uzavretý objekt?
    - Viete nahradiť nejaký rozsah farieb od nejakého bodu s nejakou toleranciou?
    - Ako funguje odstraňovanie červených očí?
  - Viete otáčať časti obrazu?
  - Viete zväčšovať/zmenšovať?
  - Viete napísať písmeno?

Základný algoritmus na nakreslenie čiary [LDA][CGR]

```
dx = x2 - x1
dy = y2 - y1
for x from x1 to x2 {
  y = y1 + dy * (x - x1) / dx
  plot(x, y)
}
```

Predpokladom je, že

1) $dx > dy$
2) $x_2 > x_1$

Sú aj rýchlejšie algoritmy, napr. Brenschamov

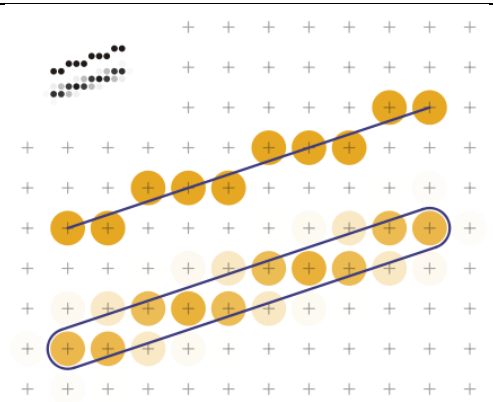
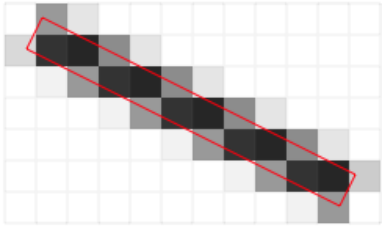
Aliasing a anti-aliasing - revízia

- Čo je v rastrovej grafike **aliasing**?
  - pixely/body môžu byť iba na pevných celočíselných pozíciách
  - ak chceme posunúť pixel „medzi“ nedá sa to – body/pixely šikmej čiary robia schodíky
  - tento „jav“ posunu bodov sa volá aliasing, resp „schodiskový efekt“
  - skoky na čiarach sa volajú aj zúbky (jaggies)

- Čo je v rastrovej grafike **anti-aliasing**?
  - zmiernenie viditeľnosti aliasingu
    - napr. v okolí bodu umiestni body s proporcionálne nižšou intenzitou

Príklad antialasingu

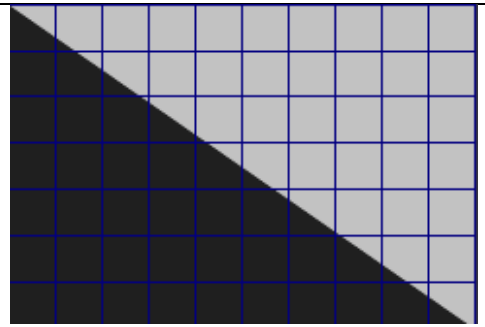
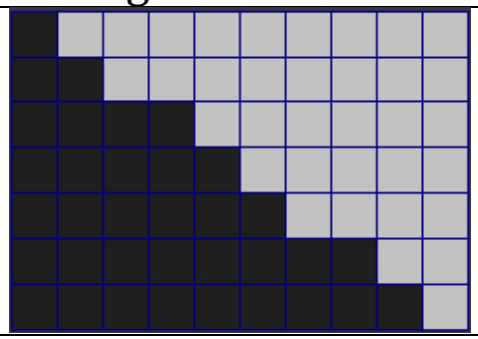
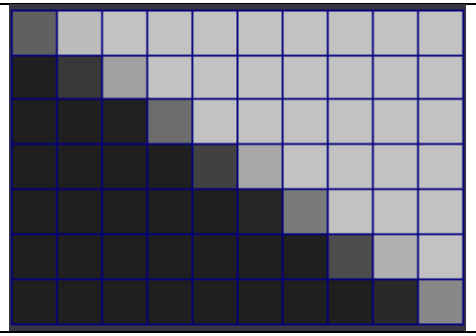
Čiary

Princíp	Príklad čiary s antialiasingom
	

Fonty

Objekty

Ideálna hrana	Raster-bes použitia antialiasingu	S použitím antialiasingu
		

Kreslenie kružnice [CGR]

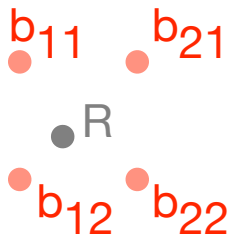
- napr. Bresenhamov algoritmus
- stačí vypočítať 45° , ostatné sa dokreslia pomocou symetrií
- počíta sa bez reálnej aritmetiky, bez odmocnín a mocnín
- keď p = x-ová-súradnica a q=y-ová súradnica, r=polomer

1. Initialize $p = 0$, $q = r$ and $g = 2(1 - r)$. Plot (p, q).
2. Start loop while $p \leq q$ for octant, or while $q > 0$ for quadrant.
   - 2.1. If $g < 0$, then set $d = 2g + 2q - 1$, else go to Step 2.2.
     - 2.1.1. If $d \leq 0$, then set $p' = p + 1$, $q' = q$ and $g' = g + 2p + 1$. Go to Step 2.4.
     - 2.1.2. If $d > 0$, go to Step 2.3
   - 2.2. If $g > 0$, then set $d = 2g - 2p - 1$, else go to Step 2.3.
     - 2.2.1. If $d \leq 0$, go to Step 2.3.
     - 2.2.2. If $d > 0$, then set $p' = p$, $q' = q - 1$ and $g' = g - 2q + 1$. Go to Step 2.4.
   - 2.3. Set $p' = p + 1$, $q' = q - 1$ and $g' = g + 2p - 2q + 2$.
   - 2.4. Plot (p', q').
   - 2.5. Reset $p = p'$, $q = q'$ and $g = g'$.
   - 2.6. If $p \leq q$ for octant, or if $q > 0$ for quadrant, then go to Step 2.1, else go to Step 3.
3. End loop.

Otáčanie obrazu

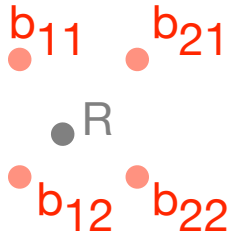
- hustota pixelov sa v princípe nemení, len súradnice sa preskupia (spravidla do nie celočíselných pozícií)
- nové hodnoty sa „interpolujú“ z okolitých (stratová, nevratná operácia)
    - v špeciálnych prípadoch 90°, 180°, 270° je otočenie bezstratové
- Základné metódy
    - interpolácia najbližším susedom (nearest neighbor interpolation): hodnota pixelu v destinácii je hodnota vybraného pixelu, ktorý k danému bodu padol najbližšie (resp. naopak, pre každý cieľový pixel sa pýtame ku ktorému zdrojovému pixelu by padol najbližšie)
        - chyba je maximálne pol pixelu
        - chyba sa prejavuje najmä na líniách, ktoré sú natočené šikmo k rastru (budú schodovité)
    - bilineárna interpolácia
        - využíva 4 okolité hodnoty (2x2) , výsledná hodnota je lineárnou kombináciou týchto bodov
        - vplyv jednotlivých bodov je úmerný ich blízkosti k spracovanému bodu
    - bikubická interpolácia – využíva 4x4 okolitých bodov

Princíp interpolácie najbližším susedom



Keď máme bod R vnútri obĺžnikovej oblasti ohraničenej bodni b_{11}...b_{22}.
Hodnota jasu $f(R)$v bode R je nahradená hodnotou v najbližšom bode b_{ij}
V príklade na obrázku je to bod b_{12}, t.j. $f(R) = f(b_{21})$

Princíp bilineárnej interpolácie



x,y súradnice bodov:

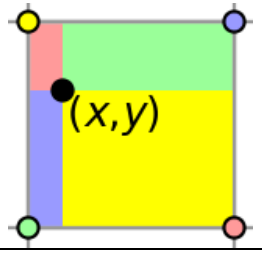
	x_1	x	x_2
y_1	$f(b_{11})$		$f(b_{21})$
y		$f(R)$	
y_2	$f(b_{12})$		$f(b_{22})$

Hodnota jasu v bode R je

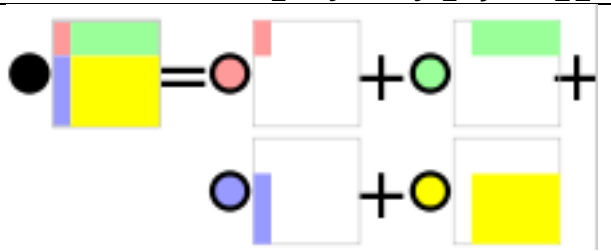
$$f(R) = \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}[(x_2 - x)(y_2 - y)f(b_{11}) + (x - x_1)(y_2 - y)f(b_{21}) + (x_2 - x)(y - y_1)f(b_{12}) + (x - x_1)(y - y_1)f(b_{22})]$$

Mnemotechnicky-princíp váhovania.

Pri nasledovnom farebnom značení:



Platí:



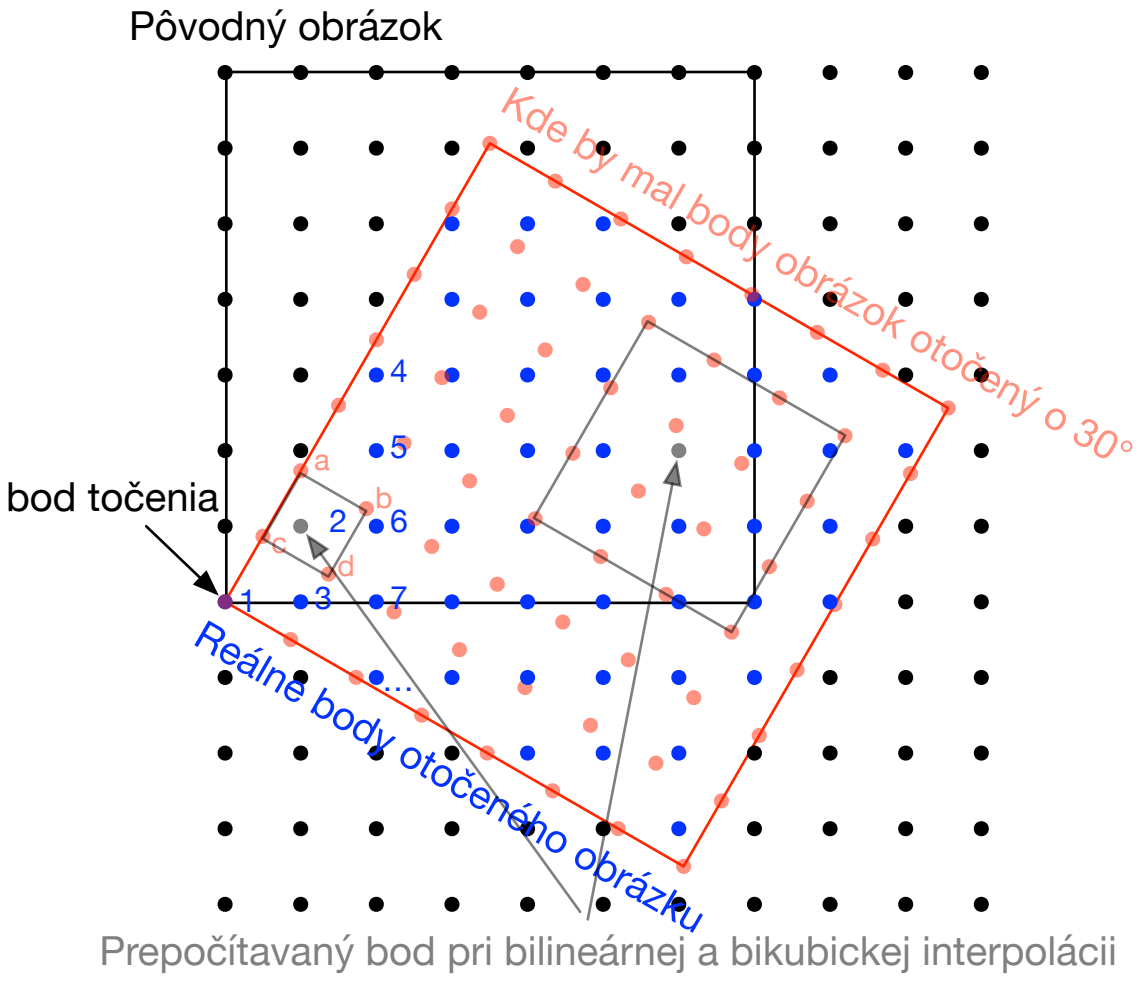
Príklad:

	$x_1 = 0$	$x = 0{,}25$	x_2=1
$y_1 = 0$	$f(b_{11})$=0		$f(b_{21}) = 200$
$y = 0{,}75$		$f(R)$	
$y_2 = 1$	$f(b_{12}) = 100$		$f(b_{22}) = 250$

$$f(R) = \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}[(x_2 - x)(y_2 - y)f(b_{11}) + (x - x_1)(y_2 - y)f(b_{21}) + (x_2 - x)(y - y_1)f(b_{12}) + (x - x_1)(y - y_1)f(b_{11})]$$

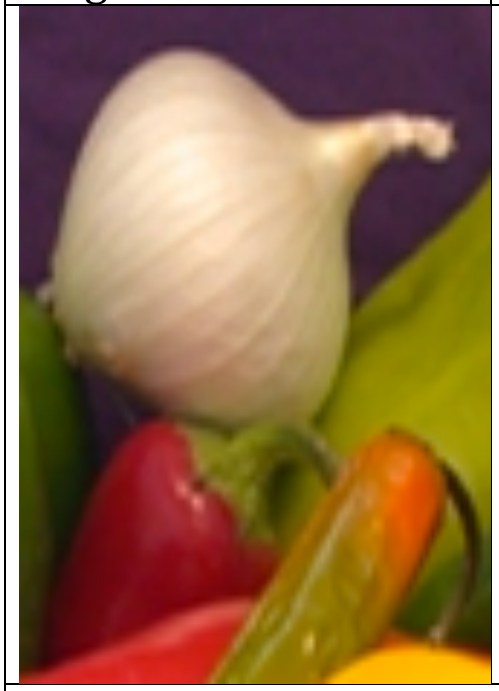
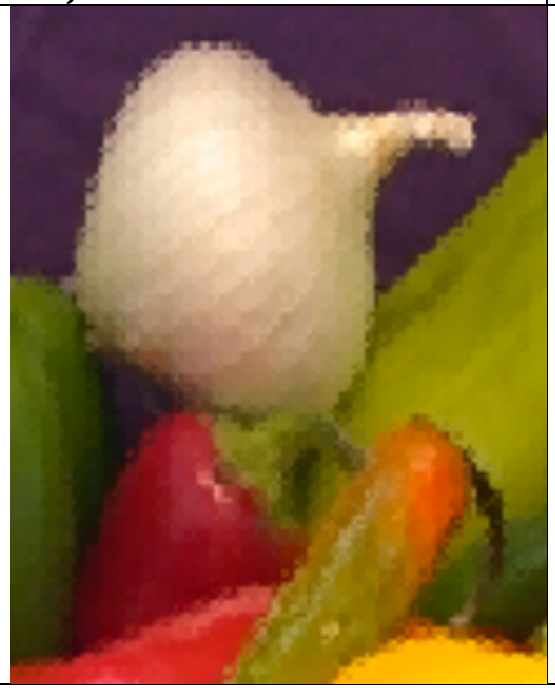
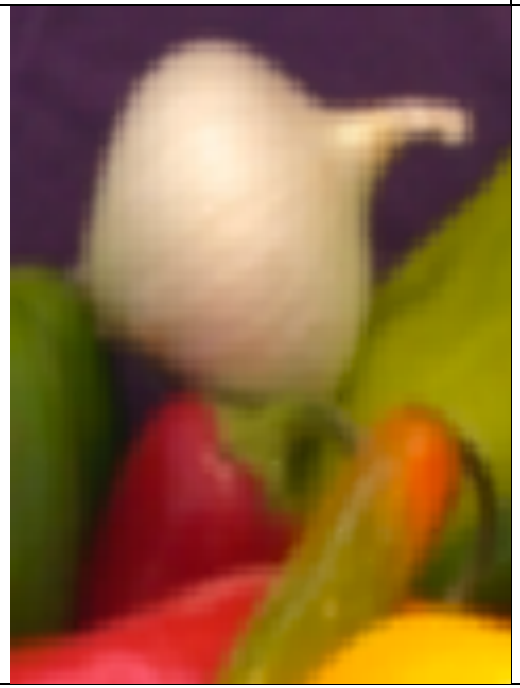
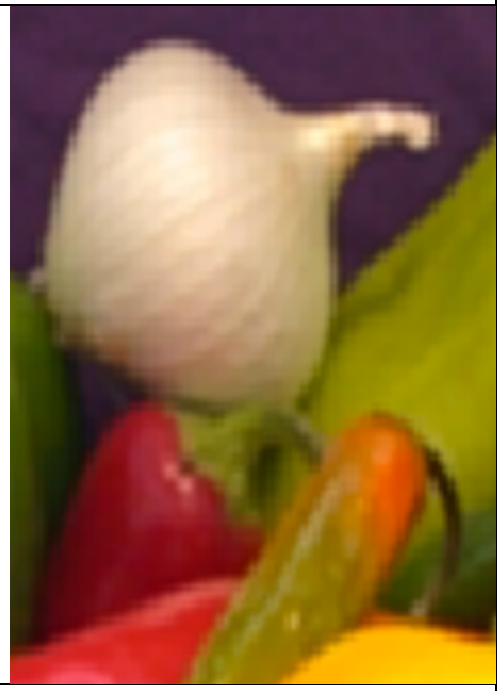
$$f(R) = \frac{1}{1}[(0{,}75)(0{,}25)0 + (0{,}25)(0{,}25)200 + (0{,}75)(0{,}75)100 + (0{,}25)(0{,}75)250] = 115{,}625$$

Otočenie obrazu – aplikácia bilineárnej a bikubickej interpolácie



Prepočítavaný bod pri bilineárnej a bikubickej interpolácii

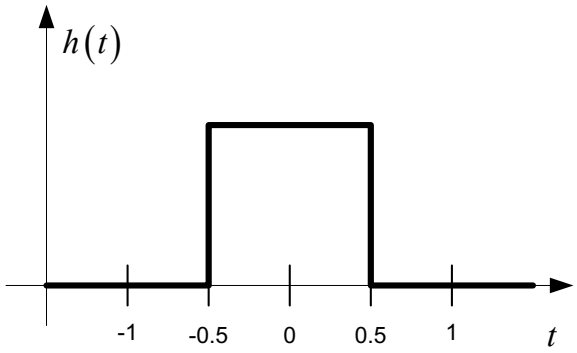
Príklad – výsledná degradácia obrazu po rotácii 8x45°

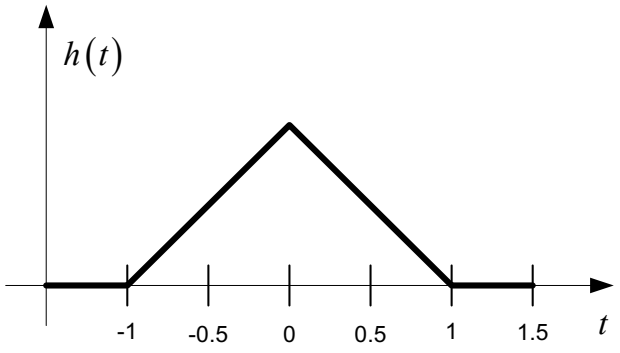
Originál	Najbližší sused	Bilineárna Int.	Bikubická Int.
			

```
clear all;
close all;
I = imread('wpeppers.jpg');
imshow(I)
ang=45
for idx=1:360/ang
    I=imrotate(I,ang,'bicubic');  %'nearest'/'bilinear'/'bicubic'
    figure; imshow(I)
    idx*ang
end
```

Konvolučná metóda interpolácie

Spomeňme na ADSS1 (posledná prednáška): $x(t) = h(t) * \sum_n x_d(n)\,\delta(t - nT_{vz})$
kde, $h(t)$ je konvolučné jadro (kernel) a môže byť napr (konštantná, lineárna interpolácia):

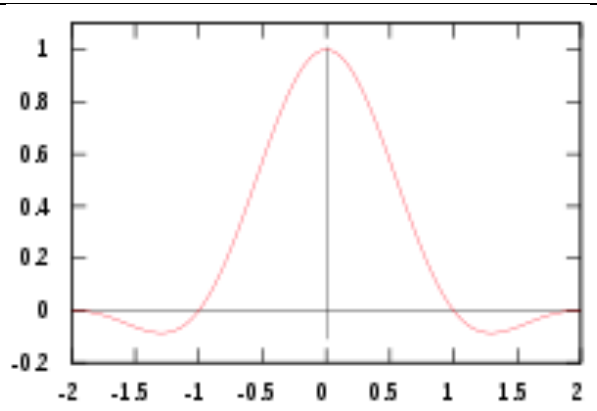




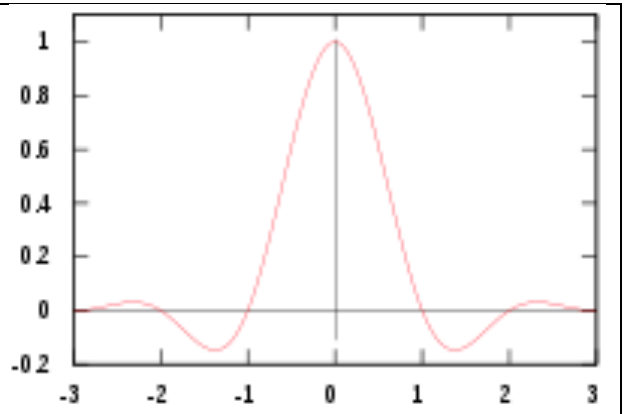
, alebo si funkcia $h(t) = si(\frac{t\pi}{T_{vz}})$

,alebo napr. Lanczosova funkcia:

$$h(t) = \begin{cases} si(t)si\left(\frac{t}{a}\right), & ak - a < t < a \\ 0, & inák \end{cases}$$



h(t) ak a=2

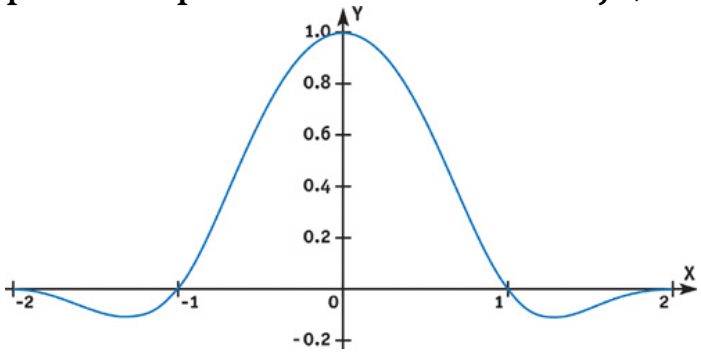


h(t) ak a=3

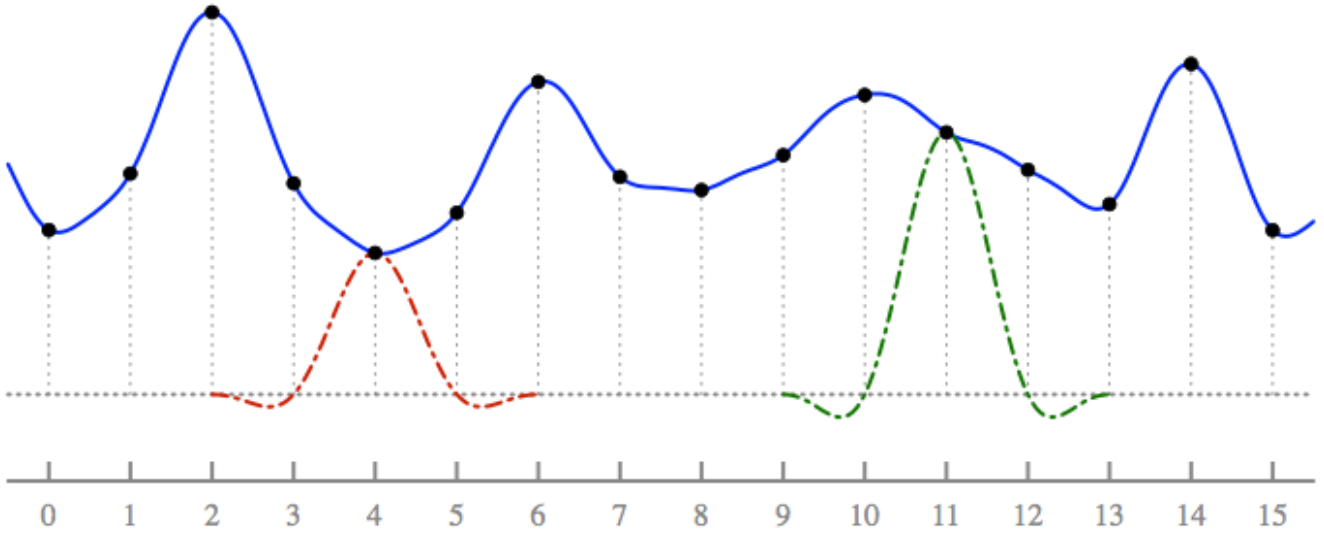
,alebo napr. Bikubické jadro (t.j. kubický spline[PARK93], pozor, nie B-spline, ten vyzerá trošku ináč):

$$h(t) = \begin{cases} (a+2)|t|^3 - (a+3)|t|^2 + 1 & pre\ t \leq 1 \\ a|t|^3 - 5a|t|^2 + 8a|t| - 4a & pre\ 1 < |t| < 2 \\ 0 & inák \end{cases}$$

pričom a je obvykle nastavené na -0.5 až -0.75 (v [R.G.Keys, 1980: Cubic Convolution Interpolation] používa presne -0.5 a dokazuje, že táto hodnota je optimálna.



Výsledkom konvolúcie je spojitý signál (napr s použitím Lanczosovej funkcie s a=2) – z čiernych bodiek vyrobí modrú funkciu:



Keď prejdeme zo vzťahu:

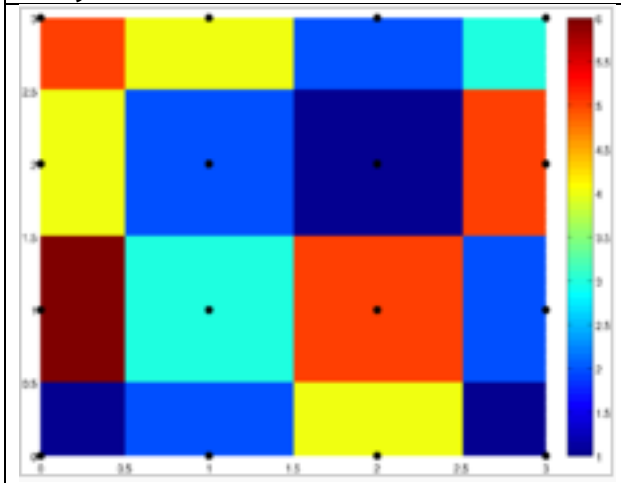
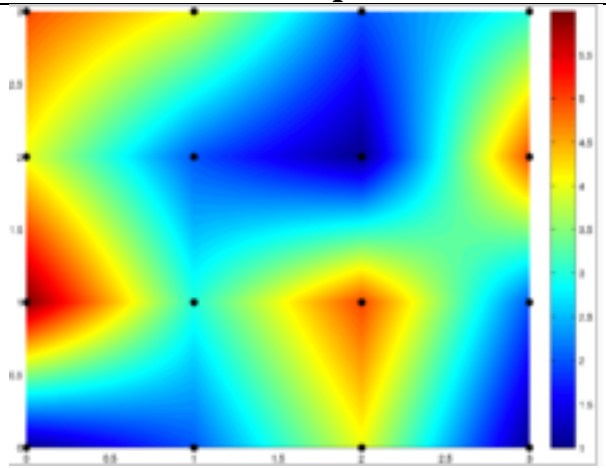
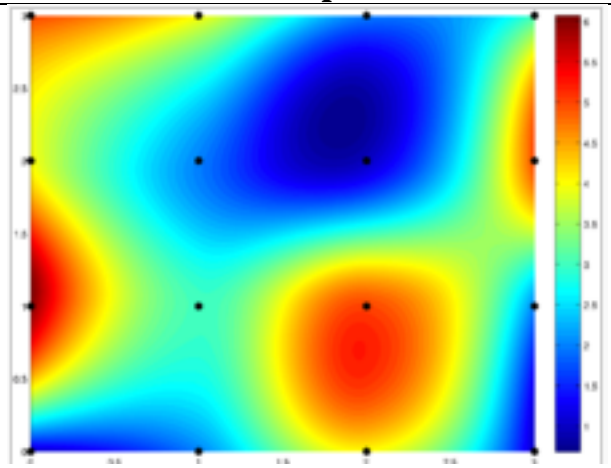
$$x(t) = h(t) * \sum_{n} x_d(n)\,\delta(t - nT_{vz})$$

do dvoch rozmerov, potom:

- náš obrázok je $obr_{disk}(x,y) = \sum_{n1}\sum_{n2} x_d(n1,n2)\delta(x-n1, y-n2)\ ,\ pričom\ n1,n2 \in Z$
- spojitá plachta je $obr_{spoj}(x,y) = h(x,y) * obr_{disk}(x,y)$ (1)

Platí:

- Najbližší sused = cca 2D konvoúcia podľa vzťahu (1), keď jadro je Konštantné
- Bilineárna interpolacia = 2D konvolúcia podľa vzťahu (1), keď jadro je Lineárne
- Bikubická interpoácia = 2D konvolúcia podľa vzťahu (1), keď jadro je Bikubické

Najbližší suseed	Bilineárna interpolácia	Bikubická interpolácia
		

- V praxi nemusíme vyrábať komplet celú plachtu, stačí nám urobiť výpočet iba pre špecifické body s daným x, y ľubovoľne vybrané z „plachty“.

Matlab a zväčšovanie/zmenšovanie obrazu

- Príkaz „imresize“
- Využíva interpoláciu a DP filtrovanie
- Pri zväčšovaní rozmerov
  - Použitá len interpolácia
- Pri zmenšovaní rozmerov
  - najprv aplikovaný DP filter, následne interpolácia
- Matlab implementuje
  - Metódu najbližšieho suseda, bilineárnu interpoláciu, bikubickú interpoláciu
  - Interpolácie použitím konvolučných jadier:
    - 'box' - konštantná interpolácia
    - 'triangle' - lineárna interpolácia (bilinear)
    - 'cubic' - kubická interpolácia – odpovedá bicubic interpolácii
    - 'lancczos2' – Lanczosova interpolácia pri a=2
    - 'lancczos2' – Lanczosova interpolácia pri a=3
- Na dalšom slide sú príklady degradácie kvality pri zmenšení a spätnom zväčšení

```
I2 = imresize(I,1/16, konvolucne_jadro);
I = imresize(I2,16, konvolucne_jadro);
```

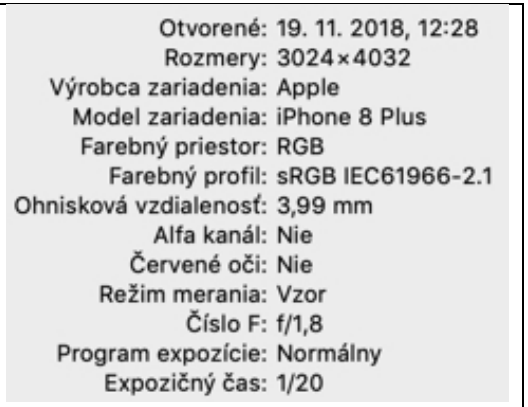
Originál	Najbližší sused	Bilinear
		
Bicubic	**Lanczos2**	**Lanczos3**
		

Veľké obrázky

- Kuala Lumpur 846 gigapixels (2014)
- Moon surface 681 gigapixels (2010-2013)
- ...
- Londýnska panoráma 360° (r. 2012, 320 Gigapixelov) (http://360gigapixels.com/london-320-gigapixel-panorama/)

Gama korekcia

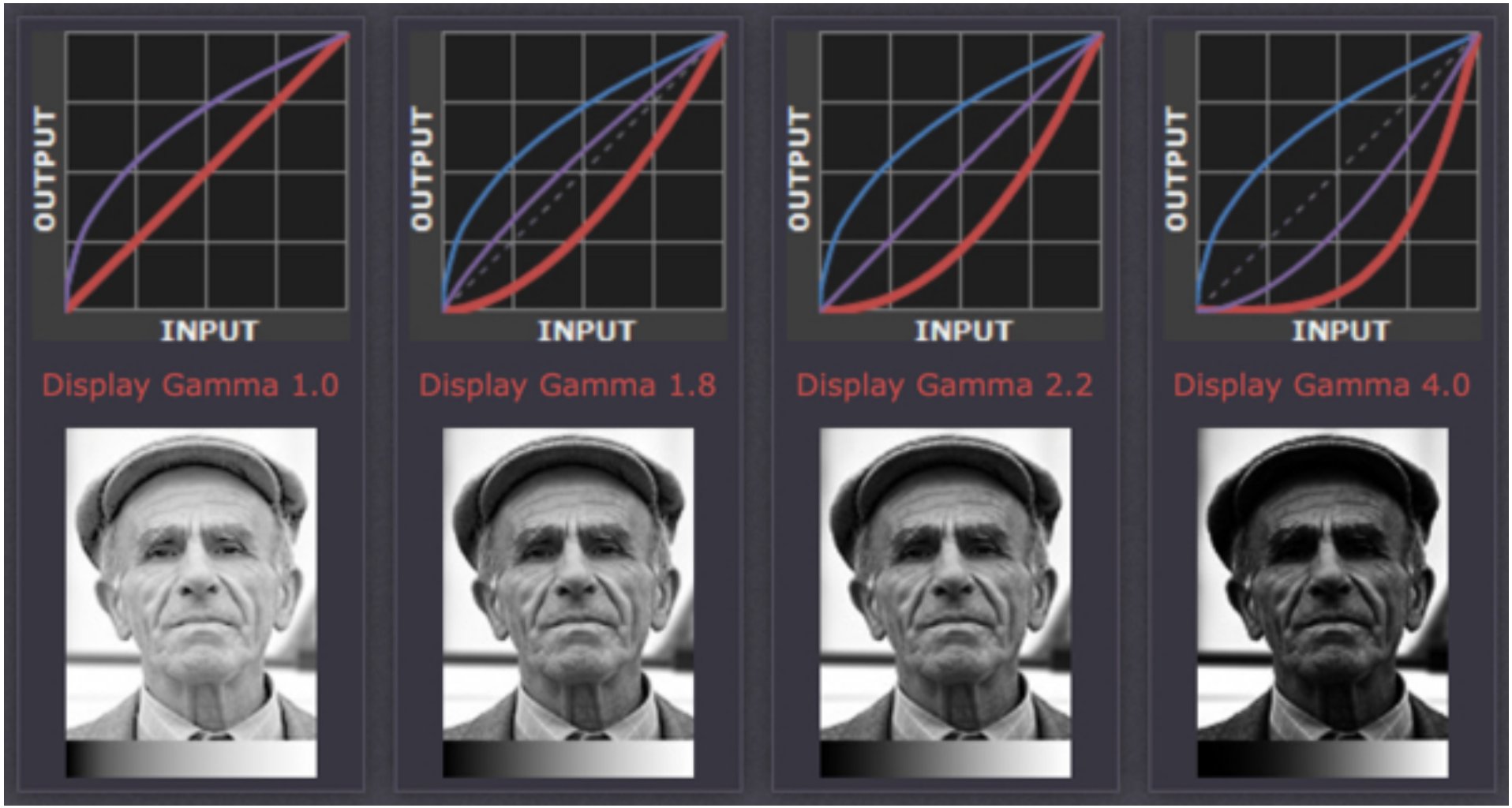
- Hodnoty sa upravujú exponenciálne pomocou $V_{out} = V_{in}^{\gamma}, V_{in} \in (0,1)$
  - $\gamma < 1$ = kompresia, $\gamma > 1$ = expanzia
- Ako pri audiu tak aj pri obraze nie je oko rovnako citlivé na zmeny pri rôznych úrovniach jasu – zdvojnásobenie množstva fotónov nevníma oko až ako zdvojnásobenie jasu
- Preto
  - pri snímaní a napr. konverzii RAW->JPG (napr. far. priestor sRGB) sa používa gama kompresia – viac bitov je takto alokovaných pre tmavšiu časť (napr. $V_{out} = V_{in}^{\gamma}$)
    - štandardne pri sRGB, Display P3, približne platí $\gamma = 1/2.2$
  - programy na úpravu obrázkov pracujú s gama komprimovanými hodnotami
  - pri zobrazení na monitore sa robí gama expanzia
    - štandardne monitory používajú $\gamma = 2.2$



EXIF info. Fotka z mobilu

Gama korekcia 2

- Bol vytvorený obrázok RAW->JPEG s použitím sRGB
- Obrázok bol zobrazený na monitoroch s rôznymi gama



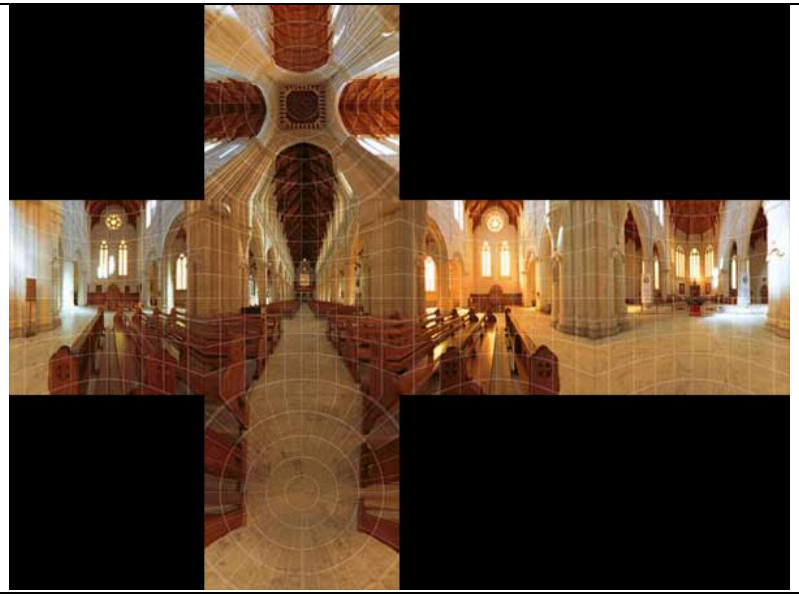
360 °obraz

Zdroj

- Z 3D modelu (nachádzame sa uprostred scény)
- Z 360 ° kamery/fotoaparátu (Ricoh Theta (2obj), Samsung Gear 360(2obj), Nokia OZO (má Wavelet-based raw kompresiu!) (veľa, veľa objektívov aj veľká cena)
- Panorámy vyskladané z mnohých obrázkov zošívaním

Cieľ

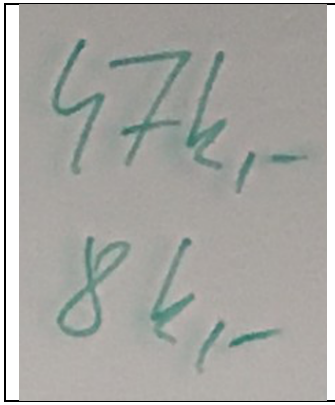
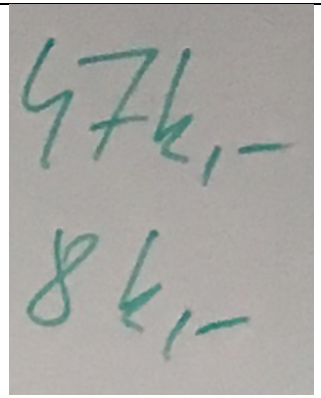
- Pozeráme na 2D signál monitor, ak tak chceme dostať 360°, musíme spraviť projekciu
    - **Projekcia**: spôsob/dohovor, ako je 3D objekt zobrazený na 2D povrchu
    - Používajú sa 2 hlavné projekcie:

Equirectangular (360°x180°) - Cylindrická panoráma (ekvidištančná valcová projekcia) – rovnobežky na zemeguli by boli horizontálne úsečky z ľava do prava	Cubic (kubická)
	

- 360° stereoskopický obraz

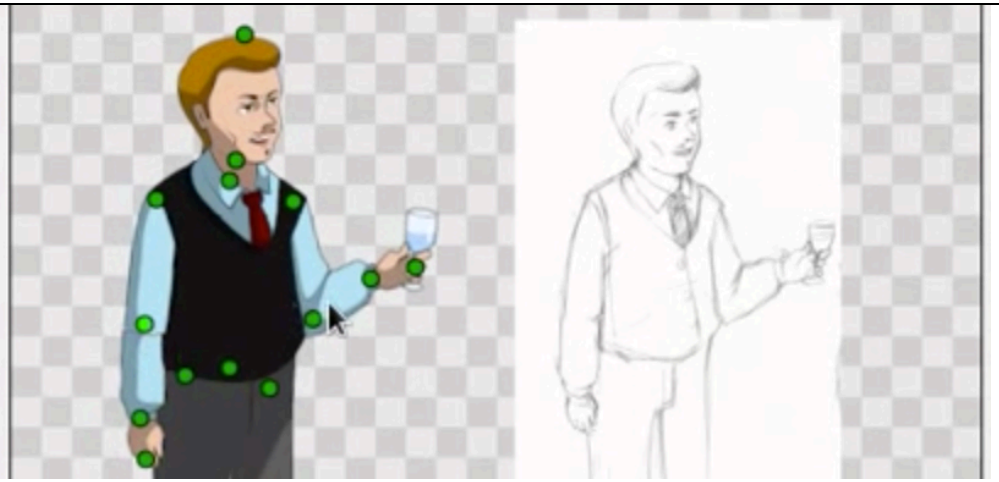
Zošívanie obrazu

- chceme vytvoriť panorámu ... ako na to? Cieľom je zošívať
  - do lineárnej panorámy – vytvárané posuvným pohybom, posúvaním pozdĺž (pohyb sa volá "tracking", "travelling“, resp. „laterar“, napr chcem obraz whiteboardu s pokresleným obsahom
    - niekedy volá aj „Route panorama “Principiálne sa hovorí o použití „line camera“ (t.j. normálna kamera) alebo„slit camera“ (štrbinová kamera)
      - Štrbinové snímanie veľmi súvisí so skenovacou fotografiou, čo je fotografovanie pomocou klasických scannerov a nie fotoaparátov. Tento prístup má veľké špecifiká, najmä čo sa týka hustoty bodov a hĺbky ostrosti.
  - do „panning“ panorámy (očakáva sa rotačný (panning) pohyb [PANNING]. Tento pohyb sa nazýva aj rotácia, alebo „yaw“)
- Zošívanie – programy: Hugin, Affinity Photo, Autostitch, ...
  - rôzne algoritmy zošívania pre lineárnu/panning panorámu
  - frekvenčné algoritmy za sebou nechávajú niekedy „závoj“, keď sa zošíva text ...

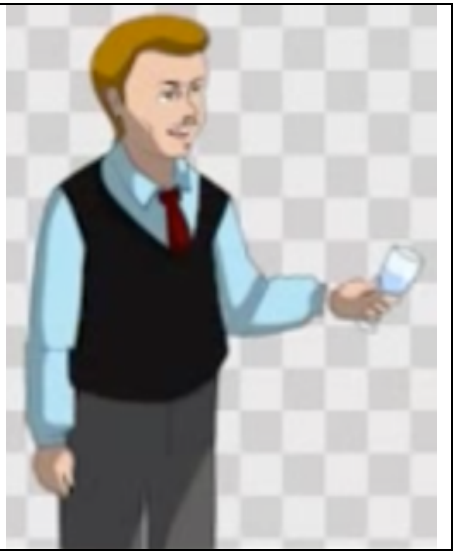
		Príklady zošitých obrázkov (Vľavo Autostitch – pridal závoj, pvravo Affinity Photo)

Animácia

- Pri animácií sa vyrába sekvencia obrázkov, a pridáva sa aj audio = film
- Metodika výroby obrazovej časti – podla typu animácie
  - Animovaná kresba 2D - vsetko sa pracne kresli zovu a znovu nanajvýš sa editujú rastrové objekty
  - Animovaná 2D vektorová grafika (odoprúčané Synfig Studio (Open source) [Demo])
    - Najprv sa vyrobia náčrtky (bitmapové kresby)
    - Potom sa obrázky vektorizujú (prekreslovanie kresby do vektorovej formy)
    - Animuje sa vektorová forma – objekty sa otáčajú, posúvajú, mení sa im tvar atď ...
      - Pri postavách sa môže vytvoriť spojitý mechanický model (viď zelené body)



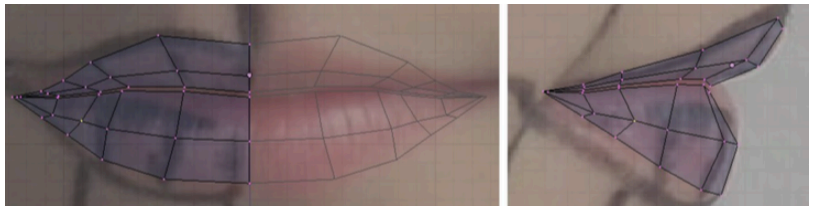
[morevna]



Animácia 3D

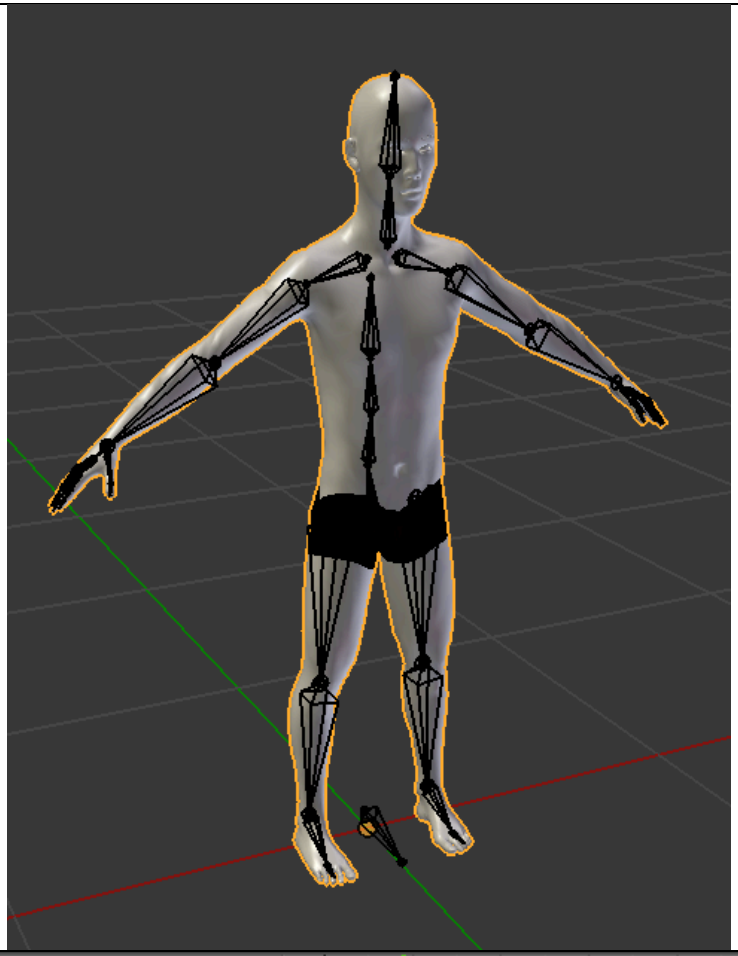
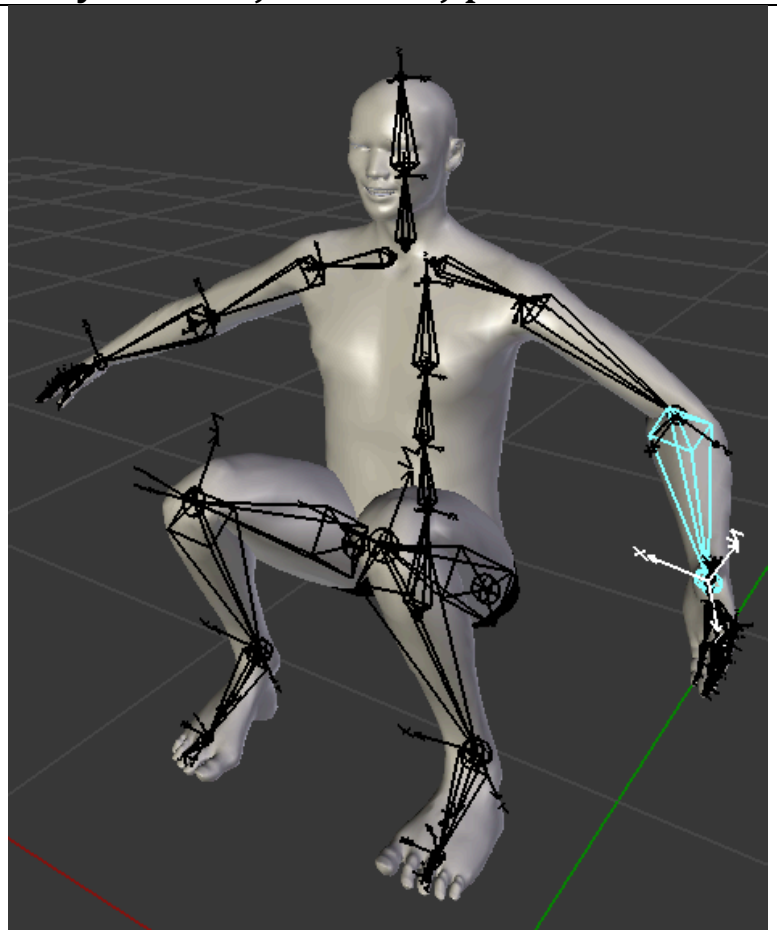
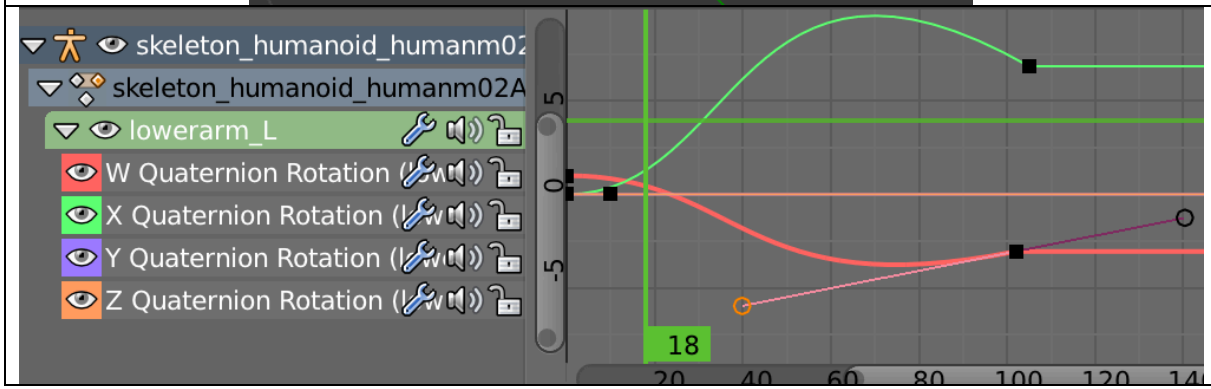
Animované 3D (Odporúčaný Blender)

- výroba nácrtkov / fotiek(!) (narys, podorys bokorys ...) ako v 2D



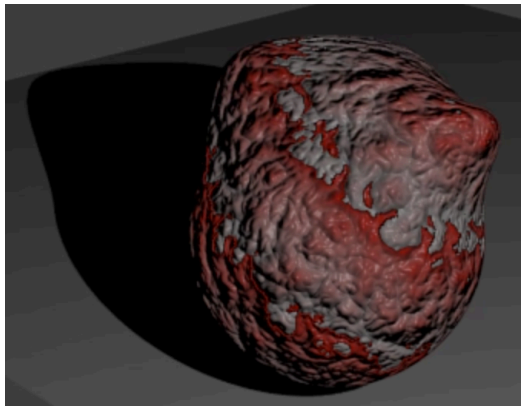
- výroba 3D modelov (tu pri postavách napr. pomôže program „Makehuman“, Add-ony do Blenderu, ...)
- objekty sa posúvajú po scéne, modeluje sa ich pohyb, hýbe sa kamerou, osvetlením atď ...
- veľa sa aj skriptuje pohyb (automaticky sa opakujúce pohyby, ...)

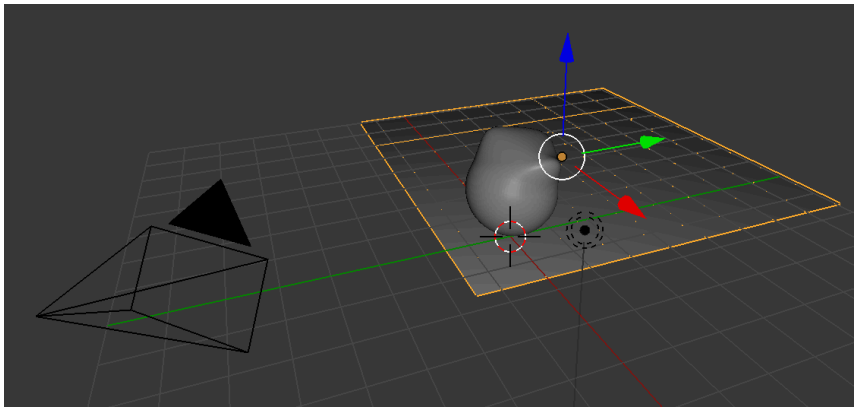
- Často používané metódy
  - keyframing – definuje medzné pozície, medzi ktorými počítač vytvorí plynulý prechod
  - pohyb človeka – animácia kostry (3 modelu postavy)
    - inverzná kinematika – nemusí sa určovať poloha každého kĺbu a otočena zvlášť, ale definuje sa poloha niektorých kľúčových bodov, polohy všetkých kĺbov sú následne dopočítané algoritmicky
    - motion capture – pre realistický pohyb je zachytený pohyb živého herca , následne je pohyb aplikovaný na 3D model postavy

Základná poloha	Kĺby v ďalšej medznej pozícii
	
	Príklad priebehu polôh kĺbu medzi nastaviteľný pomocou beziérových kriviek

Tvorba animácií v Blenderi

- nastavenie výstupných parametrov (formát, framerate, ...)
- spustenie renderovania v príklade ... cca 2 frame/s ...
- môže sa použit aj video editovanie nástroje ....

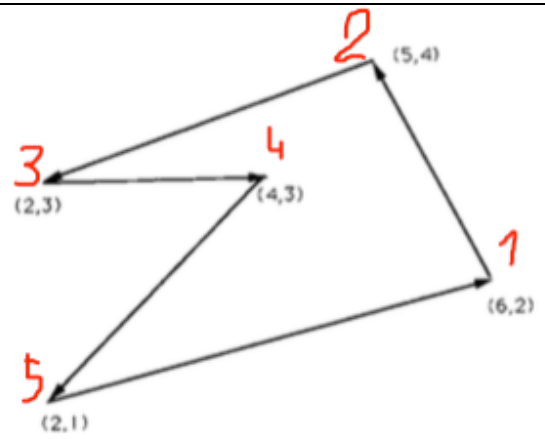




- Blender má implementovaný fyzikálny engine
  - objekty nôžu byť pod vplyvom gravitácie
  - simulácia kolízií - ok sa objeky zrazia ..
  - časticový engine (particle engine) – ovládanie vlastností obrovského množstva častíc ...
  - vlasy a ich správanie ...
  - a mnoho ďalšieho ....

Vektorová grafika

- Súvisí s lineárnou algebrou – je o krivkách ☺
- Umožňuje precízne modelovanie objektov
  - Umožňuje prácu s údajmi a objektami
- Napr. Kde/či sa objekty dotýkajú, prekrývajú, ako sú ďaleko od seba
  - tvorba prienikov, súčtov objektov
- Napr. aký majú objekty obsah ...
  - Majme uzavretý útvar s bodmi $P_i = (x_i, y_i)$, kde $i = 1, \dots, n$ očíslovanými v protismere hodinových ručičiek.
  - Potom obsah útvaru je:
    - $A = \frac{1}{2}\begin{vmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_{n-1} & x_n & x_1 \\ y_1 & y_2 & \dots & y_{n-1} & y_n & y_1 \end{vmatrix}$
- Príklad:

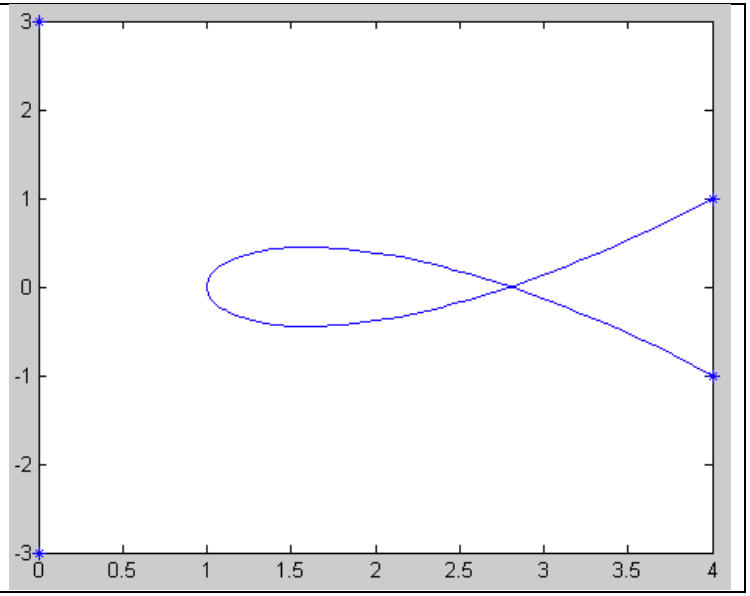


$A = \frac{1}{2}\begin{vmatrix} 6 & 5 & 2 & 4 & 2 & 6 \\ 2 & 4 & 3 & 3 & 1 & 2 \end{vmatrix}$=1/2 [(6x4+5x3+2x3+4x1+2x2)-(5x2+2x4+4x3+2x3+6x1)]=7.5

Krivky

- Aký je rozdiel medzi funkciou a parametrickou krivkou?
- Kam patria kružnice, elipsy ?
- Parametrické krivky
  - $P: R \rightarrow R^2$
  - $P(t) = (x(t), y(t))$
- Príklad zápisov:
  - $P(t) = (\cos t\,, \sin t)$
    - $P(t) = (1-t)P_0 + tP_1$,Kde je krivka v čase t=0? Kde je v čase t=1?
    - V nižšieuvedenom príklad je kde krivka v uvedených časoch?

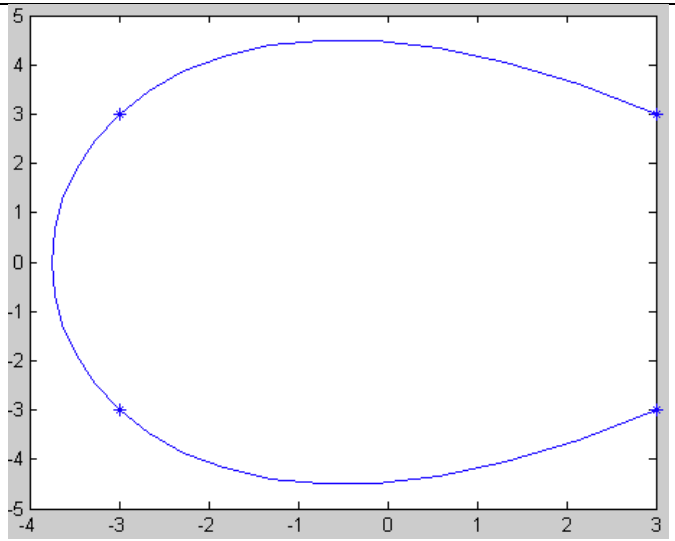
```
clear all;
close all;
t=0:0.01:1
myx=4*(1-t).^3+0*3*(1-t).^2.*t+0*3*(1-t).*t.^2+4*t.^3;
myy=1*(1-t).^3-3*3*(1-t).^2.*t+3*3*(1-t).*t.^2-1*t.^3;
plot(myx, myy);
hold on;
plot([4, 0, 0, 4],[1, -3, 3, -1],'*')
```



Interpolácia funkcií a kriviek

- polynomická interpolácia bodov P_0, ..., P_n zosnímaných v časoch t_0, ..., t_n?
  - Cieľom je nájsť takú parametrickú krivku $P(t)$, že $P(t_k) = P_k$, pre každé k
  - napr. lineárna interpolácia
- ako prejsť od interpolácie funkcie k interpolácii krivky?
  - Robiť interpoláciu zvlášť pre obe súradnice ...
- Napr: interpolujme polynomickou interpoláciou body: $P_k = \{(3,3), (-3,3), (-3,-3), (3,-3)\}$

```
clear all;
close all;
t=0:0.1:3
myx=3*(t-1).*(t-2).*(t-3)/(-6)-3*(t-0).*(t-
2).*(t-3)/(2)-3*(t-0).*(t-1).*(t-3)/(-
2)+3*(t-0).*(t-1).*(t-2)/(6);
myy=3*(t-1).*(t-2).*(t-3)/(-6)+3*(t-0).*(t-
2).*(t-3)/(2)-3*(t-0).*(t-1).*(t-3)/(-2)-
3*(t-0).*(t-1).*(t-2)/(6);
plot(myx, myy);
hold on;
plot([3, -3, -3, 3],[3, 3, -3, -3],'*')
```



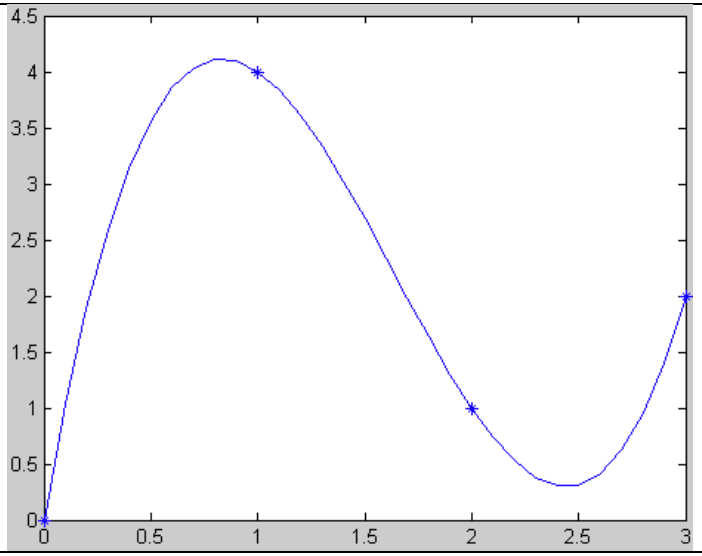
Hm ... čo že to je v tom programe ? Predsa Lagrangeova metoda na interpoláciu pomocou polynómov.

Lagrangeova interpolácia funkcií

- Majme $k+1$ dátových bodov x_j s hodnotami y_j
- Potom sa dajú zostrojiť polynómy $l_j(x)$ nanajvýš k-teho stupňa, ktoré
  - majú hodnotu 1 vo vybranom dátovom bode z uvedených
  - vo všetkých ostatných dátových bodoch majú hodnotu 0
- Stačí ich naváhovať príslušnými hodnotami y_j a výsledok je:
- $L(x) = \sum_{j=0}^{k} y_j \, l_j(x)$
- pričom $l_j = \prod_{0 \le m \le k, m \ne j} \frac{x - x_m}{x_j - x_m}$
- t.j. polynómy, ktoré pre x_j=(0, 1, 2, 3) majú hodnotu 1 pri j a pre iné majú hodnoty 0:
  - $j = 0$: $l_0(x) = \frac{(x-1)}{(0-1)} \frac{(x-2)}{(0-2)} \frac{(x-3)}{(0-3)} = -\frac{1}{6} \qquad (x-1)(x-2)(x-3)$
  - $j = 1$: $l_1(x) = \frac{(x-0)}{(1-0)} \frac{(x-2)}{(1-2)} \frac{(x-3)}{(1-3)} = +\frac{1}{2}(x-0) \qquad (x-2)(x-3)$
  - $j = 2$: $l_2(x) = \frac{(x-0)}{(2-0)} \frac{(x-1)}{(2-1)} \frac{(x-3)}{(2-3)} = -\frac{1}{2}(x-0)(x-1) \qquad (x-3)$
  - $j = 3$: $l_3(x) = \frac{(x-0)}{(3-0)} \frac{(x-1)}{(3-1)} \frac{(x-2)}{(3-2)} = -\frac{1}{6}(x-0)(x-1)(x-2)$

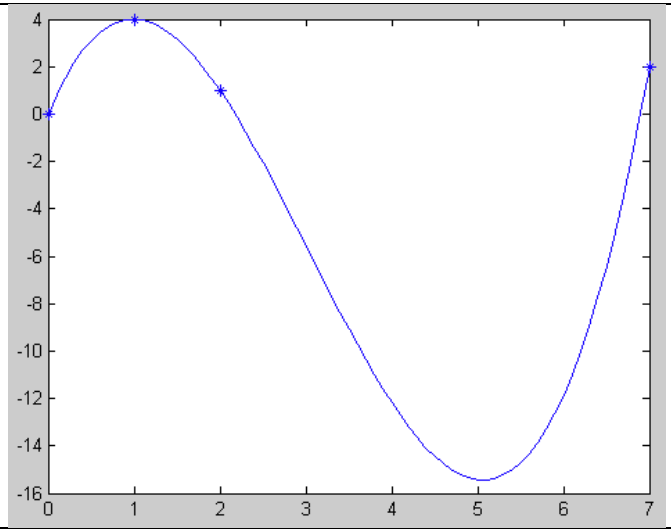
Príklad: Ekvidištančné vzdialenosti bodov

```
clear all;
close all;
x=0:0.1:3
myy=0*(x-1).*(x-2).*(x-3)/(-6)+4*(x-0).*(x-
2).*(x-3)/(2)+1*(x-0).*(x-1).*(x-3)/(-
2)+2*(x-0).*(x-1).*(x-2)/(6);
plot(x, myy);
hold on;
plot([0, 1, 2, 3],[0, 4, 1, 2],'*')
```



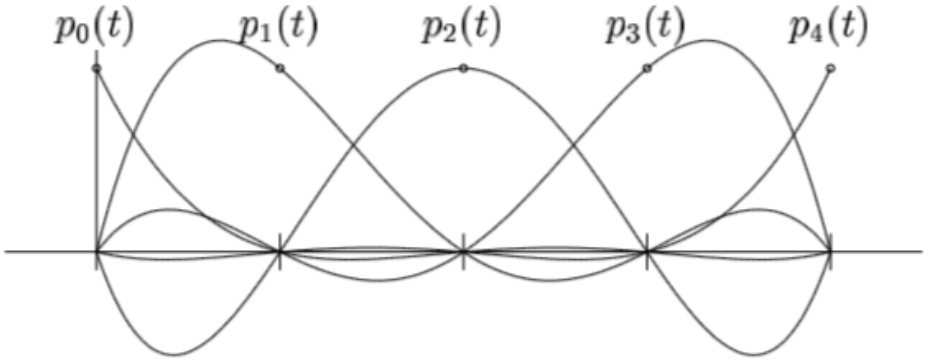
Príklad: Lubovoľné vzdialenosti bodov

```
clear all;
close all;
x=0:0.1:7
myy=0*(x-1).*(x-2).*(x-7)/(-14)+4*(x-0).*(x-
2).*(x-7)/(6)+1*(x-0).*(x-1).*(x-7)/(-
10)+2*(x-0).*(x-1).*(x-2)/(7*6*5);
plot(x, myy);
hold on;
plot([0, 1, 2, 7],[0, 4, 1, 2],'*')
```



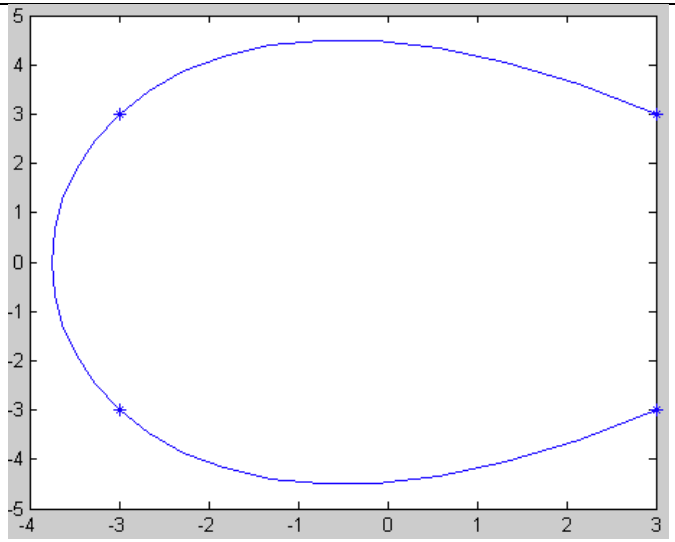
Lagrangeova interpolácia kriviek

- podobne, ako na funkcie sa dá recept aplikovať na krivky:
- $P(t) = p_0(t)P_0 + \cdots + p_n(t)P_n$
- , kde $p_i(t) = \prod_{i \neq j} \frac{t - t_j}{t_i - t_j}$



Zopakovanie príkladu:

```
clear all;
close all;
t=0:0.1:3
myx=3*(t-1).*(t-2).*(t-3)/(-6)-3*(t-0).*(t-
2).*(t-3)/(2)-3*(t-0).*(t-1).*(t-3)/(-
2)+3*(t-0).*(t-1).*(t-2)/(6);
myy=3*(t-1).*(t-2).*(t-3)/(-6)+3*(t-0).*(t-
2).*(t-3)/(2)-3*(t-0).*(t-1).*(t-3)/(-2)-
3*(t-0).*(t-1).*(t-2)/(6);
plot(myx, myy);
hold on;
plot([3, -3, -3, 3],[3, 3, -3, -3],'*')
```



Inteligentnejšie riešenie?

- Napr. splajny (spliny)
- Čo sú to splajny?
  - Po častiach polynomické funkcie
  - napr. použijeme polynóm 3. Stupňa a budeme striehnuť na vlastnosti výsledku ...