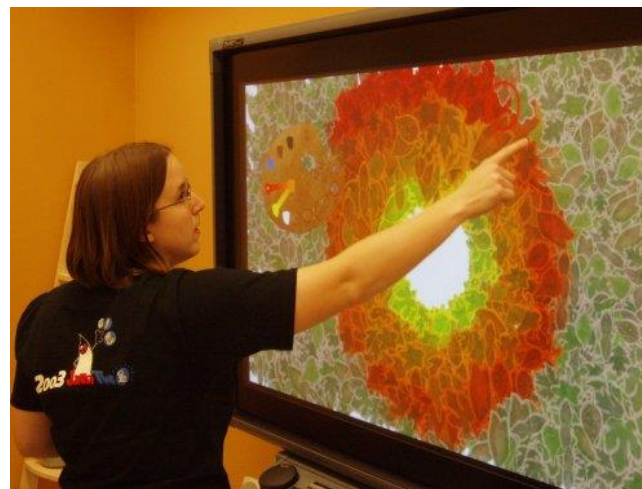




hct.ece.ubc.ca

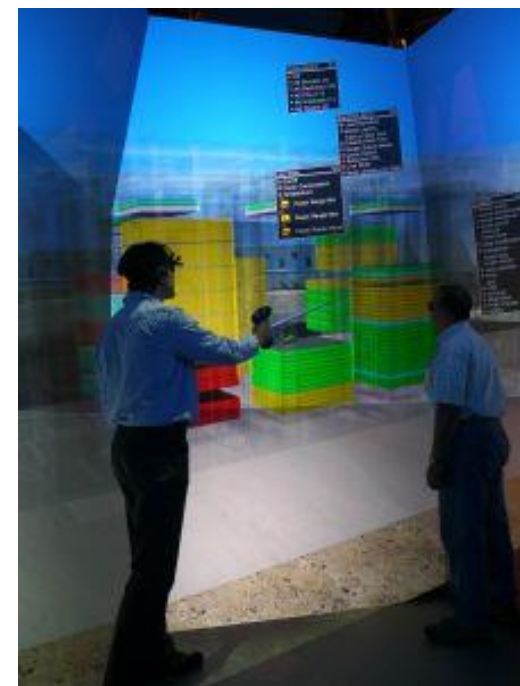


tobias.isenberg.cc

9. Interakční techniky



ivlab.cs.umn.edu



ivl.calit2.net

Prostor obrazovky

- Distorze v prostoru obrazovky je běžným nástrojem pro poskytnutí focus+context
- Příkladem je **rybí oko** – musíme specifikovat:
 - středový bod transformace - (c_x, c_y)
 - poloměr lupy – r_l
 - velikost vychýlení (deflexe) – d

$$r_{new} = s \log(1 + d(r_{old}))$$

kde

$$s = \frac{r_l}{\log(1 + d * r_l)}$$

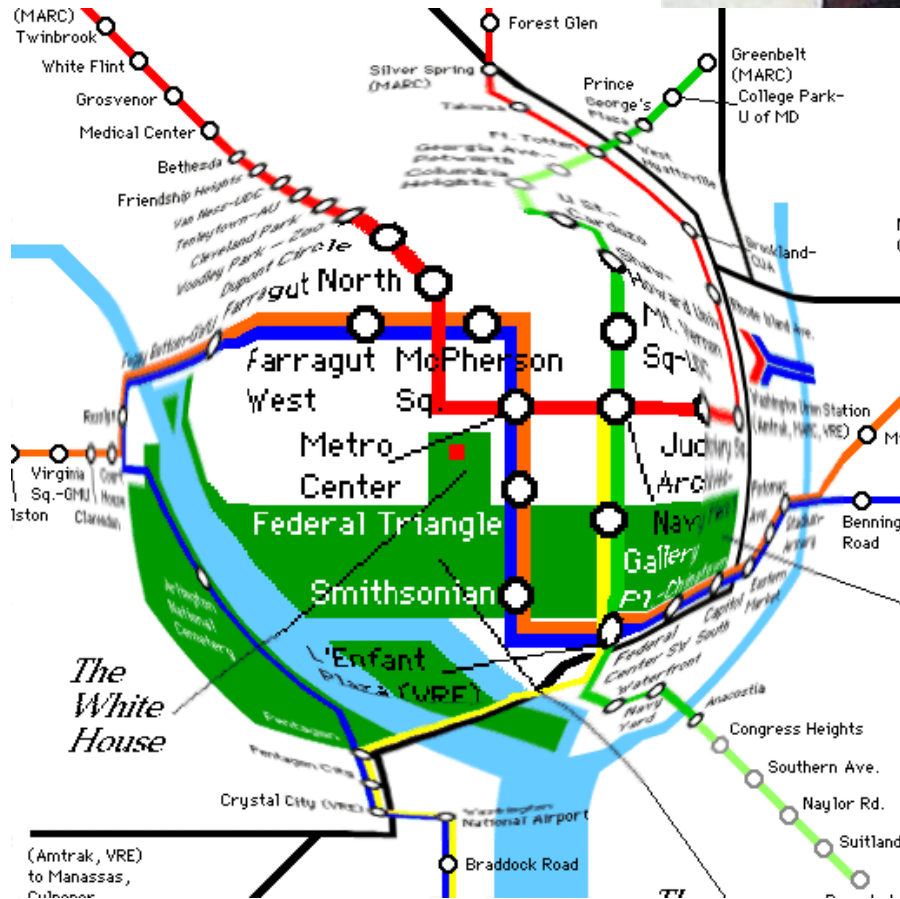
Rybí oko - pseudokód

1. Vyčistíme výstupní obrázek.
2. Pro každý pixel vstupního obrázku:
 - a) Spočteme odpovídající polární souřadnice.
 - b) Pokud je poloměr menší než je poloměr lupy:
 - i. Spočteme nový poloměr r_{new} .
 - ii. Získáme barvu tohoto místa z původního obrázku.
 - iii. Nastavíme tuto barvu jako barvu pixelu ve výstupním obrázku.
 - c) Jinak nastavíme výsledný pixel obrázku na stejnou hodnotu, jakou má v původním obrázku.

Prostor obrazovky

- Při distorzi vzniká překryv pixelů a naopak díry
 - Překrývání se řeší průměrováním
 - Díry je nutné řešit interpolací
- Zvolená interpolace závisí a typu použité lupy
 - Například při vizualizaci textu je požadavek na nedeformovanou středovou část lupy (pro lepší čitelnost) – toho dosáhneme použitím po částech lineární funkce

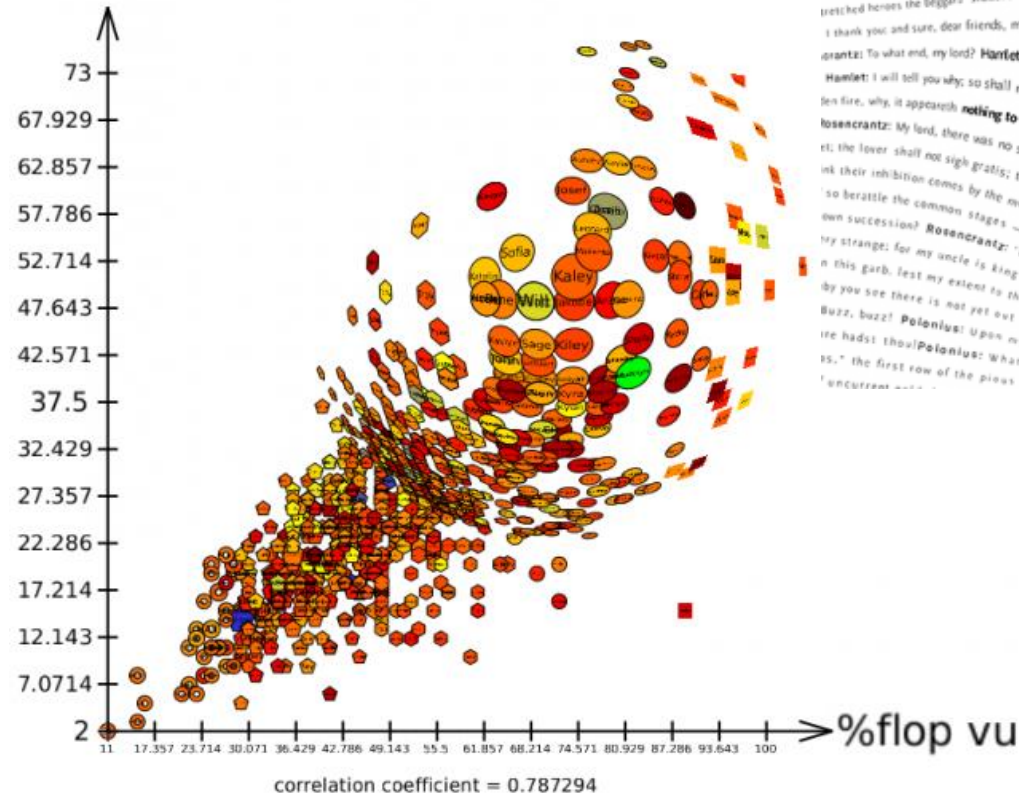
Rybí oko



kizziecat.blogspot.com

Rybí oko

%show vu

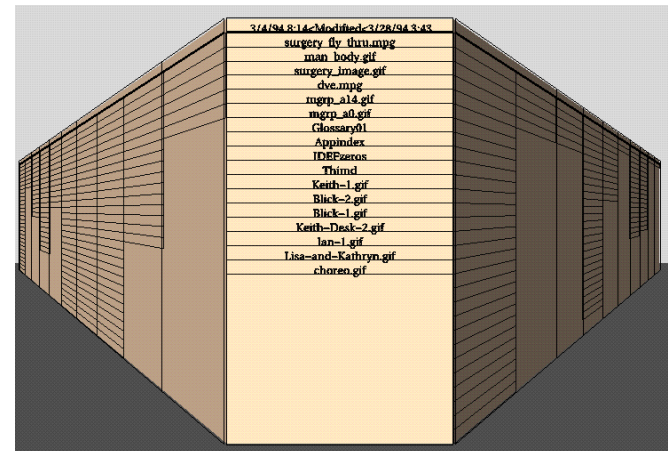


Fell into a sadness...
 I circumstances lead me, I will try...
 do a farm and carters. **Clawdibus**: We will try to...
 sit; so be honest, as this world goes, it to be one man six...
 kid it was a fishmonger: 'a is far gone; and truly in my youth I suffered much extremity for love; - that's very true, my lord. **Polonius**: You know, some...
 plum-tree gum and that they have a plentiful lack of wit, together with most weak hams; all which, sir, though I most powerfully and potently believe, yet I hold it no...
 his replies are! a happiness that often madness hits on, which reason and sanity could not so prosperously be delivered of. I will leave him, and suddenly contrive...
 You go to seek the lord Hamlet, there he is. **Rosencrantz**: God save you, sir! **Guilkenstern**: My honoured lord! **Rosencrantz**: My most dear lord! **Hamlet**: My exte...
 rther, my lord. **Hamlet**: Then you live about her waist, or in the middle of her favours? **Guilkenstern**: Faith, her privates us. **Hamlet**: In the secret parts of fortun...
Hamlet: O God, I could be bounded in a nutshell and count myself a king of infinite space, were it not that I have bad dreams. **Guilkenstern**: Which dreams, ind...
 I thank you and sure, dear friends, my thanks are too dear a halfpenny. **Rosencrantz**, **Guilkenstern**: We'll wait upon you. **Hamlet**: No such a...
 rant: To what end, my lord? **Hamlet**: That you must teach me. But let me conjure you, by the rights of our fellowship, by the conspiracy of 5,000 results...
Hamlet: I will tell you why; so shall my antic... **154,000 results**... prevent your discovery, and your secrecy to the king and queen m... no feather. I have of late - but where...
Rosencrantz: My lord, there was no such stuff in my thoughts. **Hamlet**: Why did ye laugh then, when I said man delights not me? **Rosencrantz**: To think, my lord...
 nt, the lover shall not sigh gratis; the humorous man shall end his part in peace; the clown shall make those laugh whose lungs are tickle a' the sere; and the la...
 ink their inhibition comes by the means of the late innovation. **Hamlet**: Do they hold the same estimation they did when I was in the city? are they so followed? R...
 'so berattle the common stages - so they call them that many wearing rapiers are afraid of goose-quills and dare scarce come thither. **Hamlet**: What are they el...
 own succession? **Rosencrantz**: 'Faith, there has been much to do on both sides; and the nation holds it no sin to take them so contrivously; there was, for a while...
 my strange; for my uncle is king of Denmark, and those that would make mouths at him while my father lived, give twenty, forty, fifty, an hundred ducats a-piece fi...
 n this garb, lest my extent is king of Denmark, and those that would make mouths at him while my father lived, give twenty, forty, fifty, an hundred ducats a-piece fi...
 Buzz, buzz! **Polonius**: Upon my honour, **Hamlet**: I tell you, must show faults outward, should more appear like entertainment than yours. You are welcome; but my...
 ire hadst thou! **Polonius**: What a treat! **Hamlet**: There come each actor on his part. **Polonius**: The best actors in the world, either for tragedy, comedy, history, pas...
 ss." the first row of the pious ch... **10,000 results**... welcome, masters; welcome all, I am glad to see thee w...
 'unCurren... we see: we'll have a speech str...

flowingdata.com

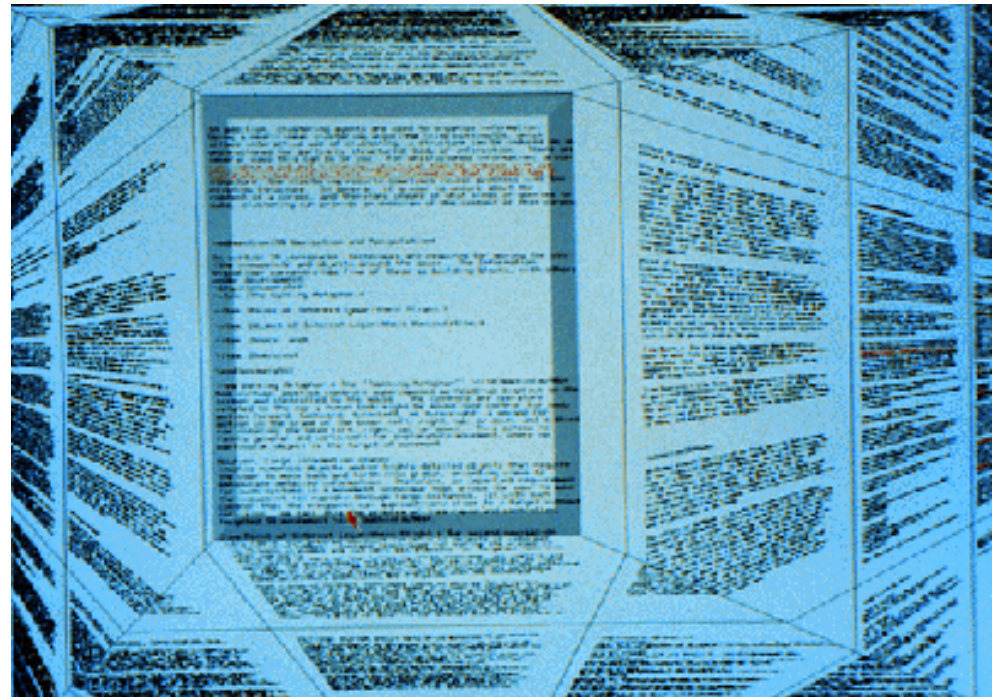
Prostor objektu (3D surfaces)

- Jedna z metod pro navigaci ve vizualizaci velkého počtu dokumentů a dat jsou tzv. **perspektivní stěny** (perspective walls)
- Zobrazují jeden panel umístěný ortogonálně ke směru pohledu a ostatní panely mizí se vzdáleností od předního panelu – pomocí perspektivní deformace



Perspektivní stěna

- Zjednodušená verze – přední stěna podléhá horizontálnímu škálování části mapovaného 2D obrázku, sousední segmenty jsou podrobeny horizontálnímu a vertikálnímu škálování úměrnému vzdálenosti ke hraně přední stěny
+ na segmenty je aplikováno zkosení



Perspektivní stěna

- Pokud je levá, střední a pravá sekce původního obrázku ohraničena pomocí $(x_0, x_{\text{left}}, x_{\text{right}}, x_1)$ a levý, střední a pravý panel výsledného obrázku jsou určeny pomocí $(X_0, X_{\text{left}}, X_{\text{right}}, X_1)$, pak transformace je definována:

– pro $x < x_{\text{left}}$:

$$x' = X_0 + (x - x_0) * \frac{(X_{\text{left}} - X_0)}{(x_{\text{left}} - x_0)}$$

$$y' = (X_{\text{left}} - x') + y \left(1 - \frac{(X_{\text{left}} - x')}{(X_{\text{left}} - X_0)} \right)$$

Perspektivní stěna

$$\text{– pro } x_{\text{left}} \leq x < x_{\text{right}}: \quad x' = X_{\text{left}} + (x - x_{\text{left}}) * \frac{(X_{\text{right}} - X_{\text{left}})}{(x_{\text{right}} - x_{\text{left}})}$$

$$y' = y$$

$$\text{– pro } x \geq x_{\text{right}}: \quad x' = X_{\text{right}} + (x - x_{\text{right}}) * \frac{(X_1 - X_{\text{right}})}{(x_1 - x_{\text{right}})}$$

$$y' = (x' - X_{\text{right}}) + y \left(1 - \frac{(x' - X_{\text{right}})}{(X_1 - X_{\text{right}})} \right)$$

Perspektivní stěna

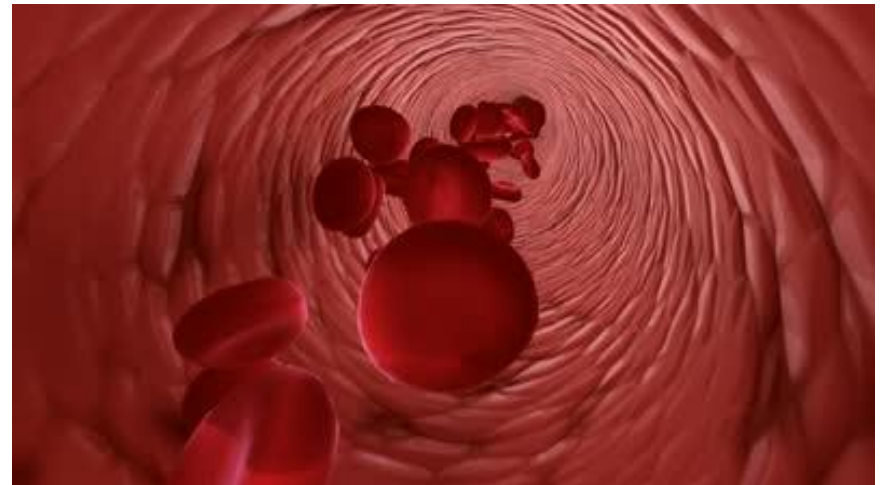
- Uživatel může interagovat sekvenčním procházením (pohyb dopředu i dozadu), dále je možné využívat indexy pro skoky do oblastí zájmu (často implementováno jako záložka vyčnívající nahoře na stránce na počátku každé sekce)
- http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=hYUZbrWtCZg

Další metody prozkoumávání/navigace

- Medicínská vizualizace – průlet skrz datovou sadu reprezentující lidské srdce, trávicí systém, cévy, ...
 - Nutné prvky pro ovládání směru, rychlosti průletu, field of view

<http://footage.shutterstock.com/clip-344095-stock-footage--d-blood-cells-in-vein.html>

- Průlet skrz cévy řízený uživatelem – obtížné se vyhnout kolizím



Automatická navigace

- Automatické nastavení cesty průletu, možné kombinovat i s fixní orientací pohledu
- Příklad cév: rozsekání na kusy, nalezení středového bodu každého kusu, spojení těchto bodů mezi snímky
 - Výsledkem může být kostrbatá průletová cesta, často je tedy nutné zavést **vyhlazování**

Vyhlazování

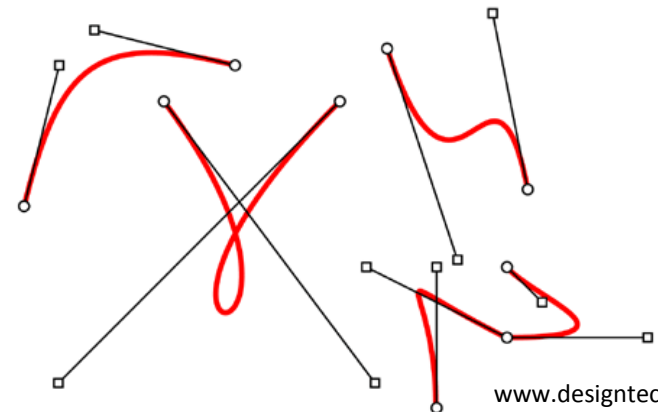
- Mnoho technik
- Nejjednodušší – **průměrování sousedů**
 - Každý bod na cestě je nahrazen průměrnou hodnotou získanou z určitého množství bodů před a za tímto bodem. Nejjednodušší příklady:

$$p'_i = (p_{i-1} + p_{i+1}) / 2$$

$$p'_i = (p_{i-1} + p_i + p_{i+1}) / 3$$

Vyhlazování

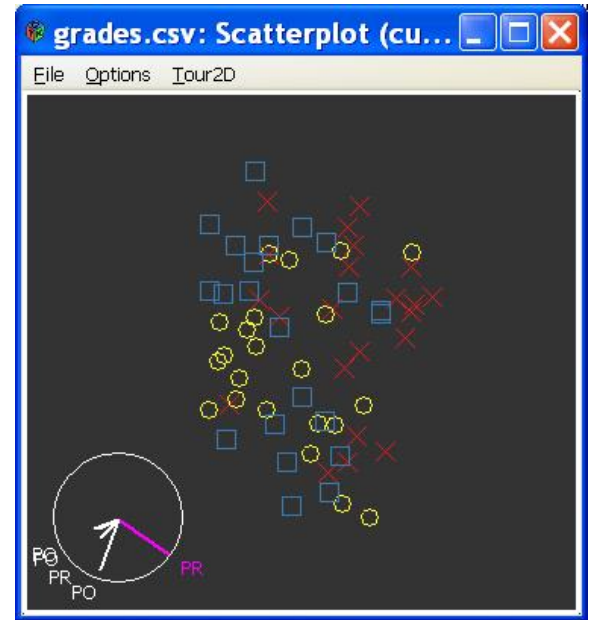
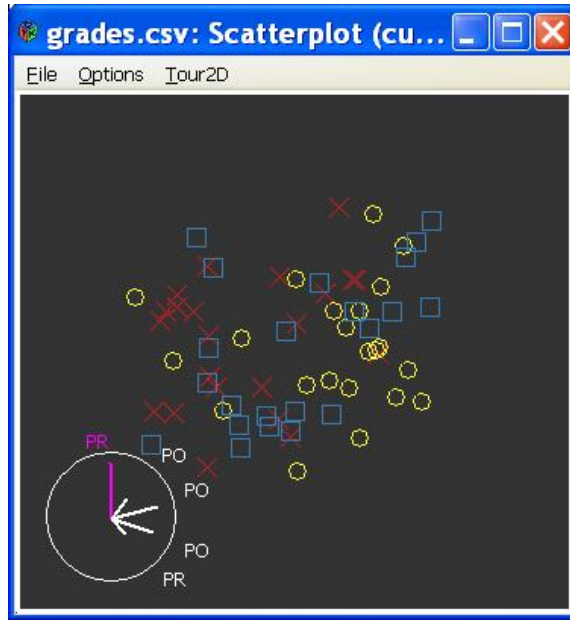
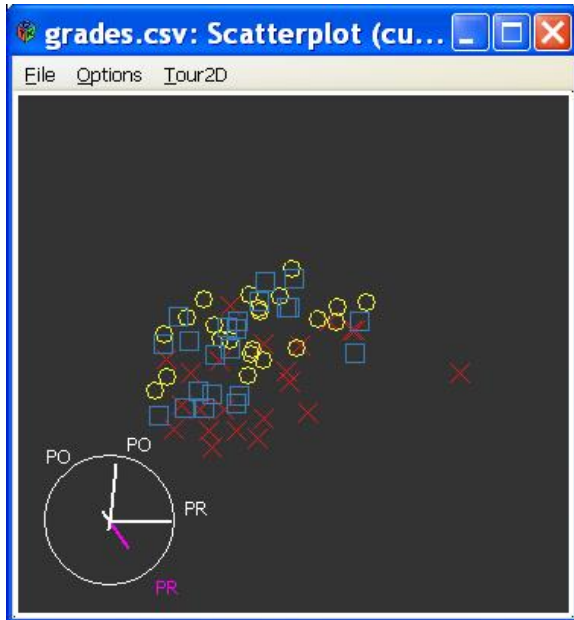
- Použití většího počtu sousedů či násobné průchody zvyšují vyhlazení cest – zároveň se zvyšuje riziko, že „vystoupíme“ z cévy. To se dá zmírnit přidáním různých omezení – např. zavedení odpuzivých sil u hranic cév.
- Další přístup je navázání bodů na parametrickou křivku (Bézier, B-spline) pro generování cesty o libovolném počtu kroků



Automatické techniky

- Metoda pro multivariate statistickou vizualizaci – **Asimov's grand tour**
(<http://www.slac.stanford.edu/cgi-wrap/getdoc/slac-pub-3211.pdf>)
 - Cesta je navržena tak, že každou možnou projekci dat je možné eventuálně navštívit. Sousední projekce se liší v pohledových parametrech pouze minimálně – přechod mezi nimi je tedy vnímán jako hladký.

Asimov's grand tour



Prostor dat (Multivariate Data Values)

- Transformace v prostoru dat jsou běžnými technikami v analýze a vizualizaci dat
- Typické funkce:
 - Škálování a translace
 - Exponenciální a logaritmické škálování
 - Sinusoidy pro studování cyklických závislostí
 - Transformace absolutní hodnoty
 - Negace hodnot

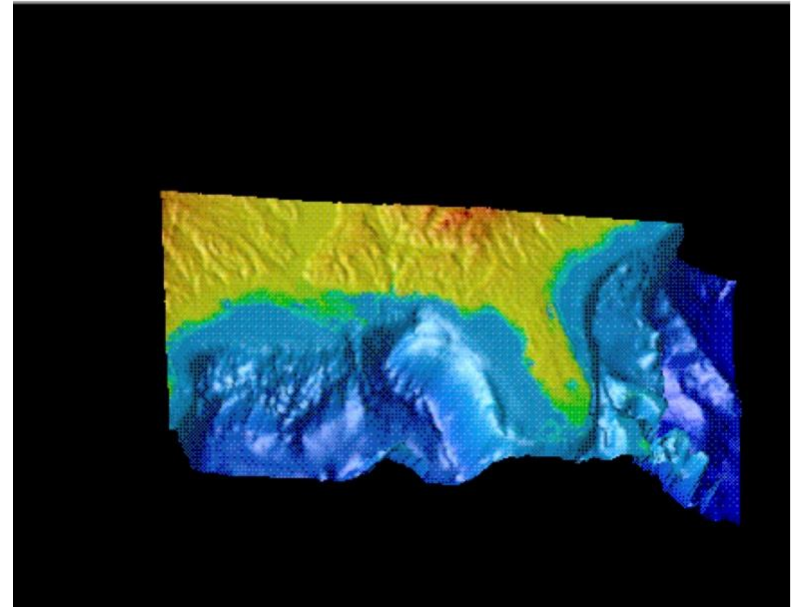
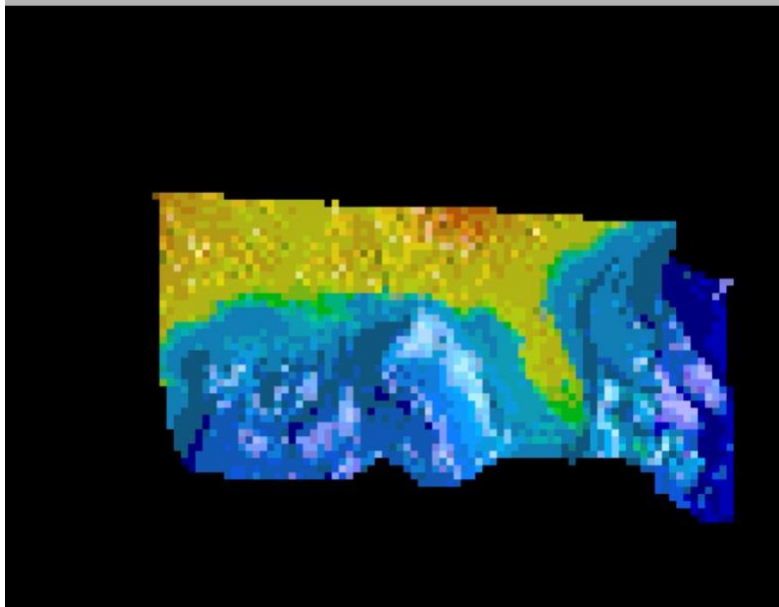
Prostor dat

- Uživatel musí být informován o tom, že data byla nějakým způsobem transformována
- Často nutná transformace rozsahu hodnot výsledných dat takovým způsobem, aby spadaly do rozsahu akceptovatelného grafickými entitami
- Špatné mapování = hodnoty jsou namapovány mimo obrazovku apod.

Prostor atributů

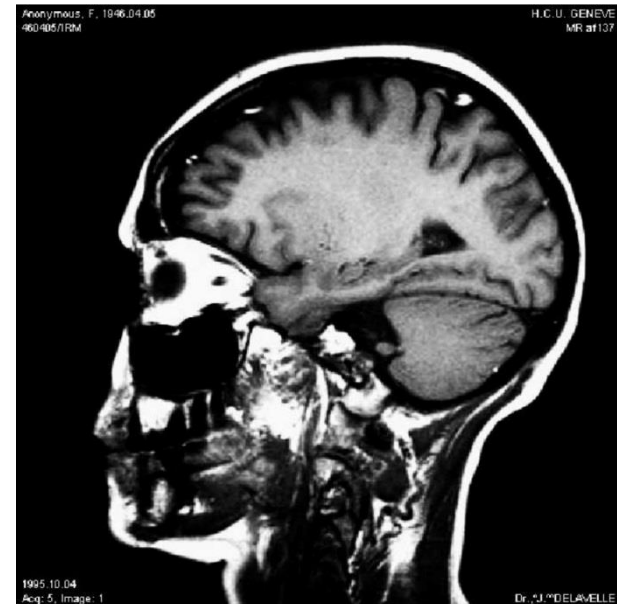
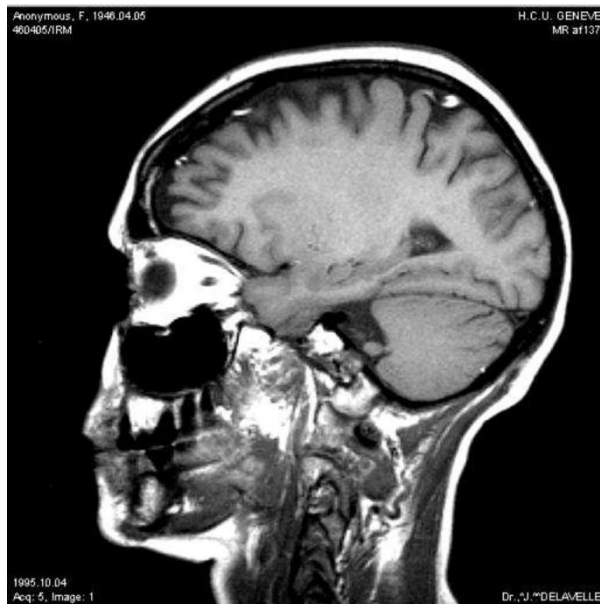
- Většina interakcí v prostoru atributů má své ekvivalenty v prostoru dat (např. globální a lokální škálování)
- V některých situacích dává větší smysl provádět interakci na grafické reprezentaci namísto dat samotných
- Interakce v prostoru atributů mohou mít ekvivalent i v prostoru obrazovky (např. škálování). Použitím prostoru atributů se však dokážeme vyhnout „hranatým“ artefaktům, které jsou typické pro zoomování na pixelech.

Problém při zoomování na pixelech



Prostor atributů

- Nejpoužívanější interakce – atributy barvy a průhlednosti
- Příkladem je změna kontrastu a jasu za účelem zvýraznění určitých vlastností:

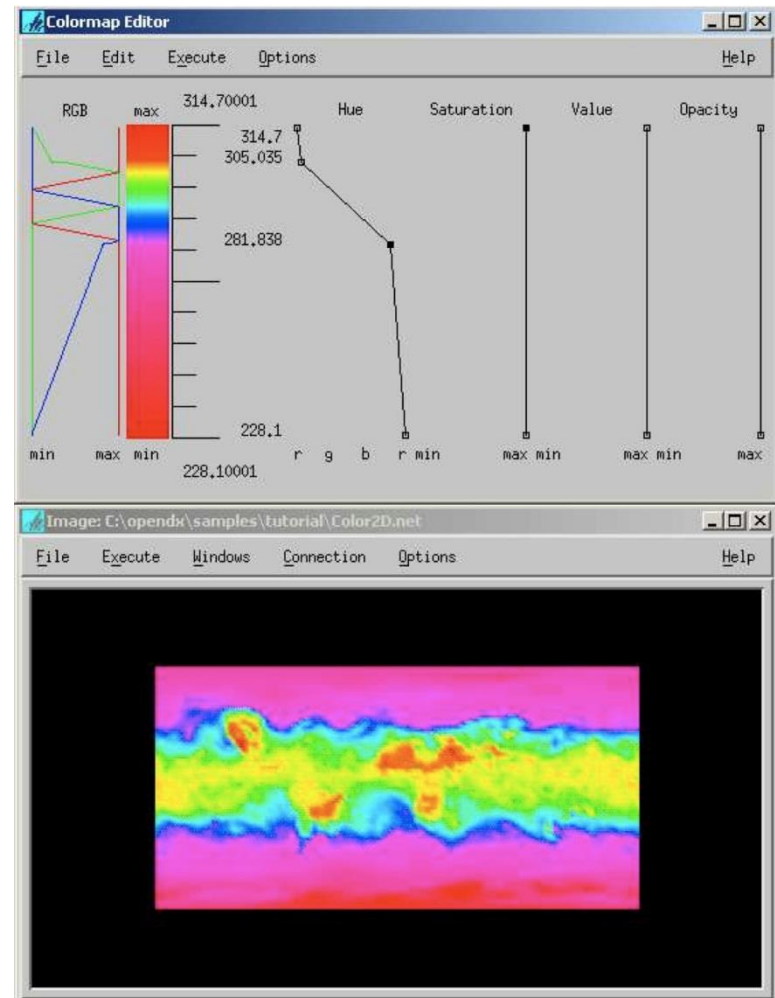


Prostor atributů

- Interaktivní nástroje pro specifikování a modifikaci přenosové funkce se nejčastěji používají při renderování objemu a to pro kontrolu barvy a průhlednosti (https://www.youtube.com/watch?v=UHOUFJmj_fM (23:01))
- Nejjednodušší forma – hodnoty dat na horizontální ose + průhlednost nebo barevná komponenta

Prostor atributů

- Uživatel může vkládat a modifikovat kontrolní body, výsledná funkce má tvar po částech lineárního grafu procházejícího skrz sousední kontrolní body



Prostor atributů

- Odvozování barvy či průhlednosti striktně pouze z datových hodnot může vést k vizuálním artefaktům způsobeným šumem nebo variabilitou uvnitř dat
- Možným řešením je využití i jiných charakteristik dat, než jen jejich hodnot (první, druhá derivace, ...)

Prostor datových struktur (Components of Data Organization)

- Při implementaci interaktivních logických operací v prostoru datových struktur je nutné určit stupeň automatizace a zda budou interakce specifikovány přímo ve vizualizačním okně nebo v samostatném dialogovém okně
- Automatizované techniky:
 - důkladné, časově náročné techniky vs. rychlé, ale nepřesné techniky

Prostor datových struktur

- Vezměme v úvahu uspořádání dimenzí pro vizualizaci multivariate dat
- Existují plně manuální přístupy nebo naopak automatizované techniky pro přeskládání dimenzí
- **Manuální přístup** – manipulace s textovými vstupy v seznamu (posun nahoru a dolů, drag-and-drop), pro paralelní souřadnice a matice bodových grafů manipulace s osami

Prostor datových struktur

- **Automatický přístup** – musíme znát alespoň dvě základní rozhodnutí ovlivňující návrh:
 1. Jakým způsobem měřit kvalitu uspořádání
 2. Jakou strategii zvolit pro hledání těchto kvalitních uspořádání
- Můžeme použít různé metriky. Jedna z běžně používaných je součet korelačních koeficientů mezi každou dvojicí dimenzí

Měření kvality uspořádání

- **Korelační koeficient** mezi dvěma dimenzemi je definován jako:

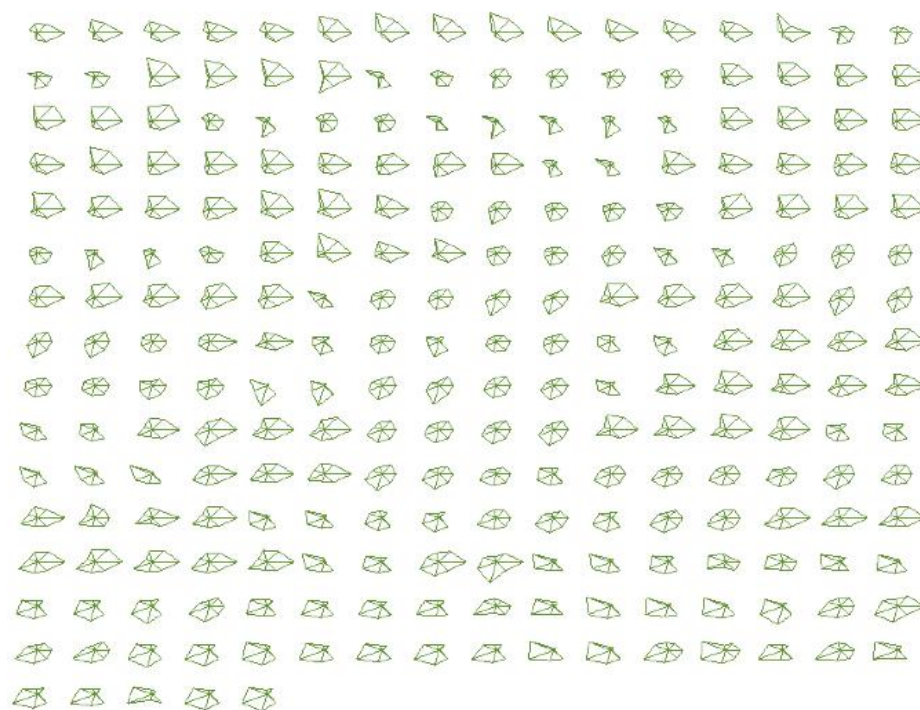
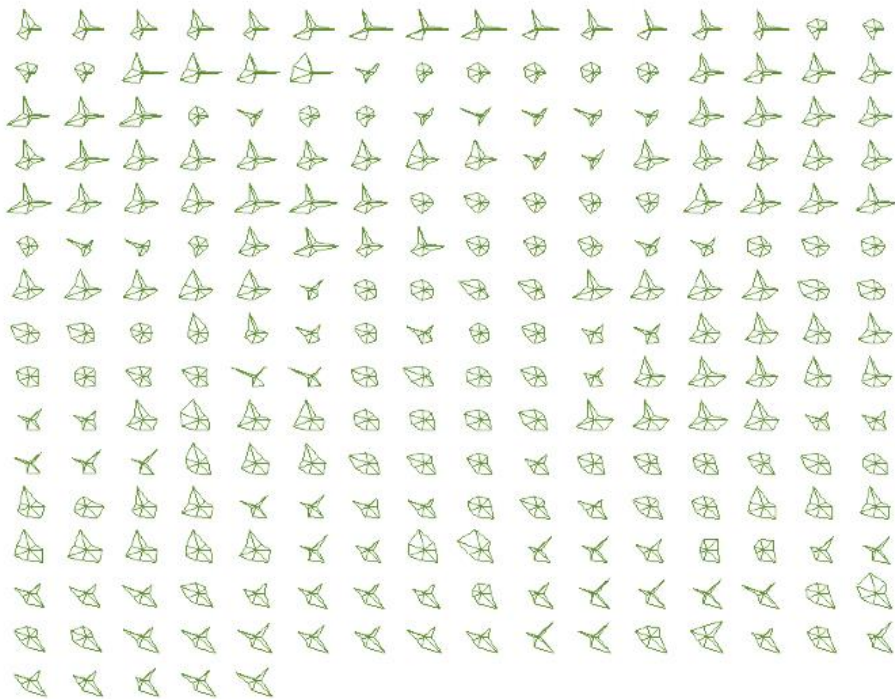
$$\rho_{X,Y} = \frac{\sum (x_i y_i - n \mu_X \mu_Y)}{(n-1) \sigma_X \sigma_Y}$$

kde n je počet datových bodů, X a Y jsou dvě dimenze, x_i a y_i jsou hodnoty pro i -tý datový bod, μ_X je střední hodnota v X a σ_X je standardní odchylka pro X

Měření kvality uspořádání

- Další přístup k měření kvality uspořádání – **jednoduchost interpretace**
 - Různá uspořádání dimenzí vedou k zobrazení s většími či menšími vizuálními shluky
 - Je snazší analyzovat jednoduché tvary glyfů než komplexní tvary
 - Jsme-li schopni změřit průměrnou nebo kumulativní složitost tvaru použitých glyfů (např. počítáním prohlubní či vrcholů), můžeme porovnávat vizuální složitost různých uspořádání

Měření kvality uspořádání



Původní uspořádání vs. výsledky po přeskládání dimenzí – cílem je redukce konkávních oblastí a zvýšení procentuálního podílu symetrických tvarů

Nalezení vyhledávací strategie

- Dalším úkolem je nalezení efektivní vyhledávací strategie pro nalezení kvalitních uspořádání
- Vyhodnocení všech možných uspořádání dimenzí – $N!$ možností
- Využití technik optimalizace
- Velmi podobné problému obchodního cestujícího – použijeme algoritmy pro tento problém

Nalezení vyhledávací strategie

- Jednoduchý algoritmus:
 1. Vybereme dvě libovolné různé dimenze
 2. Prohodíme jejich pozice a spočteme kvalitu uspořádání
 3. Pokud je kvalita nižší než kvalita původního uspořádání, zrušíme prohození
 4. Opakujeme kroky 1-3 fixně definovaným počtem iterací nebo dokud určitý počet provedených testů nevykazuje žádné zlepšení kvality

Nalezení vyhledávací strategie

- Heuristické přístupy nejsou optimální, ale ve většině případů vedou k nalezení přijatelného řešení
- Možnost kombinace s manuálním přístupem – uživatel na základě svých znalostí o vstupních datech ručně zadá některá uspořádání a zbytek dopočítá systém automaticky

Prostor vizualizace struktur

- Některé dříve popsané techniky je možné aplikovat i na prostor vizualizace struktur
- Stejný typ distorze pro nastavení rozestupů mezi osami paralelních souřadnic, nastavení velikosti buněk gridu u matice bodových grafů
- Uživatel by měl být obeznámen se všemi operacemi, které může provádět, měl by mít k dispozici konzistentní sadu ikon, které je schopen rychle pochopit a používat
- Další klíčovou funkcí je využití hladkých přechodů mezi vizualizacemi

Animační transformace

- Veškeré interakce vedou ke změně zobrazovaného obrázku
- Změny mohou být dramatické (otevření nové datové sady) nebo mírnější (změna jen některých aspektů pohledu)
- Je žádoucí poskytnout hladký přechod mezi výchozí a cílovou pozicí (např. při rotaci 3D objektu). Často stačí lineární interpolace.
- Přitažlivější výsledek získáme při použití postupného zrychlení a zpomalení změny

Animační transformace

- Prvním krokem je získání uniformní parametrizace proměnné nebo proměnných, které chceme během animace řídit
- Pro pozice podél rovné čáry nebo škálování stačí použít **lineární interpolaci**
- Pro spočtení rovnoměrného rozložení pozic podél zakřivené cesty musíme zavést nový parametr

Animační transformace

- Předpokládejme, že původní parametr je funkce proměnné t (hodnoty mezi 0 a 1)
- Pro spočtení pozic můžeme použít kubický polynom (podobně pro y):

$$x(t) = At^3 + Bt^2 + Ct + D$$

- Pro $0 \leq i \leq n$ (n je počet kroků mezi počáteční a koncovou pozicí) můžeme vytvořit seznam pozic p_i

Animační transformace

- Délku oblouku A pak můžeme odhadnout součtem vzdáleností mezi po sobě jdoucími body:

$$A = \sum_{i=1}^{i=n} \text{dist}(p_{i-1}, p_i)$$

- Pro většinu křivek je však vzdálenost mezi sousedními body různá. Kdybychom použili popsáný přístup vždy, rychlost pohybu po křivce by byla nerovnoměrná

Animační transformace

- Je užitečné pro každý bod p_i spočítat vzdálenost d_i od počátku křivky k tomuto bodu
- Spočteme funkci $A(i)$, která reprezentuje procentuální poměr vzdálenosti, kterou bod urazí v i -tém časovém kroku

$$A(i) = d_i / A$$

- Pro zjednodušení použijeme místo proměnné i proměnnou t ($0.0 \leq t \leq 1.0$). Dále definujeme parametr $s = A(t)$.

Animační transformace

- Výsledky uložíme do tabulky, takže pro každou hodnotu t známe její odpovídající hodnotu $s = A(t)$
- Využijeme hodnotu s pro určení uniformní rychlosti – využití lineární interpolace.

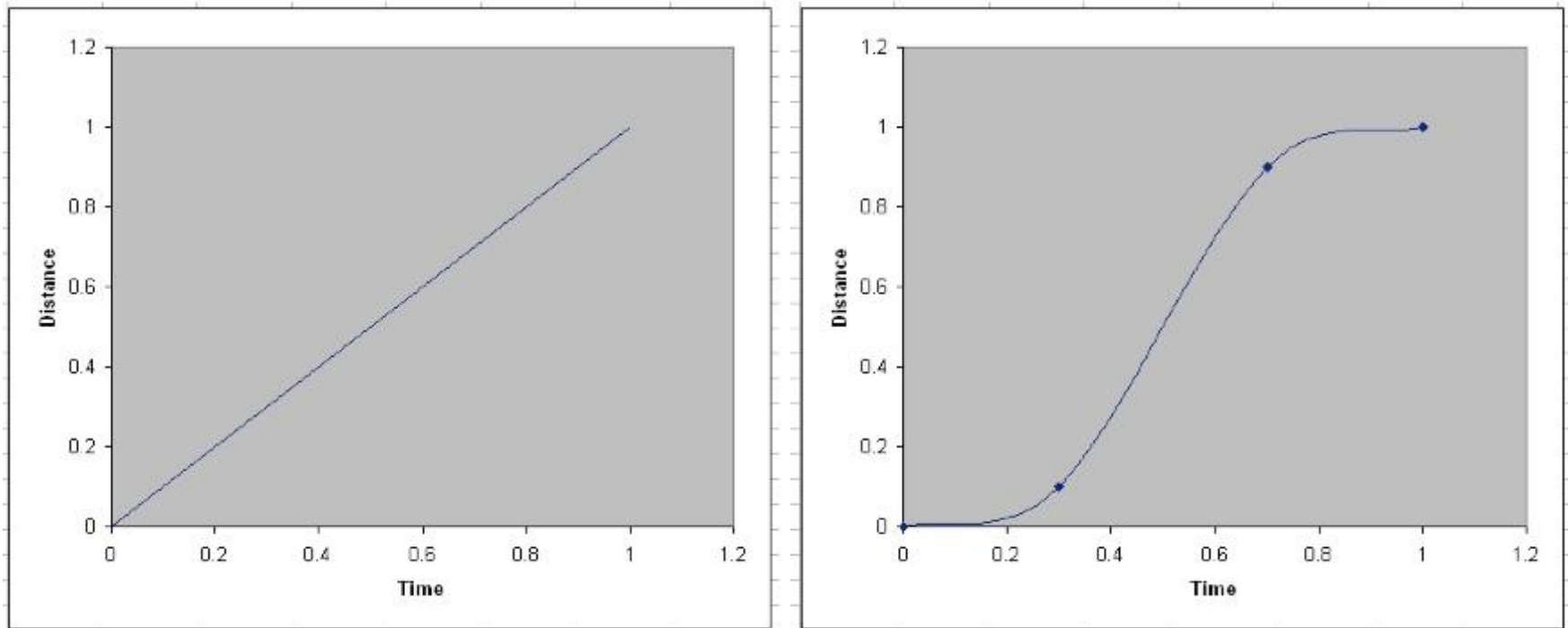
Animační transformace

- Popsaný postup se označuje jako **reparametrizace**
- Parametr s slouží k ovládní rychlosti – vykreslíme jej v závislosti na čase – dostaneme rovnou křivku. Rychlost odpovídá sklonu této křivky.
- Křivka však obecně nemusí být rovná – části s malým sklonem představují nízkou rychlost, velký sklon = velká rychlost
- Počáteční a koncový bod jsou fixní

Animační transformace

- Nekonečně mnoho možností nastavení animace mezi počátečním a koncovým bodem (dokonce můžeme animaci na chvíli zastavit)
- Předpokládáme, že křivka se monotónně zvyšuje a rovněž, že se nemůže vracet
- Běžným typem křivky je sinová křivka – odpovídá postupnému navyšování rychlosti na začátku animace z nuly na požadovanou rychlost, na konci postupné snižování rychlosti

Animační transformace



- Konstatní rychlost vs. sinová křivka pro postupné zvyšování a snižování rychlosti

Postupné zvyšování a snižování rychlosti

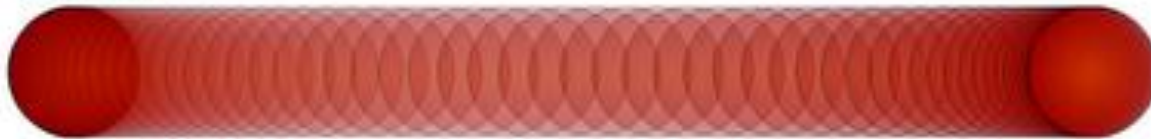
Easing In



Easing Out



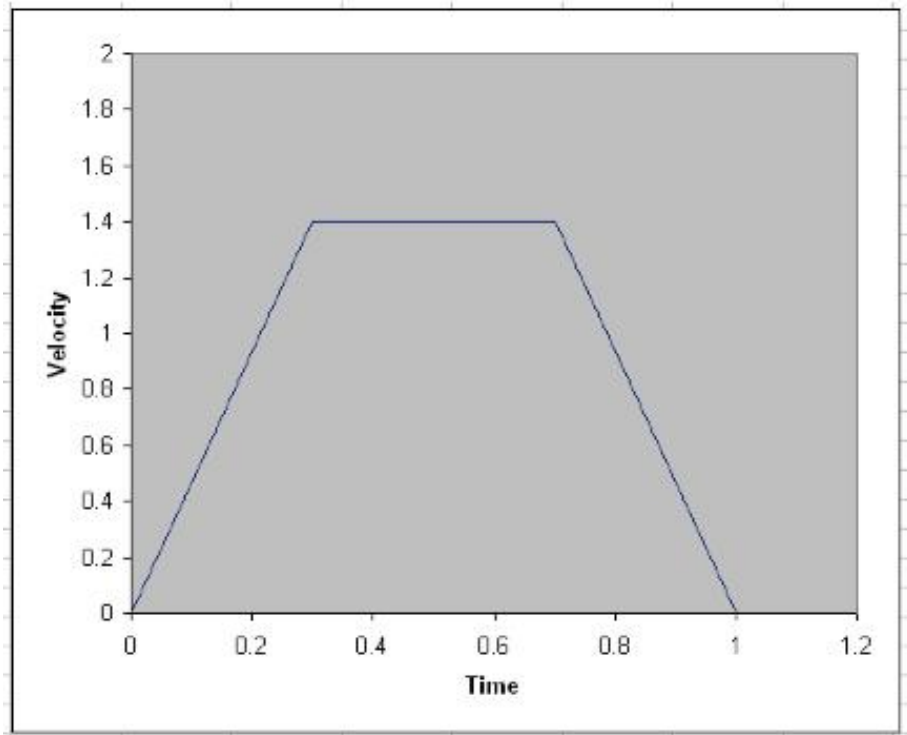
Ease In Out



- <http://www.youtube.com/watch?v=yQ-NC0bHTYs>

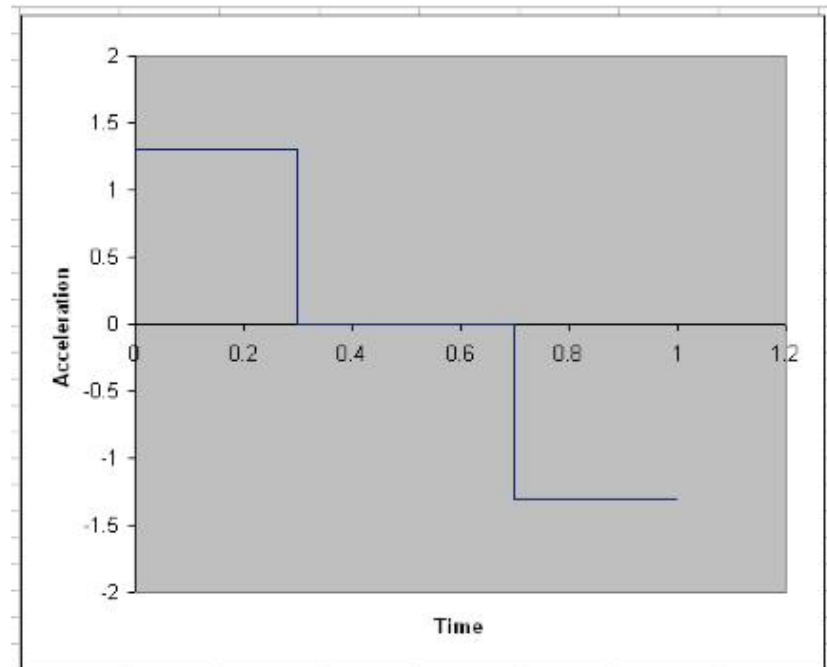
Animační transformace

- Specifikace pohybu pomocí **křivky rychlosti**
- Rychlost je první derivací křivky pro pozice
- Křivka pro postupné navyšování a pak snižování rychlosti:



Animační transformace

- Třetím typem křivky je **akcelerační křivka** – odpovídá druhé derivaci poziční křivky či první derivaci křivky rychlosti
- Křivka se skládá ze tři horizontálních úsečkových segmentů:



Pseudokód animace

- Pseudokód renderuje bodový graf kružnic, které jsou animovány v čase mezi dvěma množinami dimenzí x , y a r (poloměr) za použití lineární interpolace
- Argument *numFrames* specifikuje počet snímků animace a parametr *delay* určuje zpoždění mezi snímky v milisekundách

Scatterplot-Animate(*xDim1*, *yDim1*, *rDim1*, *xDim2*, *yDim2*, *rDim2*, *cDim*, *rMin*, *rMax*, *numFrames*, *delay*)

```
1      for each frame f from 0 to numFrames
2          do for each record i                                //for each record,
3              do  $x1 \leftarrow \text{Normalize}(i, xDim1)$  // derive first state,
4                   $y1 \leftarrow \text{Normalize}(i, yDim1)$ 
5                   $r1 \leftarrow \text{Normalize}(i, rDim1, rMin, rMax)$ 
6                   $x2 \leftarrow \text{Normalize}(i, xDim2)$  // derive second state,
7                   $y2 \leftarrow \text{Normalize}(i, yDim2)$ 
8                   $r2 \leftarrow \text{Normalize}(i, rDim2, rMin, rMax)$ 
9                   $p \leftarrow f/numFrames$  // compute percent complete,
10                  $x \leftarrow x1 + (x2 - x1) * p$  // and current state.
11                  $y \leftarrow y1 + (y2 - y1) * p$ 
12                  $r \leftarrow r1 + (r2 - r1) * p$ 
13                 MapColor(i, cDim) // derive color, then
14                 Circle(x, y, r) // draw the record as a circle.
15          Sleep(delay) // Pause between frames.
```

Řízení interakce

- V každé fázi interakční pipeline je nutné řízení typu, umístění a stupně interakce při navigaci v prostoru dat i v samotné vizualizaci
- Řízení musí být intuitivní, jednoznačné a v dostatečné úrovni detailu
- Zaměříme se na typické řídicí prvky a jejich vhodné implementace

Výběr středu zájmu (Focus selection)

- Výběr je často uskutečňován pomocí nástrojů přímé manipulace (myš či jiné zařízení)
- Prostor obrazovky a objektu – klasické operace výběru
- Prostor dat – určení n-dimenzionálního umístění (násobné selekce)
- Prostor atributů a struktur – nutné mít grafické znázornění struktury nebo rozsahu atributů
- Střed zájmu může být definován implicitně – ve středu rozsahu interakce

Výběr rozsahu (Extent selection)

- Závisí na typu interakce a prostoru, ve kterém je interakce aplikována
- Určen přímou manipulací nebo různými nástroji rozhraní
- Definován jednou hodnotou (poloměr, maximální počet položek) nebo vektorem hodnot (rozsah pro každou dimenzi, sada omezení)
- Často nastaven pevně

Výběr typu interakce

- Vzhledem k velkému počtu možných interakcí a různorodosti prostorů, ve kterých se používají, mělo by rozumné rozhraní obsahovat dvojici menu: jedno pro výběr prostoru a druhé pro specifikaci třídy interakce

Výběr stupně interakce

- Stupeň interakce je důležitým kontrolním parametrem, který může být specifikován pomocí jedné hodnoty (např. velikost škálování v oblasti středu zájmu). Je vhodné zpřístupnit slider pro ovlivňování tohoto parametru a tlačítko pro defaultní nastavení na minimální úroveň interakce.

Výběr typu míchání

- Pokud je potřeba využít současně více různých interakčních technik, musíme nastavit strategii pro smíchání interakcí v regionech, které jsou ovlivněny více interakcemi. Toho se nejlépe dosáhne pomocí menu s různými možnostmi. Dostupné možnosti jsou závislé na prostoru, ve kterém se interakce projevuje a rovněž na typu použité interakce.

Algoritmy výběru

Scatterplot-Select(*xDim*, *yDim*, *xMin*, *xMax*, *yMin*, *yMax*)

```
1    $s \leftarrow \emptyset$  // Initialize the set of records
2   for each record  $i$  // For each record,
3       do  $x \leftarrow \text{Normalize}(i, xDim)$  // derive the
                                                location,
4            $y \leftarrow \text{Normalize}(i, yDim)$ 
5           if  $xMin < x < xMax$  and  $yMin < y < yMax$ 
6               do  $s \leftarrow s \cup i$  // select points within the
                                                rectangle.
7   return  $s$ 
```

Bod v polygonu

- Následující pseudokód určuje, zda je daný bod uvnitř daného polygonu. Tento úkol se používá například pro určení, který polygon v choropletové mapě nebo glyf v bodovém grafu odpovídá dané pozici myši. Pseudokód využívá algoritmus, který spočítá počet průsečíků paprsku vycházejícího z daného bodu s hranami polygonu. Pokud počet průsečíků paprsku s polygonem je lichý, pak je bod uvnitř polygonu.

Bod v polygonu

Point-In-Polygon(*xs*, *ys*, *numPoints*, *x*, *y*)

1 *j* ← *numPoints* - 1

2 *oddNodes* ← false

3 **for** *i* ← 0 to *numPoints* - 1

4 **do if** *ys*[*i*] < *y* and *ys*[*j*] ≥ *y* or *ys*[*j*] < *y* and *ys*[*i*] ≥ *y*

5 **do if** $xs[i] + (y - ys[i]) / (ys[j] - ys[i]) * (xs[j] - xs[i])$
 < *x*

6 **do** *oddNodes* ← not *oddNodes*

7 *j* ← *i*

8 return *oddNodes*

Virtuální realita

- Pochopení práce v 3D je obtížnější, problém při vnímání hloubky
- Při navigaci pracujeme se šesti stupni volnosti
- Je nutné zobrazovat nejen pohled na virtuální svět, ale i pozici pozorovatele v něm a směr pohledu
- Výběr ve virtuálním světě vs. využití menu

Virtuální realita

- Jediné přínosy:
 - Navigace – možnost ovládní pohybu v prostoru pohybem hlavy
 - Interakce – datové rukavice, optické snímání, ...
 - Stereoskopická projekce a vnímání hloubky – polarizované brýle, aktivní brýle, ...
 - Immersion (zanoření) – uživatel je obklopen virtuálním světem (brýle, speciální místnost)

CAVE

- <http://www.youtube.com/watch?v=j59JxfbvxGg>

