

# PV251 Vizualizace

Jaro 2016

Výukový materiál

---

## 8. přednáška: Koncepty interakce

Interakcí v kontextu vizualizace informací je mechanismus, pomocí kterého dokážeme ovlivnit, co a jak uživatel vidí.

### Třídy interakčních technik

Existuje několik tříd interakčních technik:

- **Navigace** – uživatel mění pozici kamery a škálování pohledu (co je mapováno na obrazovku). Příkladem je rotace či zoomování.
- **Výběr** – ovládací prvky pro identifikování určitého objektu, sady objektů či oblasti zájmu, na které pak aplikujeme určité operace, jako například zvýrazňování, mazání či modifikace.
- **Filtrování** – ovládací prvky pro redukci velikosti dat, která mapujeme na obrazovku – odstraňováním záznamů, dimenzí nebo obojího.
- **Rekonfigurace** – uživatel může měnit způsob mapování dat na grafické entity nebo atributy. Příkladem je reorganizace dat nebo jejich rozložení. Takto poskytujeme uživateli různé pohledy na zobrazovanou datovou množinu.
- **Kódování** – uživatel mění grafické atributy, jako například velikost bodů či barvu čáry. Cílem je odhalit různé vlastnosti dat.
- **Spojování** – uživatel může využít nástroje pro spojování různých pohledů nebo objektů za účelem zobrazení vzájemně souvisejících položek.
- **Abstrahování/konkretizace** – ovládací prvky pro modifikaci level-of-detail.
- **Hybridní techniky** – ovládací prvky kombinující některé z výše uvedených technik. Například zvětšování prostoru obrazovky, který je využíván pro zobrazení detailu určitých dat, a zároveň zmenšování prostoru věnovaného „nezajímavým“ datům, která jsou zobrazena proto, aby byl zachován kontext.

Do dnešního dne byla vyvinuta řada technik a nástrojů pro interakci s daty a obecně vizualizací dané informace. I když se některé z nich jeví jako zcela nesouvisející s ostatními, sdílejí základní principy a mají společný cíl. V této přednášce se pokusíme nastínit základ frameworku pro interakční techniky, který identifikuje jejich odlišnosti i společné principy. Začneme identifikací tříd interaktivních operací, které popíšeme jako **operátory** a dále definujeme tzv. **operand** (prostor, na který je operátor aplikován). Poté si nadefinujeme architekturu, která kombinuje různé prostory interakce do jedné pipeline. Součástí této architektury bude soubor rozhraní, která jsou nezbytná pro řízení procesu uživatelem.

Nyní si detailněji popíšeme řadu interakčních operací, které jsou běžně používány při vizualizaci dat a informace. Seznam nebude samozřejmě vyčerpávající, ale měl by pokrývat typické interakční techniky. Více detailní a komplexnější popis dalších technik můžete nalézt v Keimově klasifikaci (<http://nm.merz-akademie.de/~jasmin.sipahi/drittes/images/Keim2002.pdf>) či taxonomie Eda H. Chi (<http://www-users.cs.umn.edu/~echi/papers/infovis00/Chi-TaxonomyVisualization.pdf>).

Je nutné zmínit, že jednotlivé interakční operátory mohou být součástí několika navrhovaných tříd interakce a že téměř všechny operátory mohou být automatické v dané vizualizaci, a to i v její neinteraktivní části. Příkladem může být zoomování, které je dostupné téměř ve všech vizualizacích. Na zoomování se totiž můžeme dívat jako na generování nové vizualizace, zvláště pokud musíme zobrazovat různá data.

## Operátory navigace

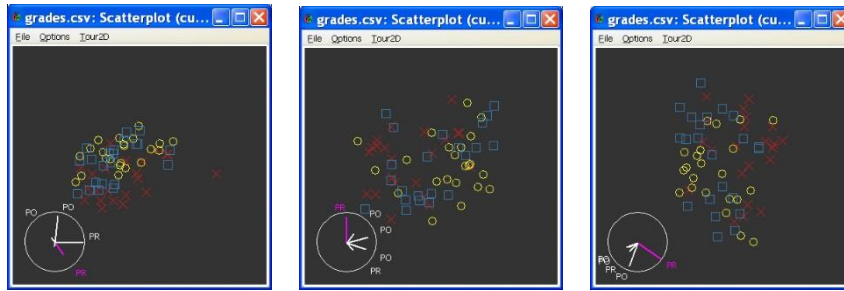
Navigace (někdy označována termínem exploration - prozkoumávání) je využívána pro vyhledání podmnožiny vstupních dat, která mají být prozkoumána, orientace pohledu na tato data a level-of-detail (LOD). Dotazovaná podmnožina může být určena pomocí určitého vizuálního vzoru nebo to může být část dat, která podléhá dalšímu detailnějšímu prozkoumání. V 3D prostoru je navigace typicky určena pozicí kamery, směrem pohledu, tvarem a velikostí objemu pohledu (viewing frustum) a stupněm LOD.

Ve vizualizacích podporujících několik rozlišení najednou odpovídá LOD sestupování nebo postupu nahoru v hierarchii dat.

Operátory navigace mohou pracovat s absolutními nebo relativními souřadnicemi v daném prostoru.

Navigace může být automatická nebo řízená uživatelem.

Příkladem automatického prozkoumání je průlet podél cesty nad multidimenzionálními daty, která pokrývá většinu nebo dokonce všechny možné orientace datového prostoru při jejich promítnutí do 2D prostoru (viz obrázek). Uživatel může ovlivňovat velikost kroku mezi jednotlivými pohledy.



## Operátory výběru

Při výběru uživatel izoluje podmnožinu komponent pro zobrazení, které dále podléhají dalším operacím, jako je zvýraznění, mazání, maskování či přesun do středu oblasti zájmu. Dosud byly vyvinuty různé varianty výběru a vhodnou variantu zvolíme většinou tak, že musíme rozhodnout, jaký výsledek očekáváme. Například, měla by nová selekce nahradit tu stávající nebo by ji měla spíše doplnit/obohatit?

**Granularita výběru** je rovněž jedním z hlavních témat. Kliknutím na danou entitu na obrazovce můžeme vybrat pouze danou nejmenší adresovatelnou komponentu (např. vrchol na hraně) nebo můžeme vybírat širší region kolem vybrané lokace (např. celý objekt, oblast na obrazovce, povrch, ...).

Výběr může být určen mnoha různými způsoby. Uživatel může klikat na jednotlivé entity, „kreslit“ přes výběr entit (např. držením tlačítka myši při pohybu nad objekty zájmu) či jiným způsobem izolovat entity (například výběrem do obdélníku, lasa, ...).

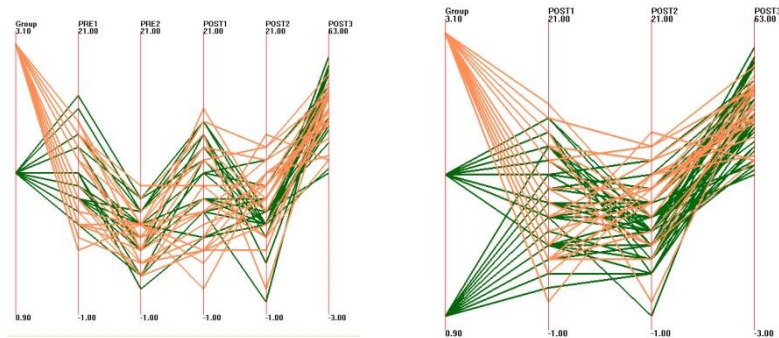
Výběry mohou být vytvářeny rovněž nepřímo, kdy systém vybere prvky, které vyhovují sadě omezení zadaných uživatelem. Příkladem je výběr uzlů v grafu, které mají určitou maximální vzdálenost od vybraného uzlu.

## Operátory filtrace

Filtrace, jak už název napovídá, redukuje počet dat, která mají být zobrazena, a to pomocí nastavení různých omezení, která specifikují, která data budou zachována a která odstraněna. Příkladem takového filtru je tzv. *dynamic query specification*, která byla popsána Shneidermanem a spol.

(<http://www.cs.umd.edu/~ben/papers/Shneiderman1994Dynamic.pdf>).

Pro určení rozsahu zájmu v datech jsou určeny slidery, při jejichž manipulaci je vizualizace okamžitě updatována, aby reflektovala změny vyvolané uživatelem. Tento způsob dotazování pomocí nastavení rozsahů je pouze jedním způsobem aplikace filtrování. Jiná metoda vybírá položky, které chce zachovat nebo naopak schovat. Příkladem je funkce schovávání sloupců v Excelu.



Obrázek ukazuje využití filtrace pro zjednodušení pohledu na data a jejich interpretace. Dochází k filtrování řádků a sloupců za použití nástroje XmdvTool.

Rozdíl mezi filtrováním a výběrem následovaným mazáním nebo maskováním je malý, nicméně zásadní. Filtrování je nejčastěji prováděno **nepřímo** – například specifikace filtru není prováděna na samotné vizualizaci dat, ale v odděleném dialogovém okně nebo rozhraní. Filtrování je často prováděno před samotným zobrazením dat, abychom se vyhnuli zobrazení přílišného množství dat na obrazovce.

Oproti tomu je výběr prováděn nejčastěji **přímo**, kdy označujeme zobrazené objekty například klikáním myši do scény. Další operace provedené nad vybranou množinou mohou vést k výsledku, který je stejný jako za použití filtrace.

### Operátory rekonfigurace

Rekonfigurace dat v dané vizualizaci je často využívána pro odhalení vlastností nebo pro vypořádání se se složitostí či měřítkem dat. Pomocí reorganizace dat, jako například odfiltrování určitých dimenzí a přeskládání těch zbývajících, můžeme uživateli poskytnout různé nové pohledy na data. Příkladem je nástroj založený na tabulkové vizualizaci, který třídí řádky a sloupce za účelem zvýraznění trendů a korelací mezi daty.

Dalším příkladem rekonfigurace může být změna dimenzí používaných pro řízení x-ové a y-ové souřadnice vykreslených značek.

Populárními metodami rekonfigurace dat jsou již dříve zmíněné PCA (principal component analysis) či MDS (multidimensional scaling), které se snaží zachovat vztahy mezi daty ve všech dimenzích při jejich projekci do nižší dimenze (často 2D).

### Operátory kódování

Jakákoliv datová množina může být využita pro generování bezpočtu různých vizualizací. Vlastnosti dat, které nejsou viditelné v jednom způsobu vizualizace, mohou být zřejmé při použití jiného typu vizualizace. Například pro určitou datovou sadu může využití bodového diagramu vést k překrytí bodů, zatímco například při použití paralelních souřadnic mohou mít body svou unikátní reprezentaci.

Mnoho dnešních vizualizací podporuje zároveň několik typů vizualizací, protože jediný typ vizualizace nemůže podchytit efektivní zobrazení všech úkolů, které chce uživatel nad daty provádět. Každá z vizualizací je nejvhodnější pro jistou podmnožinu datových typů, jejich vlastností a úkolů zadaných uživatelem.

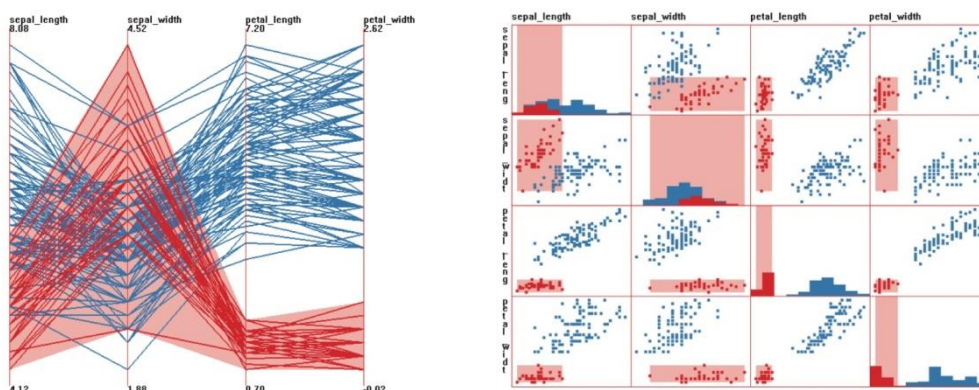
Kódování dat je prováděno různými typy mapování a pohledů na data, pomocí nichž uživatel může data řádně prozkoumat. Další formy kódovacích operací mohou například modifikovat použitou barevnou mapu, velikost grafických entit či jejich tvar. Toto může být považováno za různé variace daného typu vizualizace a pomáhá odhalit oblasti zájmu. Použitím různých variací dané techniky můžeme překonat i řadu omezení použité vizualizační techniky. Například problém překrývání bodů v bodových diagramech může být odstraněn roztřesením bodů nebo zvolením velikosti jednotlivých bodů takovým způsobem, že velikost daného bodu je odvozena od počtu bodů v té stejné pozici.

Další atributy grafických entit, které můžeme ovlivňovat, zahrnují průhlednost, texturování, styl čáry či výplně, ale také dynamické atributy, jako například úbytek intenzity či míra přeblikávání.

Je třeba zmínit, že tyto efekty mohou být často imitovány použitím transformací přímo na datech místo na jejich grafické reprezentaci.

## Operátory spojování

Běžné použití operací výběru je spojení vybraných dat v jednom pohledu s odpovídajícími daty v pohledech dalších. Existuje řada způsobů spojení mezi podokny daných aplikací, nicméně zřejmě nejpoužívanější formou komunikace mezi okny v moderních vizualizačních nástrojích je tzv. *linked selection*. Popularita této formy vychází zejména ze skutečnosti, že každý z pohledů na data může odhalit zajímavé vlastnosti a že zvýraznění jedné z těchto vlastností v jednom pohledu může při jejím současném zobrazení v dalších pohledech pomoci vystavět „bohatší“ mentální model této vlastnosti (viz obrázek). V paralelních souřadnicích vybereme zkoumaný klastr, který je v matici odpovídajících bodových diagramů zobrazen pomocí obdélníka.



Pokud je povoleno interaktivně měnit výběr dat, nazývá se tento operátor *brushing*, kdy uživatel může soustavně měnit výběr v jednom pohledu, a odpovídající spojená data v ostatních pohledech jsou zvýrazněna. Další silnou stránkou techniky linked brushing je specifikace komplexních omezení pro daný výběr. Každý typ pohledu je optimalizován pro zdůraznění jistého typu informace. Například můžeme specifikovat časové omezení při použití vizualizace obsahující časovou osu, omezení na jména polí při použití list view a geografická omezení pro mapy.

V určitých případech může uživatel chtít odpojit (*unlink*) některé vizualizace, kdy ponecháme daný pohled, ale chceme prozkoumat jinou oblast dat nebo jinou datovou množinu. Některé systémy povolují uživateli určit pro každé okno, zda se má informace přenášet do dalších oken nebo ze kterých oken toto okno přijímá vstup.

Některé typy interakce mohou být lokální vzhledem k danému oknu (např. zoom), zatímco jiné jsou sdílené mezi všemi okny (např. přeskládání dimenzí).

### Operátory abstrahování/konkretizace

Při zobrazování velkého množství dat je často vhodné se soustředit pouze na určitou podmnožinu dat, o které zobrazíme detaily (konkretizace), zatímco na ostatních částech dat redukuje stupeň detailu (LOD) (abstrahování). Jednou z nejpůvodnějších technik tohoto typu jsou **distorzní operátory** (*distortion operators*). Zatímco někteří vědci klasifikují tyto distorze jako vizualizační techniku, jedná se ve skutečnosti o transformaci, která může být aplikována na jakýkoliv typ vizualizace. Podobně jako zoomování či panning (panoramování) je distorze vhodná pro interaktivní prozkoumávání dat. V minulosti bylo navrženo mnoho distorzních operátorů (nazývaných též *funkce*). To zahrnuje metody, které deformují celý analyzovaný prostor nebo metody aplikující deformace pouze lokálně.

Distorze může být součástí původní vizualizace nebo může být zobrazena v samostatném okně. Distorze se liší v poměru vlastností, které u vstupních dat zachovávají. Například techniky pro distorzi textu se snaží o co největší čitelnost v dané oblasti zájmu a zbytek textu je uveden hlavně pro udržení struktury dokumentu, nemusí být však čitelný.

Distorzní operátory mohou být lineární nebo nelineární, se spojitostí nultého, prvního nebo druhého řádu (nespojité operátory je rovněž možné využít). Operátory mohou být aplikovány na struktury namísto spojitých prostorů, a proto mohou být specifické pro daný typ operandu (viz dále).

Různé operátory mají různé „otisky“ (footprints), jako například tvar nebo rozsah prostoru ovlivněný transformací. Běžné tvary otisků jsou obdélníkové či kruhové, jimž ve vyšších dimenzích odpovídají hyperboxy a hyperelipsy. Rozsah ovlivněného prostoru je obvykle specifikován vzdálenostní funkcí uvnitř deformovaného prostoru a je často

multidimenzionální. Tyto rozsahy mohou být fixní či proměnlivé, řízené uživatelem či sémantikou informace.

## Interakční operandy a prostory

Parametry interakčních operátorů, které jsme dosud popsali, budou diskutovány ještě dále. Ještě předtím si ukážeme kategorizaci interakčních operandů, což pomůže objasnit roli těchto parametrů, kterou mají při procesu interakce, a jejich sémantiku v rámci různých prostorů.

*Interakční operand je část prostoru, na kterou je aplikován interakční operátor.*

Abychom mohli určit výsledek interaktivní operace, musíme vědět, uvnitř jakého prostoru bude interakce prováděna. Jinými slovy: pokud uživatel klikne na dané místo nebo oblast na obrazovce, které entity si vlastně přeje označit? Mohou to být pixely, datové hodnoty či záznamy mapovány na dané místo nebo třeba část vizualizační struktury (například osa).

Bylo identifikováno několik odlišných tříd interakčních prostorů. Nyní si tyto prostory popíšeme včetně uvedení příkladů existujících interakčních technik, které do jednotlivých tříd spadají.

Rozlišujeme několik základních interakčních operandů.

- Prostor obrazovky (Pixely)
- Prostor datových hodnot (Multivariate datové hodnoty)
- Prostor datových struktur (Components of Data Organization)
- Prostor atributů (Components of Graphical Entities)
- Prostor objektů (3D Surfaces)

### Prostor obrazovky (Pixely)

Navigace v prostoru obrazovky se typicky skládá z akcí, jako je například panorámování, zoomování či rotace. V žádném z těchto případů nevyužíváme žádná nová dodatečná data – proces se skládá z operací na úrovni pixelů, jako jsou transformace, vzorkování a replikace.

Selekce na úrovni pixelů znamená, že na konci dané operace je každý pixel klasifikován jako vybraný nebo nevybraný. Jak již bylo zmíněno dříve, výběr může být proveden nad jednotlivými pixely, obdélníkovými či kruhovými oblastmi pixelů nebo nad oblastmi libovolného tvaru, které uživatel definuje. Oblasti výběru mohou být rovněž spojitě nebo nespojitě.

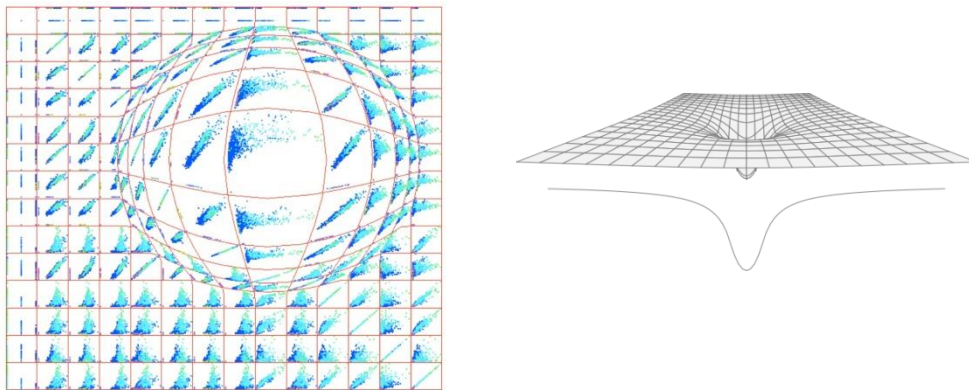


Distorze v prostoru obrazovky zahrnuje transformaci na pixelech, například  $(x', y') = f(x, y)$ .

Zvětšení (magnifikace)  $m(x, y)$  v daném bodě je jednoduše derivací této transformace a je užitečná pro přepínání mezi transformacemi a jejich zvětšeninami při procesu distorze.

Příkladem technik v prostoru obrazovky jsou rybí oko, rubber sheet (reliéf).

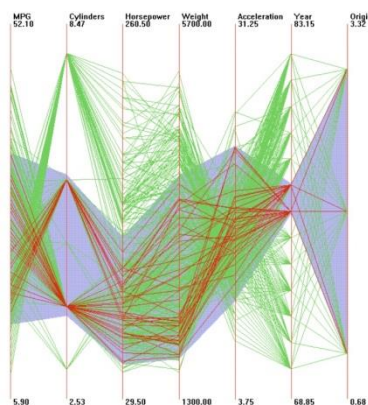
Příklad tohoto typu distorze je uveden na obrázku. Vlevo je zobrazena matice grafů, vpravo pak rubber sheet.



### Prostor datových hodnot (Multivariate datové hodnoty)

Navigace v prostoru datových hodnot zahrnuje využití těchto datových hodnot jako mechanismu specifikace pohledu. Analogické operace panorámování (panning) a zoomování slouží ke změně zobrazovaných datových hodnot – panorámování posouvá startovní pozici rozsahu hodnot pro zobrazení, zatímco zoomování zvyšuje/snižuje velikost tohoto rozsahu.

Výběr v prostoru datových hodnot je podobný databázovým dotazům, kdy uživatel specifikuje rozsah datových hodnot pro jednu nebo více dimenzí. Toho lze dosáhnout přímou manipulací s daty, jako například brushing (interaktivní výběr) řízený daty (viz obrázek) nebo pomocí sliderů nebo jiných mechanismů pro specifikaci dotazů.



Prostor datových hodnot je pravděpodobně nejintuitivnějším prostorem, ve kterém se provádí filtrace. Při vizualizaci velkých datových množin je běžným postupem nejdříve redukovat data. Pro prostorová data je toto analogií k ořezávání dat spadajících mimo

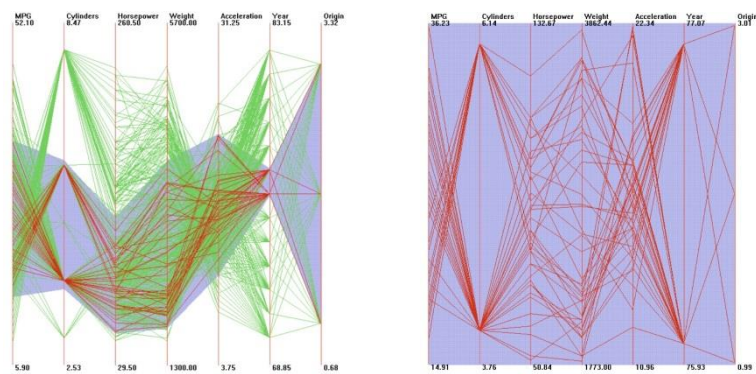


pohledový region. Pro neprostorová data tato redukce odpovídá odstranění některých záznamů, dimenzí nebo obojího.

Dimenze mohou být rovněž filtrovány, abychom mohli uživatelům prozkoumat podmnožinu dimenzí s podobnými vlastnostmi nebo vybrat reprezentanty pro jednotlivé klastry dimenzí.

Při distorzi v prostoru datových hodnot jsou datové hodnoty  $(d_0, d_1, \dots, d_n)$  transformovány pomocí funkce  $j: (d'_0, d'_1, \dots, d'_n) = j(d_0, d_1, \dots, d_n)$ . Tato transformace probíhá ještě před samotnou vizualizací. Ve skutečnosti může každá z dimenzí podléhat své vlastní transformační funkci  $j_i: d'_i = j_i(d_i)$ . V nejobecnějším případě může funkce  $j_i$  záviset na libovolném počtu dimenzí, ačkoliv v takovémto případě je možnost řízení filtrace uživatelem problematická.

Příkladem distorze v datovém prostoru je již dříve uvedený nástroj XmdvTool, kde je každá dimenze vybrané podmnožiny dat škálována takovým způsobem, aby podmnožina mohla být zobrazena v prostoru obrazovky (viz obrázek).



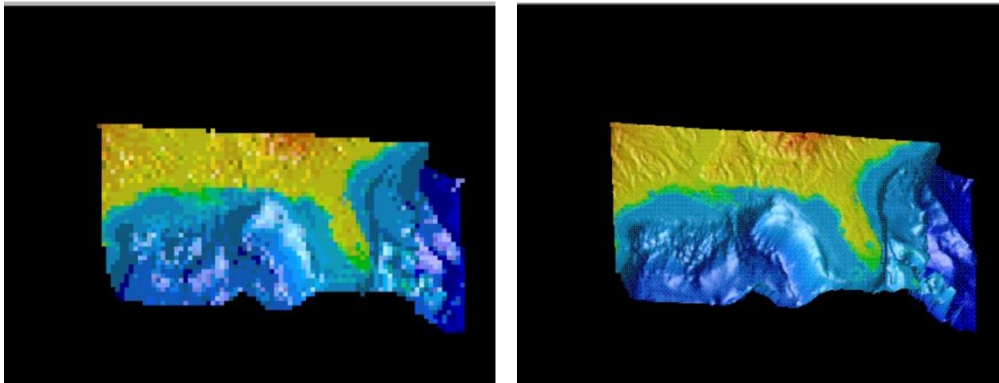
Na obrázku je vybrán N-dimenzionální hyperbox a následně je škálován přes všechny dimenze, čímž vyplníme jednotkovou hyperkostku.

### Prostor datových struktur (Components of Data Organization)

Data mohou být strukturována mnoha způsoby, jako například do seznamů, tabulek, gridů, hierarchií a grafů. Pro každou z těchto struktur je možné vyvinout speciální interakční mechanismus, který určí, se kterými částmi struktury budeme manipulovat a jak se tato manipulace bude projevovat.

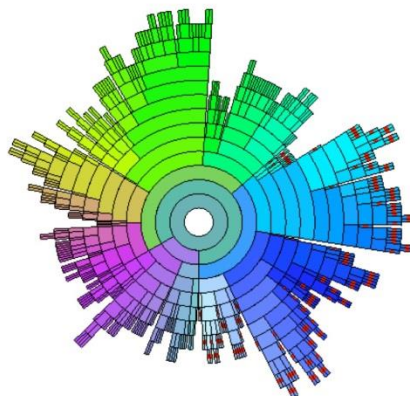
Navigace v prostoru datových struktur zahrnuje pohyb pohledové specifikace podél struktury, jako například při zobrazování sekvenčních skupin záznamů nebo při procházení hierarchickou strukturou (operace pohybu nahoru nebo dolů ve struktuře).

Jako příklad si uveďme daný obrázek, který ukazuje rozdíl mezi zoomováním v prostoru obrazovky (vlevo - zahrnující replikaci pixelů) a zoomováním v prostoru datové struktury (vpravo - zahrnující získání detailnějších dat v požadovaném rozlišení).



Výběr v prostoru datové struktury obecně zahrnuje zobrazení této struktury a umožnění uživateli identifikovat oblasti zájmu uvnitř struktury. Příkladem je **brushing** založený na struktuře, který umožňuje řídit výběr dat uložených v hierarchii klastrů. Příkladem interakce v tomto případě je zvýraznění dat, která spadají do určité větve stromu.

Dalším příkladem je vizualizační nástroj **InterRing**, který zobrazuje hierarchii radiálně a pomocí vyplňování prostoru. Tento nástroj umožňuje poloautomatický výběr uzlů, vzhledem k jejich hierarchické struktuře.



Obrázek ukazuje příklad, kde jsou automaticky vybrány koncové uzly. Tento výběr vzniknul dotazem na koncové uzly nad jejich společným předkem.

Pro redukování množství zobrazované informace se i zde často používá filtrace. Například pro vizualizace v čase je běžnou praxí definovat určitý rozsah na časové ose, na který chceme zaměřit pozornost. Prozkoumávání okolí v grafových vizualizacích zase často obsahuje filtraci uzlů a hran, které jsou dále než je uživatelem specifikovaný počet „skoků“ (míněno jako počet hran) od daného zájmového bodu. U hierarchických metod je filtrace založena právě na stupni hierarchie.

Distorze na hierarchických strukturách je velmi běžná zejména díky hustotě informace, která je odvozena z širokých nebo hlubokých hierarchických struktur. Několik vědců se zaměřilo na techniky založené na zobrazení hierarchie radiálně – např. Andrews a Heidegger, Stasko a Zhang, Yang.

Ve všech uvedených případech jsou data uchovávána ve struktuře namísto v samotných datových hodnotách nebo v mechanismu, jak jsou vizualizována.

Formalizace této procedury je komplikovanější než v ostatních případech. Většinu distorzí však můžeme definovat pomocí mapování vektoru  $(D, S)$ , kde  $D$  jsou data a  $S$  je struktura uchovávající tato data, na vektor  $(D', S')$ , kde transformace může modifikovat data, strukturu nebo obojí.

### **Prostor atributů (Components of Graphical Entities)**

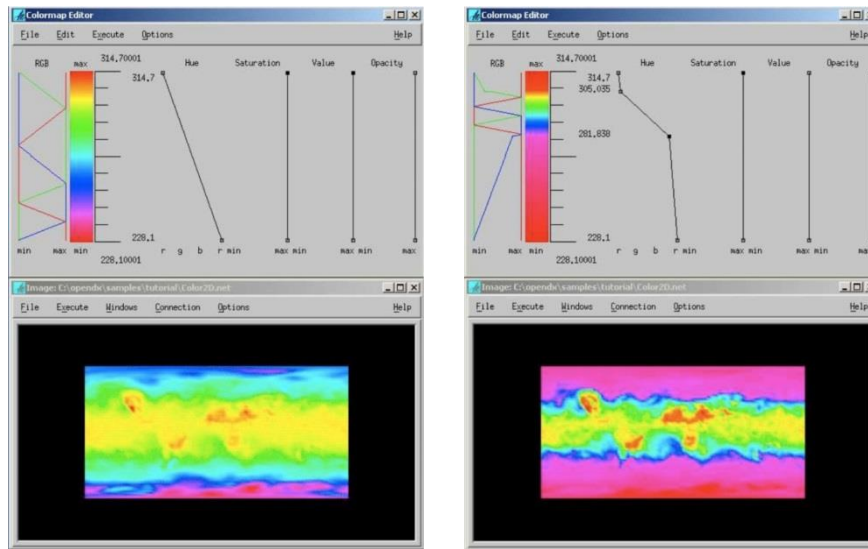
Navigace v prostoru atributů je velmi podobná navigaci v prostoru datových hodnot. Panorámování zahrnuje posun rozsahu hodnot zájmu, zatímco zoomování může být dosaženo buď škálováním atributů, nebo zvětšením rozsahu hodnot zájmu.

Stejně jako při výběru řízeném datovými hodnotami, výběr v prostoru atributů požaduje po uživateli určení podmnožiny daných atributů zájmu. Například máme-li dané znázornění barevné mapy, uživatel může vybrat jeden nebo více vstupů, které budou zvýrazněny. Podobně, pokud datové záznamy obsahují atributy jako například kvalita či neurčitost (uncertainty), pak vizuální reprezentace těchto atributů doprovázená vhodnými interakčními technikami umožňuje uživateli filtrovat nebo zvýrazňovat data na základě těchto atributů.

V prostoru atributů často dochází k přemapování – buď pomocí výběru různých rozsahů daného atributu, nebo výběrem různých atributů pro danou vstupní množinu. Například v systému GlyphMaker může uživatel vybrat mapování dané dimenze dat ze seznamu možných grafických atributů.

Mějme atribut  $A$  dané grafické entity. Můžeme provést distorzní transformaci aplikováním funkce  $k: a' = k(a)$ . Můžeme předpokládat, že  $A$  může nabývat hodnot z rozsahu  $[a_0 \rightarrow a_1]$  nebo že  $A$  je specifikováno jako vektor. Například distorze barevné mapy může alokovat širší nebo naopak užší rozsah hodnot pro některé podmnožiny, čímž zvýšíme čitelnost jemných odchylek (viz obrázek). Obrázek ukazuje distorzi atributů ve formě modifikace barevné mapy, která byla vygenerována pomocí editoru barevných map v OpenDX systému. Barevná mapa je deformována takovým způsobem, aby byl větší rozsah hodnot přidělen středu rozsahu dat.

Tato forma distorze je často používána v analýze medicínských obrázků pro identifikaci oblastí zájmu.



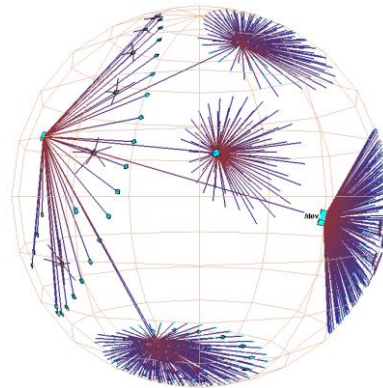
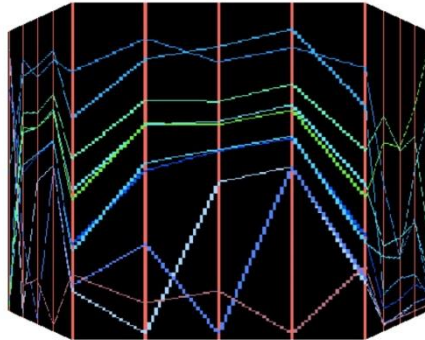
### Prostor objektů (3D Surfaces)

V tomto zobrazení jsou data mapována na geometrické objekty a tento objekt (nebo jeho projekce) následně podléhá interakcím a transformacím. Navigace v prostoru objektů se často skládá z pohybu kolem objektů a pozorování povrchů, na které byla data namapována. Systém podporující navigaci v prostoru objektů by měl umožňovat globální pohled na objekt a zároveň detailní pohledy. Ty mohou být určitým způsobem omezeny, aby byly uživateli rychle nabídnuty „dobré pohledy“ na objekt.

Výběr zahrnuje klikání na objekty zájmu nebo zvolení cílových objektů ze seznamu.

Typickým příkladem přemapování v prostoru objektu je změna objektu, na který jsou data mapována, jako například přepínání mapování geografických dat z roviny na kouli a naopak.

Příklady distorze v této formě interakce jsou tzv. perspektivní stěny (vlevo) a hyperbolické projekce (vpravo). Na tyto metody můžeme nahlížet jako na varianty metody založené na prostoru obrazovky, kdy objekt, na který jsou data promítnuta, zapouzdřuje distorzní funkci. Avšak po aplikaci mapování mohou povrchy podléhat dalším transformacím ve 3D, jako například rotaci, škálování a perspektivní distorzi.



Proces distorze v prostoru objektů můžeme reprezentovat jako sekvenci dvou funkcí:

- První mapuje data (obecně parametrizována ve dvou dimenzích) na 3D strukturu:

$$(x, y, z) = g(a, b)$$

- Druhá tuto strukturu transformuje a promítá na obrazovku:

$$(i, j) = h(x, y, z)$$

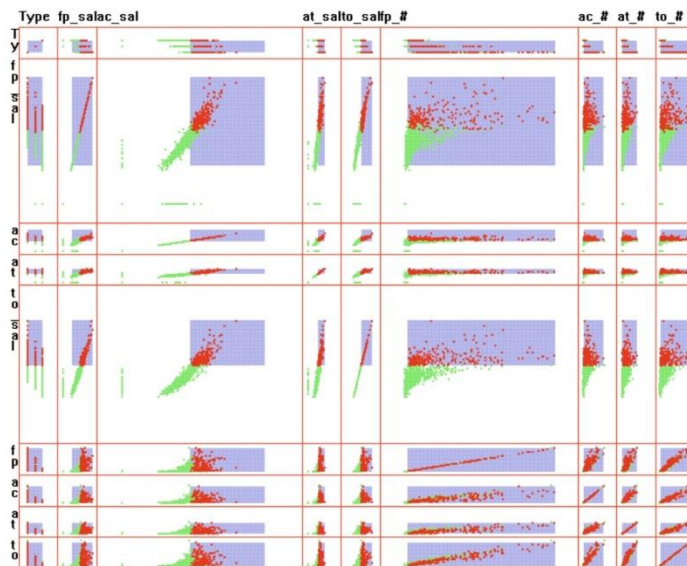
## Vizualizace prostoru struktur

Vizualizace se zaměřuje na strukturu, která je relativně nezávislá na hodnotách, atributech a struktuře dat. Například mřížka, do které je vykreslena matice bodových grafů, nebo osy zobrazované v různých typech vizualizací, jsou komponenty vizualizované struktury, na které se zaměřuje interakce.

Příkladem navigace při vizualizaci prostoru struktur je posun stránek v nástroji založeném na tabulkové vizualizaci nebo zoomování na jednotlivé grafy v matici bodových grafů.

Při výběru typické operace zahrnují výběr komponent, které mají být schovány, přesunuty nebo přeskupeny. Například uživatel může vybrat osu paralelních souřadnic a táhnout ji na jinou pozici, aby objevil různé vztahy mezi dimenzemi dat.

Příkladem distorze v tomto prostoru je tzv. table lens technika, která umožňuje uživateli transformovat řádky a/nebo sloupce tabulky za účelem poskytnutí násobného LOD. Tento proces aplikovaný na matici bodových grafů je znázorněn na obrázku.

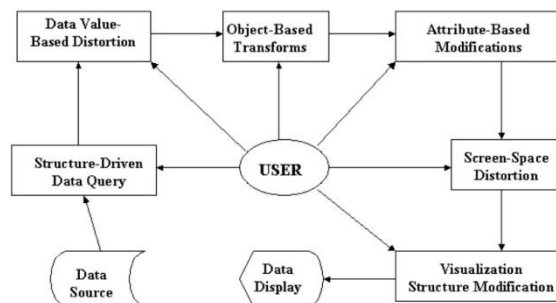


Obrázek vygenerovaný nástrojem TableLens ukazuje matici bodových grafů, ve které jsou dvě buňky (a jejich odpovídající řádky a sloupce) zvětšeny na úkor ostatních buněk.

## Unifikovaný Framework

Pro aplikaci interakčních operátorů na specifický prostor/operand musíme splnit několik parametrů. Některé z nich mohou být pro daný systém konstantami. Tyto parametry jsou:

- **Focus** (střed zájmu) – umístění ve středu prostoru zájmu uživatele. Může jich být definováno více najednou, což často vyžaduje pro správnou navigaci využití násobných displejů.
- **Extents** (rozsahy) – rozsah uvnitř prostoru definující hranice interakce. Metrika použitá pro určení rozsahu je specifická pro daný prostor – v prostoru obrazovky to mohou být pixely, zatímco v prostoru struktury to může být počet řádků v tabulce či počet hran v grafu.
- **Transformace** – funkce aplikovaná na entity uvnitř rozsahů. Tvar transformace může záviset na typu informace, kterou má ovlivnit. Další komponentou transformace je její **stupeň** neboli scale faktor transformace.
- **Blender** (míchání) – specifikuje, jakým způsobem pracovat s částmi prostoru, které jsou zasaženy více interakcemi najednou. Například pro selekci tato operace může zahrnovat logické operace nad překrývajícími se entitami. Pro distorzi existuje několik přístupů, včetně váženého průměru, maximální hodnoty a kompozice.



Obrázek ukazuje pipeline zobrazující strukturu obecného procesu distorze (pro další formy interakce mohou být generovány podobné obrázky). V každé fázi může uživatel řídit kterýkoliv (i všechny) z výše uvedených parametrů.

Dosud nebyl implementován systém podporující všechny zobrazené komponenty. Většina vizualizačních systémů tedy podporuje jednu nebo více z nich, přičemž dovolují uživateli interaktivně ovlivňovat jeden nebo více parametrů.



Pořadí aplikování jednotlivých operací může být měněno, pouze metody v prostoru obrazovky jsou intuitivně umístěny nakonec. Pořadí operací, které je prezentováno na obrázku, považují jeho autoři za intuitivní a progresivní, nicméně tato jejich hypotézu by bylo nutné podložit experimenty.