

PV251 Vizualizace

Jaro 2016

Výukový materiál

1. přednáška: Úvod do vizualizace

Obsahem tohoto kursu je seznámení s obecnými pravidly a zásadami vizualizace a s technikami a nástroji pro jejich realizaci. První přednáška je zaměřena na úvodní informace a definice a pochopení komplexnosti celé oblasti. Dále se věnuje historii i současnosti vizualizace, vztahu vizualizace k různým vědním oborům a samotnému procesu vizualizace. Závěrem bude stručně zmíněna podstata procesu lidského vnímání a jeho úzkému vztahu k vizualizaci.

Definice vizualizace

Existuje velké množství definic tohoto pojmu. Obecná definice může být:

Způsob zobrazení dané informace pomocí některé z grafických reprezentací.

Další možné definice:

- „Transformation of symbolic into geometric“ [McCormick et al., 1987]
- „... finding the artificial memory that best supports our natural means of perception.“ [Bertin, 1967]
- „The use of computer-generated, interactive, visual representations of data to amplify cognition.“ [Card, Mackinlay, Shneiderman, 1999]
- „The purpose of computing is **insight**, not numbers“ [R. Hamming, 1962]
- „...to form a mental vision, image, or picture of something not visible or present to the sight, or of an abstraction; to make visible to the mind of imagination“ [Oxford Engl. Dict., 1989]
- **Tool** to enable a **User** insight into **Data**

Cílem je předání dané informace co nejsrozumitelnější formou. S vizualizací se setkáváme v běžném životě neustále a vnímáme ji jako samozřejmost. Její vjem je často subjektivní, přesto by měla vizualizace ctít určitá základní pravidla, kterými se budeme v průběhu tohoto

kursu zabývat. Je třeba si uvědomit, co všechno se pod pojmem vizualizace může skrývat a jakým způsobem lze vizualizaci co nejlépe využít ve svůj prospěch.

Proč vizualizace vytváříme

Je mnoho důvodů, zde se zaměříme pouze na ty, které se bezprostředně týkají našeho oboru. Vizualizace umožňuje:

- Usnadnit rozhodovací procesy
- Pohled na data v mnohem širším kontextu
- Je nedílnou součástí interpretace spočtených dat
- Prezentovat své myšlenky a výsledky, upoutat pozornost posluchače
- Inspirovat ostatní
- Pobavit, naučit, ...

Funkce vizualizace lze rozdělit do tří základních skupin:

- **Uložení informace** – zaznamenání určitých dat (např. fotografie, obrazy, blueprints, ...)
- **Analýza informace** – zpracování a vyhodnocení dat, interaktivní zhodnocení kvality dané interakce
- **Předání informace** – sdílení dat mezi zúčastněnými stranami, jejich vzájemná spolupráce a zvýraznění důležitých aspektů sdílených dat

Vizualizace je důležitá zejména díky tomu, že člověk používá zrak jako jeden z klíčových smyslů při snaze o porozumění sdělované informace. Setkáváme se s ní všude – na ulici, v dopravních prostředcích, v televizi, v tisku. Hrajeme úlohu buď pasivního pozorovatele sdělované informace nebo můžeme vizualizaci sami aktivně vyhledávat – mapy, předpověď počasí, situace na burze a podobně. V takovém případě rovněž často aktivně interagujeme s danou vizualizací. Pomocí vizualizace je člověk schopen výrazně zlepšit své rozhodovací procesy a správněji a rychleji pochopit sdělované souvislosti.

Příklady důležitosti vizualizace

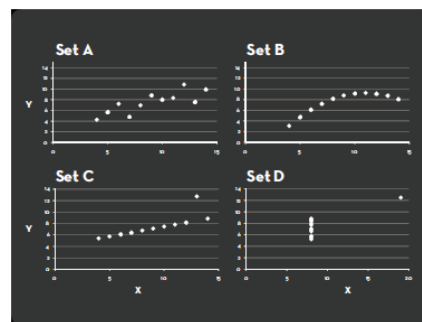
Příkladů může být nekonečně mnoho, jedním z typických je však zobrazení sady dat:

Set A		Set B		Set C		Set D	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
10	8.04	10	9.14	10	7.46	8	6.58
8	6.95	8	8.14	8	6.77	8	5.76
13	7.58	13	8.74	13	12.74	8	7.71
9	8.81	9	8.77	9	7.11	8	8.84
11	8.33	11	9.26	11	7.81	8	8.47
14	9.96	14	8.1	14	8.84	8	7.04
6	7.24	6	6.13	6	6.08	8	5.25
4	4.26	4	3.1	4	5.39	19	12.5
12	10.84	12	9.11	12	8.15	8	5.56
7	4.82	7	7.26	7	6.42	8	7.91
5	5.68	5	4.74	5	5.73	8	6.89

Summary Statistics
 $\mu_x = 9.0$ $\sigma_x = 3.37$
 $\mu_y = 7.5$ $\sigma_y = 2.03$

Linear Regression
 $Y^* = 1 + 0.5 X$
 $R^2 = 0.67$

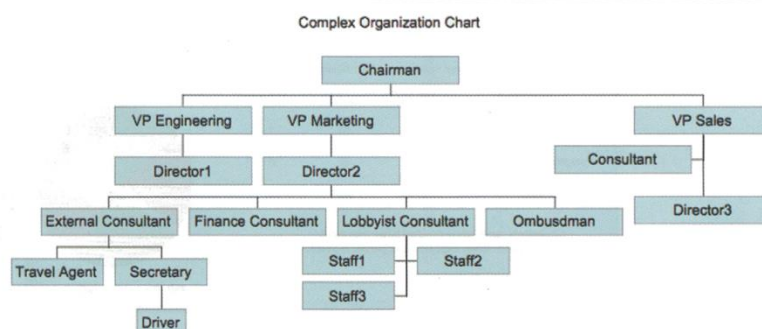
[Anscombe 73]



Klasické sloupcové zobrazení jednotlivých položek způsobuje obtížnou orientaci v datech. Při větších objemech dat je interpretace téměř nemožná.

Při vynesení jednotlivých položek do grafu je umožněna okamžitá interpretace dat. Navíc velké objemy dat nijak významně nezhoršují interpretaci.

Dalším příkladem může být personální struktura uvnitř velké společnosti. Tato informace může být předána v čistě textové podobě, ale její pochopení je komplikované, zdlouhavé a může dojít k častějším chybám v interpretaci. Pokud však tuto informaci zobrazíme následujícím schématem, jsme schopni se v organizační struktuře okamžitě rychle orientovat.

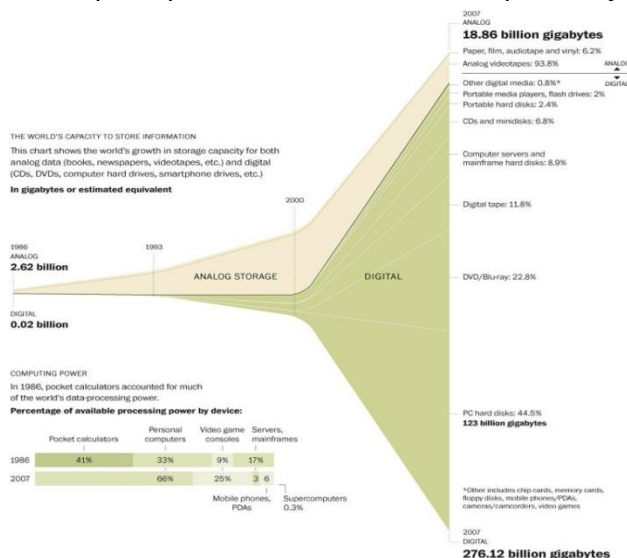


Objemy dat v současné době

Jedním z hlavních důvodů, proč bychom se vizualizací měli zabývat, je skutečnost, že každoročně dochází k obrovskému nárůstu množství vznikajících dat. Tato data je potřeba nějakým způsobem zpracovávat a analyzovat, jinak jejich existence postrádá smysl. Pro ilustraci, v roce 2002 vzniklo 5 exabytů (10^{18} bytů) nových dat, v roce 2006 už to bylo 161 exabytů.

Podle studie provedené na University of South California, která byla publikována v roce 2011v časopise Science, v roce 2002 poprvé množství digitálních dat překročilo množství dat

analogových. V roce 2007 pak bylo 94% všech dat na celé planetě již v digitální podobě.



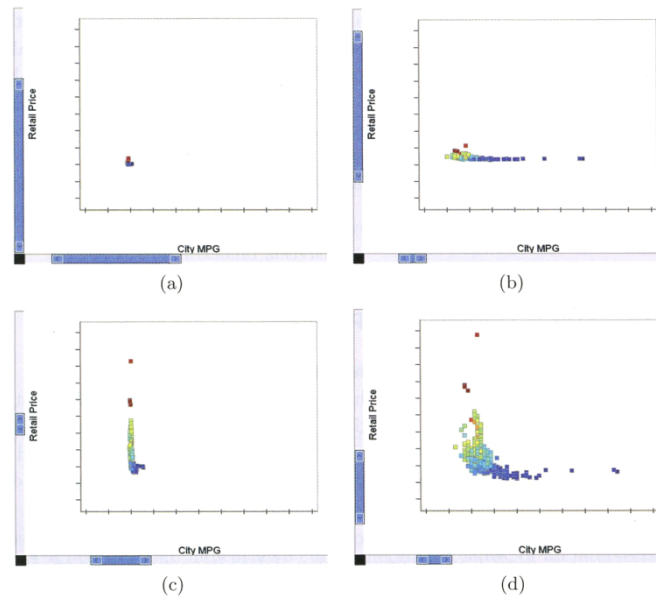
Cíle výzkumu vizualizace

Hlavními cíli jsou:

- Pochopení, jakým způsobem vlastně člověk vizualizaci vnímá a jak to souvisí s jeho myšlenkovými procesy, které ovlivňují vnímání okolního světa i lidské chování.
- Návrh a vyvinutí principů a technik, které korespondují s poznáním získaném ve fázi pochopení. Tak budeme schopni vytvářet tzv. „efektivní“ vizualizace, které dokáží co nejvíce zacílit na myšlenkové procesy a tím zlepšit a urychlit proces vnímání a pochopení sdělení dané informace.

Chybná interpretace dat

Špatně zvolená reprezentace dat může způsobit chybné vnímání sdělované informace. Jako příklad uveďme následující grafy:



Na všech grafech je zobrazena vždy stejná informace, mění se pouze měřítko v osách x a y. Graf (a) představuje uniformní rozložení na osách x a y. Díky špatně zvolenému měřítku, které nekorresponduje s rozsahem zobrazovaných dat, dochází k překrytí zobrazovaných data tedy k jejich špatné interpretaci. Pokud změním měřítko s ohledem na rozsah zobrazovaných dat, ale pouze v jedné z os (grafy (b) a (c)), interpretace bude opět zcela chybná. Konečně graf (d) zobrazuje obě osy v přiměřeném měřítku. Z grafů je tedy zřejmé, že pouhou změnou parametrů zobrazení stejných dat můžeme dostat zcela odlišné interpretace.

Historie vizualizace

Vizualizace je velmi starou disciplínou. Jako samostatná vědní disciplína vznikla před více než dvaceti lety, první vědecké konference věnované této oblasti se objevily v roce 1990.

První záznamy o vizualizaci (vzniklé na základě intuice) pochází již z doby cca 15 – 130000 let př. n. l., kdy vznikly jeskynní malby v jeskynním komplexu Lascaux ve Francii.



V obrázkovém vyjádření nebylo třeba formalizace, jako je tomu u psaného projevu. Vychází pouze z přirozeného vnímání člověka. Vizualní vyjádření nevyžaduje, aby se účastníci předání informace domlouvali předem na pravidlech komunikace, protože toto vyjádření je zcela intuitivní. To samozřejmě neplatí pro abstraktní umění pozdější doby.

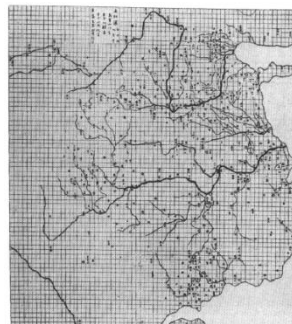
Obrázková forma se promítla i později do prvních forem písma. Za nejstarší psaný dokument je považován tzv. Kish limestone tablet pocházející z Mezopotámie (3500 př. n. l.). Asi nejznámějším obrázkovým písmem jsou egyptské hieroglyfy (3000 př. n. l.).



Hlavní důvody vzniku vizualizací v minulosti byly převážně praktické – mapy obchodních cest, náboženství či komunikace. Jedním z důkazů je i Peutingerova mapa Římské říše:



V roce 1137 v Číně vznikla první geografická mapa využívající kartézský souřadný systém – čáry mřížky představují zeměpisnou šířku a délku.



Dalším za zajímavých příkladů účelného využití vizualizace je případ epidemie cholery v Londýně roku 1663. John Snow sestavil následující mapu, kde každá čárka reprezentuje jednoho zemřelého v daném domě na vyznačené ulici. Pomocí této mapy bylo následně zjištěno, že nejvyšší počet obětí se koncentroval kolem ústřední městské vodní pumpy na Broad Street. Její odstranění pak ukončilo epidemii, která si vyžádala přes 500 obětí.

Detailní informace lze nalézt přímo v knize Johna Snowa *On the Mode of Communication of Cholera* (dostupné online na http://books.google.cz/books?id=N0_AAAcAAJ&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). Příloha této knihy obsahuje jména všech tehdejších obětí včetně jejich adres a

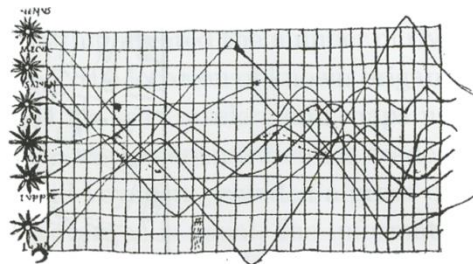
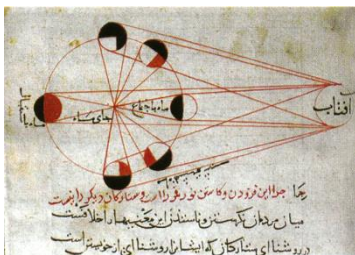
dalších informací o průběhu jejich nemoci. To je důkazem toho, jak užitečné bylo tato data zpracovat pomocí mapy.

Tento příběh byl natolik zpopularizován, že o něm byl v roce 2011 natočen film (<http://www.imdb.com/title/tt2061801/>, <http://www.snowthemovie.com/crew.html>). Rovněž vyšla i kniha s touto tematikou: http://en.wikipedia.org/wiki/The_Ghost_Map.

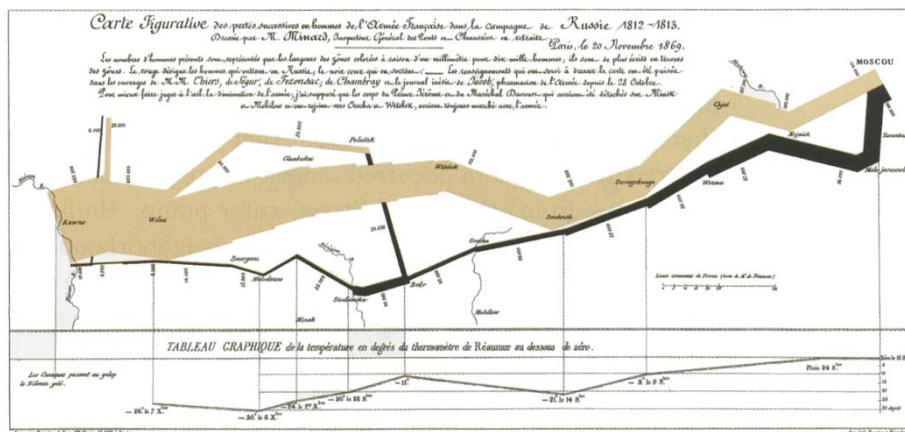
(Informace poskytl Tomáš Marek)



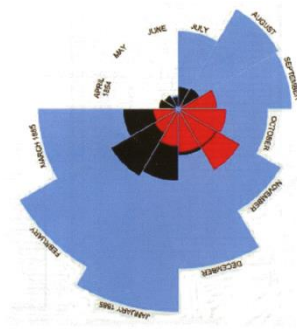
Jedním z typických příkladů využití vizualizace byla astronomie. Znárodnily se fáze měsíce či pohyby planet:



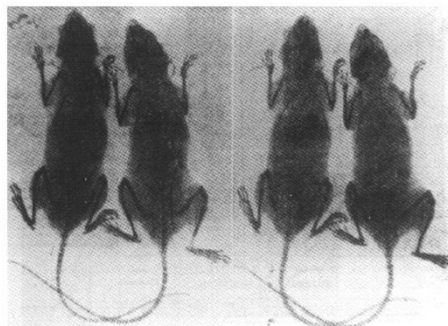
Vizualizace našla významné uplatnění i při válečných taženích. Následující mapa zobrazuje Napoleonova tažení Ruskem na Moskvu. Zaznamenává ztráty ve vojsku v průběhu války a oslabení Napoleonových vojsk u Moskvě. Barva reprezentuje směr pohybu vojsk, v dolní části je navíc zobrazen velmi důležitý údaj o teplotě v daných místech.



Další zajímavou ukázkou je graf Florence Nightingale (1820 - 1910), která byla sociální reformátorkou a statističkou a zakladatelkou moderní pečovatelské služby. Její graf ukazuje výši úmrtnosti v armádě během jednoho roku (duben 1854 – květen 1855) zároveň s příčinami těchto úmrtí (zvýrazněno barevně – modrá = nemoc, červená = zranění, černá = ostatní). Nightingalová založila svoji práci na Playfarově studii tohoto typu grafů. Modré části zvýrazňují počet úmrtí na nemoci, které by při změně v péči o vojáky bylo možné snížit. Tento diagram byl rovněž jako zpráva předložen královně Viktorii a je uváděno, že Florence byla první, kdo se pomocí vizualizace pokoušel argumentovat nutnost změny stávajícího stavu.

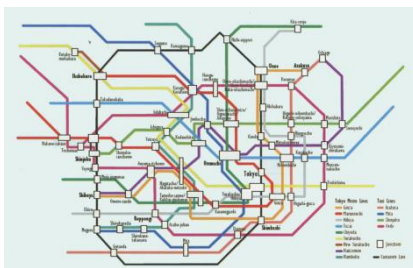


V roce 1865 německý fyzik Wilhelm Röntgen náhodou objevil paprsky, za které v roce 1901 získal Nobelovu cenu za fyziku. Rentgenové záření našlo uplatnění zejména v medicíně, ale i v jiných oborech. V roce 1896 rovněž vznikly první stereoskopické rentgenové obrázky.



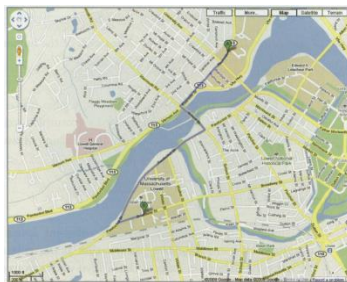
Vizualizace dnes

V dnešní době vizualizace kromě jiného slouží převážně jako praktický nástroj pro předání kýžené informace. Přitom je nutné využívat různých úrovní abstrakce při reprezentaci dat, jak z kvalitativního, tak z kvantitativního hlediska. Příkladem kvantitativní abstrakce je například síť linek tokijského metra:



Je zřejmé, že i když je takováto mapka hodně aproximativní, zcela vyhovuje danému účelu a jakákoliv dodatečná informace (například zvýraznění ulic) by byla pouze matoucí.

Naopak pokud plánujeme například pěší trasu z místa A do místa B, zřejmě využijeme klasickou papírovou mapu nebo navštívíme některou z aplikací na webu (google.maps apod.). Ty zobrazují jednotlivé ulice, křižovatky, řeky, parky a podobně, tedy vše, co nám může pomoci s naplánováním trasy podle našeho požadavku (nejkratší cesta, cesta přes park a podobně). Je na místě zmínit, že mapy jsou speciálním případem, kdy může dojít k nepřesnostem zobrazení v závislosti na jejich měřítku. To je dáno projekcí kulového útvaru zeměkoule do roviny. Je zřejmé, že čím menší oblast mapa zabírá, tím je zkreslení menší.



Data lze vizualizovat velmi přesně, jako je tomu na následujícím obrázku:

\$11,956,584,748,608.58

Na místě je rozhodně argument, že se nejedná o žádnou vizualizaci. Ale čísla i text jsou ve skutečnosti vizuální reprezentace a jsou považována za vizualizaci stejně jako například tabulka nebo graf. Jsou v podstatě reprezentací určitých dat. Tento obrázek znázorňuje velikost národního dluhu ve Spojených státech 22. ledna 2006.

Dalším velmi praktickým využitím vizualizace je záznam z elektrokardiogramu (EKG).



Vlevo je záznam normálního dospělého zdravého člověka a vpravo 83letého muže s vysokým krevním tlakem.

V současné době je vizualizace využívána v širokém spektru oblastí. Vizualizace umožňuje zobrazení různých typů objektů, jako například různá data, algoritmy, výsledky výpočtů, procesy a podobně. Čím dál více je využívána tzv. **interaktivní vizualizace**, kdy má uživatel možnost reagovat na zobrazovanou informaci a samostatně se v ní navigovat. Tato

interakce je dnes častěji prováděna pomocí přímé interakce s grafickým oknem aplikace namísto používání klasického menu.

Nejčastěji se v dnešní době vizualizace využívá v následujících oblastech:

- Medicínská data (VolVis)
- Flow data (FlowVis)
- Abstraktní data (InfoVis)
- GIS data
- Historická data (archeologie)
- Mikroskopická data (molekulární fyzika)
- Makroskopická data (astronomie)
- Obrovské datové sady

Vztah mezi vizualizací a počítačovou grafikou

Původně byla vizualizace považována za „pododvětví“ počítačové grafiky, protože vizualizace využívá grafiku pro zobrazení informace. Počítačová grafika je tedy v tomto smyslu jakýmsi komunikačním médiem.

Na tento vztah se ale můžeme podívat i z jiného pohledu. Ve všech typech vizualizací lze jednoduše rozeznat použití grafických primitiv, jako jsou body, čáry, plochy, objemy. Počítačová grafika se primárně soustředí na zpracování těchto grafických primitiv, zatímco vizualizace jde o kousek dále – velmi důležitým aspektem vizualizace jsou samotná zobrazovaná data a jejich vlastnosti – prostorová pozice, fyzikální vlastnosti a jiné. To vede k definici vizualizace jako aplikace počítačové grafiky na zobrazení dat, kdy dochází k mapování dat na grafická primitiva a k následnému vyrenderování na obrazovku. Vizualizace v sobě navíc integruje mnoho dalších vědních disciplín, jako je například interakce člověka s počítačem, schopnost vnímání (perceptual psychology), databáze, statistika, data mining a další.

Shrneme-li tyto poznatky, získáváme následující tvrzení:

Počítačová grafika je primárně zaměřena na vytváření interaktivních obrázků a 3D objektů, kdy je většinou hlavním cílem dosažení co nejreálnějšího vzhledu. Významnou oblastí, kde je počítačová grafika hojně využívána, je umění a zábava (hry, filmy, reklama, ...).

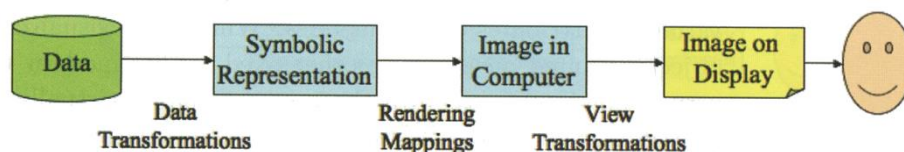
Vizualizace se více než na realistické zobrazení dat soustředí na efektivitu sdělení dané informace (*effective communication of information*).

Počítačová grafika a vizualizace sdílejí řadu konceptů, nástrojů a technik, ale liší se v základním modelu (informace, která má být zobrazena) a zejména cíli (co uživatel očekává za výstup).

Proces vizualizace

Základem návrhu nové vizualizace je analýza dostupných vstupních dat a očekávání uživatele od výsledné vizualizace (analýza výstupních požadavků). Cílem výsledku může být prozkoumání dat, potvrzení hypotézy, prezentace výsledku (konference, ...) a podobně. Zajímavými výsledky jsou většinou různé anomálie objevující se v datech, shluky dat (definující jejich podobnost) nebo trendy (tzv. predictive models).

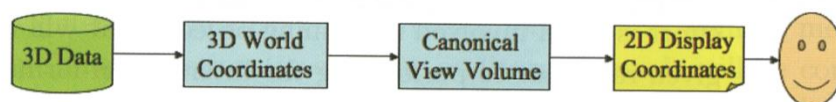
Pro zobrazení dat je nutné nadefinovat jejich **mapování na obrazovku**.



Jedním z důležitých aspektů je možnost interaktivní manipulace ve všech fázích daného procesu. To je důležité hlavně z důvodu subjektivního vnímání vizualizace a její „kvality“. Neexistuje tedy definice, která by zajišťovala, že daná vizualizace bude „efektivní“. Proto je důležité umožnit uživateli ovlivnit výsledek procesu, kdekoliv je to možné.

CG Pipeline

Klasická pipeline v počítačové grafice se skládá z následujících fází:



Modeling – v první fázi je vytvořen 3D model skládající se z grafických primitiv a je umístěn v globálním souřadném systému.

Viewing – definuje pozici, směr a orientaci virtuální kamery v globálním souřadném systému. Všechny vrcholy 3D modelu jsou pak převedeny do souřadného systému daného parametry kamery.

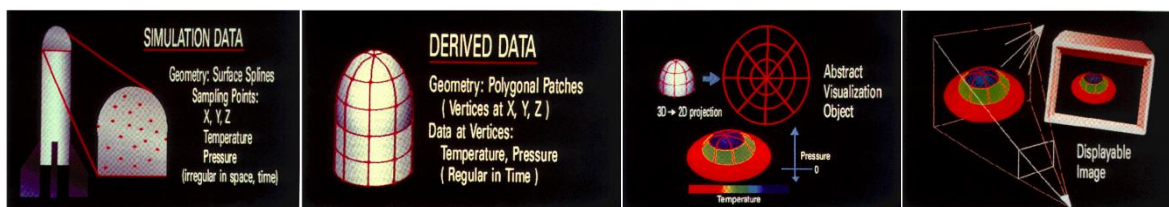
Clipping – zde se specifikují hranice zamýšleného obrazu a objekty mimo tyto hranice mohou být následně odstraněny. Objekty, které protínají hranice, mohou být ořezány. Dále mohou být objekty převedeny do normalizovaných pohledových souřadnic, což výrazně zjednodušuje proces ořezávání.

Hidden surface removal – odstranění skrytých částí (polygonů), které nejsou z pohledu kamery viditelné (zadní stěny, polygony v zákrytu).

Projection – v projekční fázi jsou 3D polygony promítnuty na 2D projekční rovinu pomocí například perspektivní transformace. Výsledek je zobrazen v normalizovaném 2D souřadnicovém systému obrazovky.

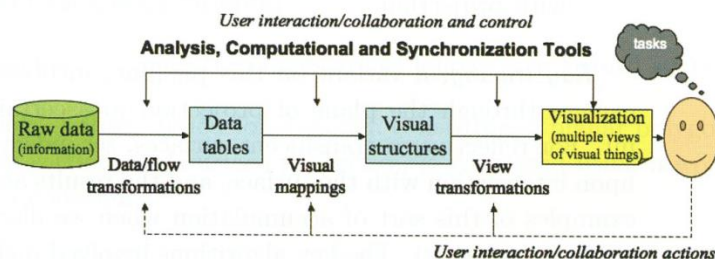
Rendering – renderovací fáze přiřadí každému pixelu odpovídající barvu – v závislosti na barvě polygonů, jejich průhlednosti, svítivosti, umístění atd. Toto se řeší například pomocí raytracingu.

Data vstupující do procesu vizualizace mohou být získána různými způsoby, například měřením (CT/NMR data), různými typy simulace (např. flow simulace), modelováním a dalšími způsoby. Tato data jsou následně zpracována (filtrováním, převzorkováním, výběrem specifické části neboli odvozením, interpolací, ...). Poté jsou data namapována do zobrazitelné podoby, například na geometrický model. V poslední fázi jsou využity principy počítačové grafiky a výsledek je zobrazen na obrazovce.



Visualization pipeline

Vizualizační pipeline je při vyšší úrovni abstrakce podobná té grafické. Má ale svá specifika. Fáze jsou následující:



Data modeling – připravení dat (ze souboru, databáze, ...) usnadňující vizualizaci. Znamená to např. připravení dat ve formátu, který umožní rychlý přístup k těmto datům.

Data selection – výběr dat je obdobou ořezávací fáze CG pipeline, kdy vybíráme podmnožinu dat, která by měla být vizualizována. Tato fáze může být řízena automaticky, může být plně ponechána na uživateli nebo se tyto přístupy mohou kombinovat.

Data to visual mappings – nejdůležitější fází je mapování dat na grafické entity nebo jejich atributy. Některá část dat může řídit např. velikost objektu, zatímco ostatní mohou definovat

např. pozici nebo barvu objektu. Tato fáze v sobě často integruje další předzpracování dat, které předchází samostatnému mapování, jako např. scaling, posun, filtrování, interpolace atd.

Scene parameter settings (view transformations) – zde dochází k nastavení parametrů scény, jako například výběr barevného schématu, osvětlení, případně ozvučení. Tyto parametry jsou relativně nezávislé na datech.

Rendering or generation of the visualization – v poslední fázi dochází k samotnému vyrenderování (vygenerování) vizualizace. Zvolená projekce je závislá na provedeném mapování, může zahrnovat např. shading či mapování textury. Většina vizualizačních technik si vystačí pouze s kreslením čar a uniformně stínovaných polygonů. Kromě samotného zobrazení dat většina vizualizací poskytuje různé dodatečné informace usnadňující interpretaci zobrazených dat, jako např. zobrazení os s popiskem v případě grafů či různé obecné anotace.

Lidské vnímání

Správné pochopení lidského vnímání je základem každého dobrého návrhu vizualizace. První studie lidského vnímání se zaměřovaly na zrakový systém a jeho schopnosti a limitace. Pozdější výzkum se navíc zaměřil na oblast kognitivních vjemů a schopnost rozpoznávání (to znamená zapojení psychologie do celého procesu vizualizace).

Jedna z definic lidského vnímání:

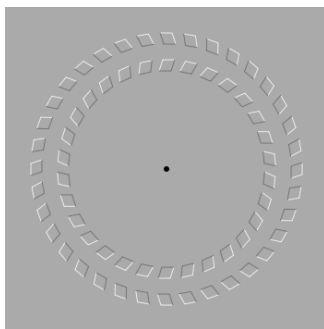
Proces interpretace okolního světa a formování jeho vnitřní reprezentace.

Právě díky vnitřní reprezentaci dochází k mnoha nepřesnostem a dezinterpretacím. Ty mohou být dvojího původu – vzniknou chybou vnímání nebo cílenou dezinterpretací. Druhá varianta vede k populárním **optickým klamům**.

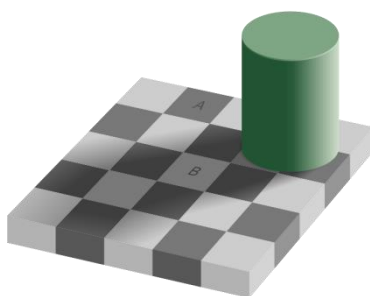
Optické klamy nebo též optické iluze jsou v podstatě nesprávné nebo matoucí vnímání reality. Dochází k nim díky špatné interpretaci mozku, kdy člověk vidí něco, co na daném obrázku vůbec není.



Obdélník uprostřed má ve skutečnosti v celé šířce stejný odstín šedi.



Při přibližování a vzdalování hlavy od obrázku se kruhy zdánlivě otáčejí.



Ve skutečnosti mají políčka A a B stejnou barvu.

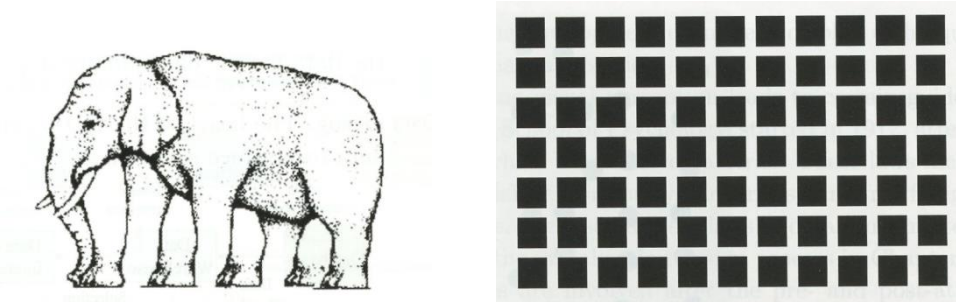
Uživatelé interagují s vizualizací na základě toho, co sami vidí a jak si to interpretují. Proto správné pochopení procesu vidění pomáhá produkovat lepší zobrazení. Asi polovina mozku pracuje s vizuálním vjemem, který je většinou zpracováván paralelně a spojitě – např. barva, textura, pohyb. Zhruba 8 procent mužů je barvoslepých (daltonismus) či mají jinou obdobnou vadu zraku, z čehož vyplývá, že kvalitní vizualizační software by měl umožňovat změnu barvy zobrazovaných dat.



Obrázek opičky vlevo je ukázkou červenozelené barvosleposti, vpravo pak normální barevné vidění.

Jedním z hlavních problémů, se kterými se vizualizace potýká, jsou omezené schopnosti lidského oka. Proto je při procesu vizualizace nutné brát v úvahu tuto skutečnost. Kvalitně zpracovaný obrázek může být podnětný, ale pokud obsahuje nejednoznačnosti, není téměř k ničemu. Hlavním poznatkem je tedy skutečnost, že nemá cenu mapovat datovou hodnotu na

grafický atribut, který lidské oko nedokáže řádně zpracovat a kvantifikovat (pokud ovšem nezobrazujeme přímo optické klamy ☺).



Vnímání v kontextu vizualizace

Nyní se zaměříme na vliv barvy, textury a pohybu na proces vizualizace.

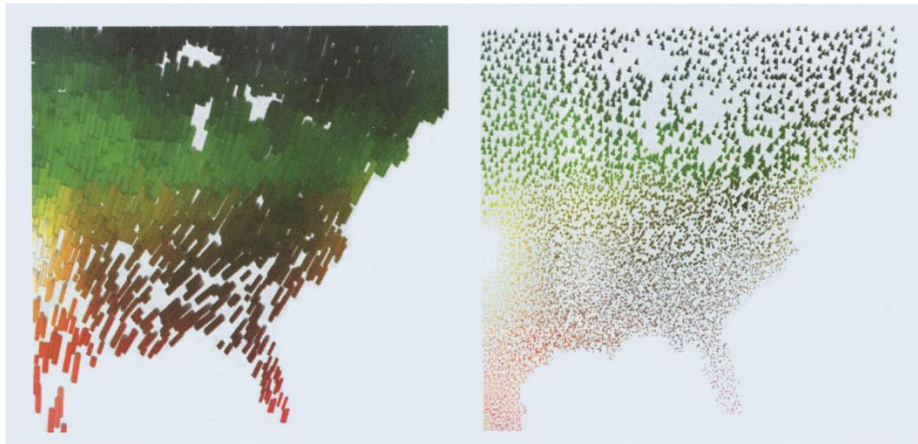
Barva

Barva je jednou z nejběžnějších součástí návrhů vizualizací. Sofistikovanější metody vizualizace umožňují uživateli řídit rozdíl mezi jednotlivými barvami podle toho, jak je subjektivně vnímá. To zahrnuje:

- Vyvážení barev – uniformní rozložení barvy v celé použité škále.
- Rozlišitelnost – v dané diskretní kolekci barev je každá barva stejně dobře odlišitelná od ostatních (žádná barva není „jednodušeji“ nebo „hůře“ identifikovatelná).
- Flexibilita – barvy lze vybírat z jakéhokoliv místa barevného prostoru (tzn. technika není omezena např. pouze na výběr odstínů zelené nebo červené).

Existuje řada základních barevných prostorů, které jsou všeobecně známé – např. RGB, RGBA, CMY, CMYK, HSV (hue, saturation, value), HLS. Prostor CIE LUV odpovídá subjektivně vnímaným rozdílům intenzity mezi barevnými odstíny. CIE Lab – vnímaná barva je určena souřadnicemi v 3D barevném prostoru.

Zaměříme se ale na méně běžný a známý barevný prostor, kde Healey a Enns ukázali, že je důležité řídit vzdálenost barev, lineární oddělení a barevné kategorie. Příklad použití je ukázán na obrázku, kde jsou záznamy historického klimatu nad východní částí Spojených států, kde barva reprezentuje teplotu (modrá a zelená = zima, červená a růžová = teplo). Svítivost (jas) označuje rychlost větru (světlejší = silnější vítr), orientace je namapována na srážky (větší vychýlení odpovídá silnějším srážkám), velikost vyznačuje oblačnost (větší = větší oblačnost), frekvence mrazů je namapována na hustotu (hustší = vyšší mrazy).



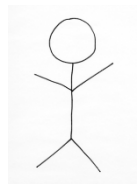
Textura

Textura je často vnímána jako jedna z vlastností vizualizovaných dat. Avšak podobně jako barvu je možné texturu rozložit do více částí, které uživatelé vnímají. Počítačové vidění rozlišuje vlastnosti textury jako pravidelnost, směrovost, kontrast, velikost a hrubost (drsnost).

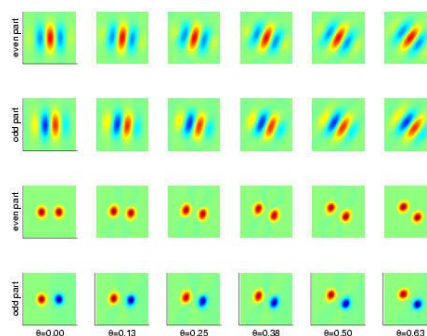
Textura se dá využít mnoha zajímavými a netradičními způsoby. Jednou z technik je zavedení lidského vnímání do jednotlivých dimenzí datových atributů. To ve výsledku umožní měnit vizuální podobu takové textury v závislosti na vstupních datech.

Příklady:

Grinstein et al. použil pro vizualizaci multidimenzionálních dat postavku panáčka, jehož končetiny kódují hodnoty atributů uložených v datových elementech. Když takovéto panáčky naskládáme na celý displej, vytvářejí texturové vzory, jejichž prostorové uspořádání, shlukování a ohraničení odpovídají korespondenci mezi atributy. Podobným případem jsou i tzv. Chernoffovy obličejce (<http://graphics8.nytimes.com/images/2008/04/01/science/0401-sci-PROFILE.lg.jpg>).



Ware a Knight navrhli Gaborovy filtry, které mění svoji orientaci, velikost a kontrast na základě hodnot tří nezávislých datových atributů.



Pohyb

Pohyb je třetí vizuální vlastností, kterou lze velmi dobře vnímat. Pohyb je využíván v mnoha oblastech vizualizace, jako například animace částicových systémů, animace změny barvy nebo piktogramů pro zobrazení směru a velikosti vektorových polí. Podobně jako u barvy a textur nás zajímá identifikace jednotlivých dimenzí (perceptual dimensions) pohybu a jejich efektivní použití. Následující tři vlastnosti pohybu byly rozsáhle studovány odborníky na psychofyziku: kmitání (blikání, chvění - flickering), směr pohybu a rychlost pohybu.

Z pohledu vizualizace nás zajímá blikání o frekvencích F , které jsou pozorovatelem vnímány jako diskrétní záblesky.

Bylo vytvořeno mnoho studií o využitelnosti a užitečnosti pohybu při vizualizaci, například Nakayama a Silverman, Driver et al. a mnoho dalších. Obecně studie prokázaly, že různé změny v obraze přitahují pozornost a zlepšují proces vnímání. Samozřejmě i využití pohybu při vizualizaci se musí řídit určitými zákonitostmi, aby splnil svoji funkci. Využívány jsou například změny tvaru, barvy a rychlosti pohybu, pokud chceme pozorovatele upozornit na význačnou skutečnost, které by si měl všimnout. Důležitá je rovněž pozice animovaného objektu ve scéně – rozdílný vjem máme z takového objektu v centru zájmu a objektu vnímaného periferním viděním. Součástí studií bylo i posouzení rušivosti tzv. „druhotných“ pohybů ve scéně. Bylo zjištěno, že blikání je nejméně rušivé, pak následuje oscilující pohyb, rozbíhání objektů a nejrušivější je pohyb objektů na velké vzdálenosti.