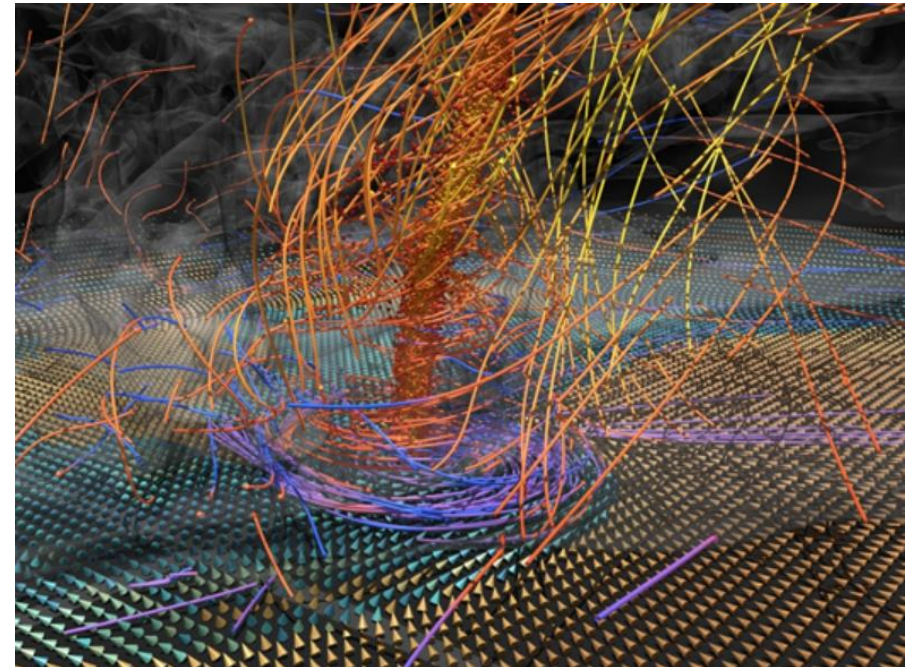
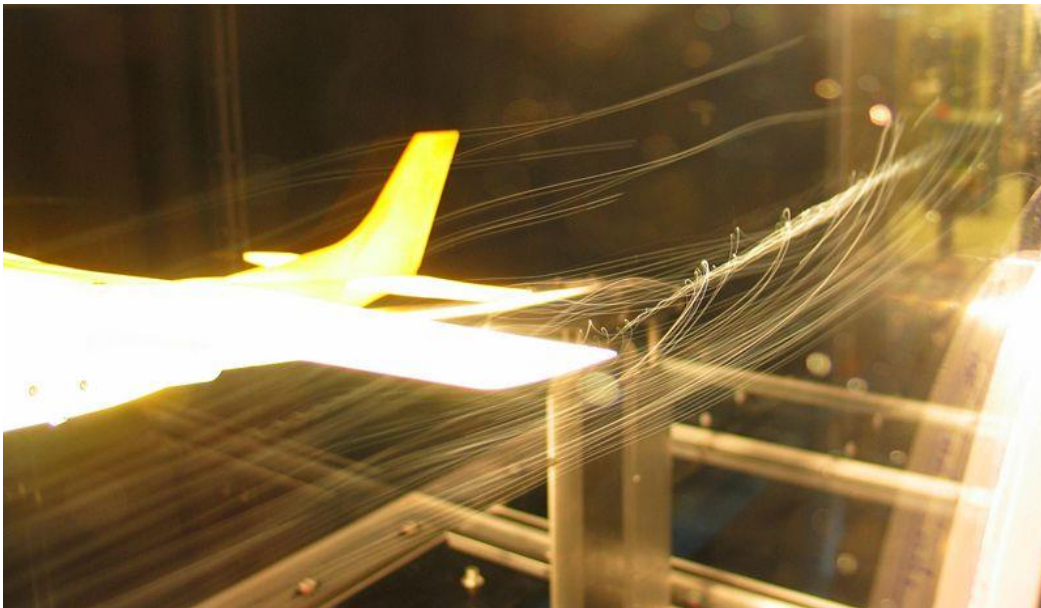


## 2.5 Postupci vizualizacije višedimenzijskih podataka

Prikaz vektorskog 2D, 3D polja

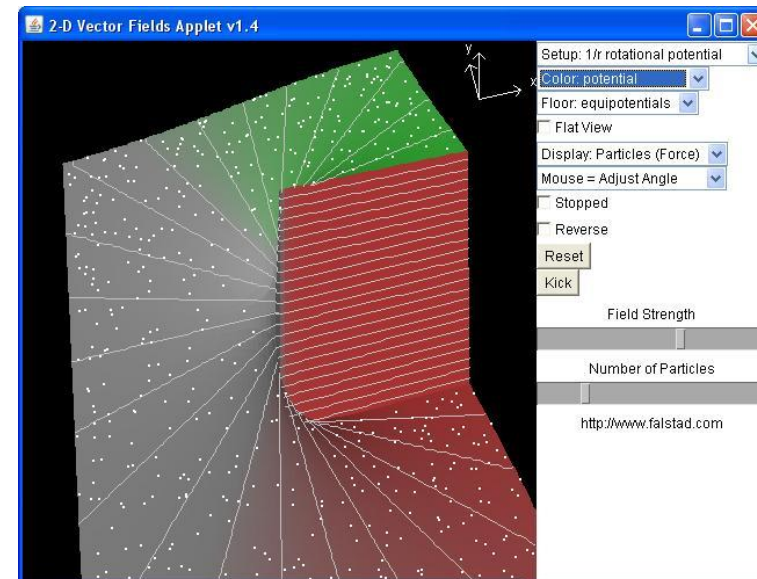
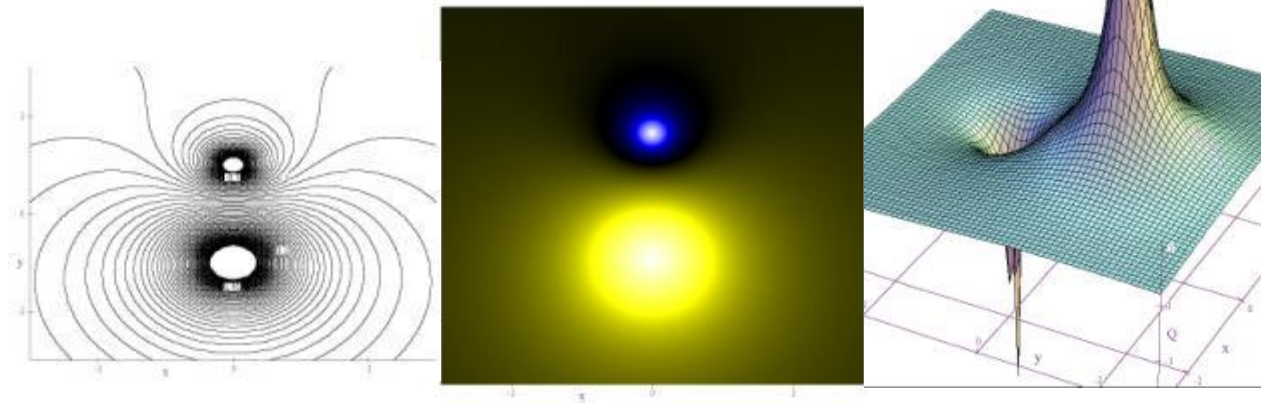
Prikaz strujanja

- dinamika fluida (pod-disciplina mehanike fluida)
  - proučava gibanje plinova (aerodinamika) i tekućina (hidrodinamika)  
(računanje sile i momenta kod zrakoplovi, predviđanje atmosferskih prilika - tornado, strujanja oceana)
  - fluidi (za razliku od krutih tijela) ne dolaze u ravnotežno stanje sa silama koje djeluju



# Prikaz vektorskog 2D polja

- u skalarnom polju za poziciju  $T(x,y)$  znamo iznos polja, vektor – smjer određen je promjenom skalarne veličine pa tako dobijemo vektorsko polje
- polje djeluje na objekte u polju (ovisno o vrsti polja gravitacijsko, magnetsko, električno)
- 2D prikazi konturama, bojama, visinskom mapom (opisujemo jačinu djelovanja polja – razmak kontura, intenzitet boje, nagib terena)
- dvodimenzijско polje prikazujemo u 3D kako bi koristili intuitivnu predodžbu potencijalne energije prikazane visinskom razlikom
- dinamika djelovanja polja – simulacija djelovanja na čestice <http://www.falstad.com/vector/> (1/r rot. pot)



## Pridjeljivanje interpretacije grafičkim elementima

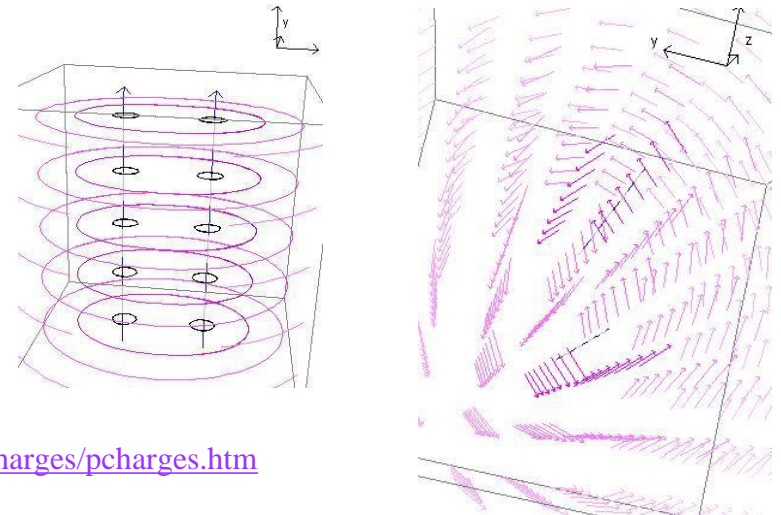
- boji (intenzitetu) – jačina polja, potencijal, vrtložnost-iznos (*curl*), divergencija, ništa
- teksturi podloge – linije u smjeru vektora polja – crte toka (*streamlines*), mreža, ekvipotencijalne linije
- prikazni elementi (oblik i gibanje) – čestice, vektorsko polje (vektorčići), dinamika vrtložnosti
- interpretacija miša (interaktivnog rada) – promjena pogleda, zoom, određivanje područja za izračun linijskog (površinskog) integrala
- varijable – brzina gibanja čestica, količina čestica

## Prikaz vektorskog 3D polja

- 3D – linije, strelice, čestice, izoplohe, boje (prozirnost), <http://www.martinjucker.com/webgl.php>
- dodatni presjeci kroz prostor kako ne bi zaklonili informaciju ili prenatrpali prikaz

<http://www.falstad.com/vector3d/>

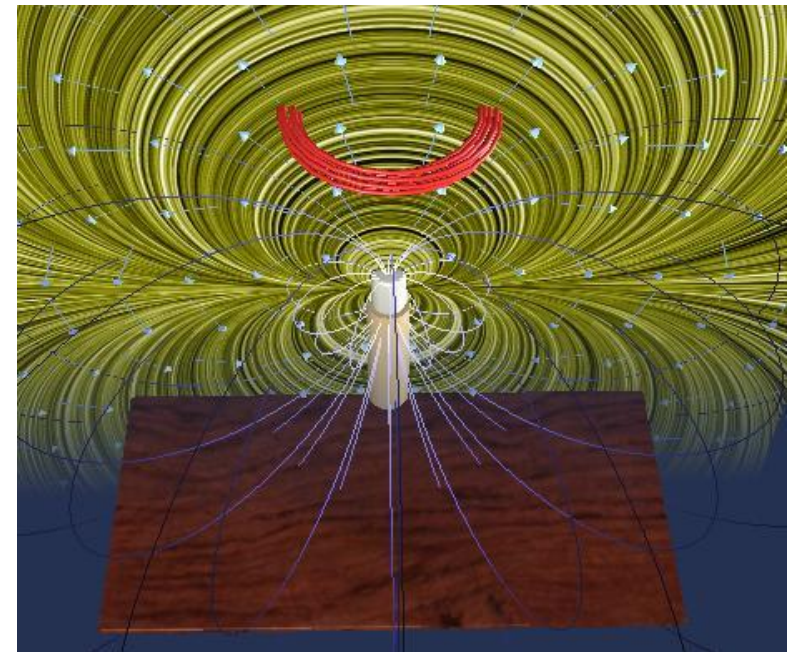
<http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/visualizations/electrostatics/pcharges/pcharges.htm>





# Prikaz vektorskog 3D polja

- vektorsko polje (elektromagnetsko)
  - smjer djelovanja u prostoru (prikaz silnica magnetskog polja)
  - ekvipotencijalne plohe
  - dinamička razmatranja (pad crvenog nemagnetskog prstena vodiča zbog gravitacije na fiksni magnet → inducira se napon → struja)
    - promjena jakosti magnetskog polja magneta utjecat će na magnetski tok odnosno na promjenu magnetskog toka prisutnu pri padu prstena
    - promjena otpora prstena
  - <http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/visualizations/faraday/fallingcoilapp/fallingcoilapp.htm>
  - prikaz
    - smjera polja (vektorima)
    - struja u prstenu (graf)
    - magnetsko polje (2D presjek –plavo i 3D linije - plavo)



# Dinamika fluida

- opisano jednačinama stanja (Navier Stokes)
- varijable – tlak  $p(t, \mathbf{r})$ , gustoća  $\rho(t, \mathbf{r})$ ,  $\nu$  ..viskoznost (med, voda, sir), temperatura  $T(t, \mathbf{r})$ ,  
 $t$  ....vrijeme,  $\mathbf{r}$  .... promatrana točka  $\in \mathbf{R}^3$ ,  $\mathbf{u}(t, \mathbf{r})$  .... brzina toka fluida – vektorsko polje

$$\mathbf{u}(t, \mathbf{r}) = (u_x(t, \mathbf{r}), u_y(t, \mathbf{r}), u_z(t, \mathbf{r}))$$

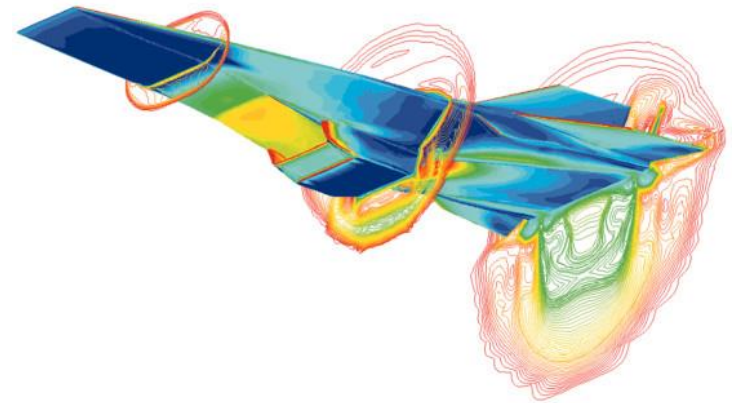
- nestlačivi fluidi  $\rho = \text{const.}$  (*incompressible*)
- miran tok – vremenski stacionaran (*steady flow*)
- jednoliki tok (*uniform flow*) – brzina se ne mijenja u  $\mathbf{R}^3$
- nerotacijski tok - vrtložnost toka  $\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{u} = 0$
- solenoidni - divergencija toka  $\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} = \frac{\partial u_y}{\partial t} = \frac{\partial u_z}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial k} = \frac{\partial u_y}{\partial k} = \frac{\partial u_z}{\partial k} = 0, \quad k \in \{x, y, z\}$$

## Prikaz strujanja

- Crte toka
- Crte putanje
- Crte obrisa

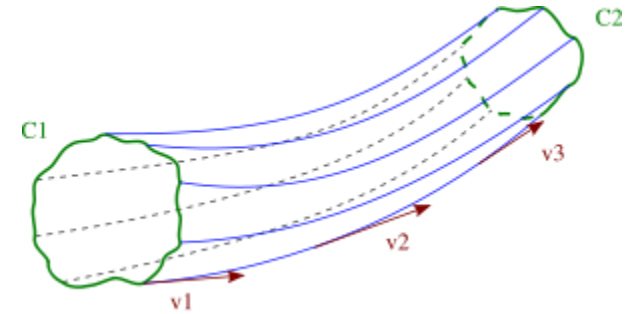


## Crte toka (*streamlines*) [http://web.mit.edu/fluids-modules/www/potential\\_flows/VFmanip2/Applet-lec02-a.html](http://web.mit.edu/fluids-modules/www/potential_flows/VFmanip2/Applet-lec02-a.html)

- za svaki vremenski trenutak  $t$  ima u svakoj točki  $\mathbf{r}$  fluida isti smjer kao brzina toka fluida  $\mathbf{u}(t, \mathbf{r}) = (u_x(t, \mathbf{r}), u_y(t, \mathbf{r}), u_z(t, \mathbf{r}))$  – plave linije

$$\frac{d\mathbf{r}}{ds} = \lambda \mathbf{u}(t, \mathbf{r}(s))$$

- slika gibanja u dotičnom vremenskom trenutku
- cijevi toka (*streamtube*) – mogu mijenjati presjek



## Crte putanje (*pathlines*) [http://web.mit.edu/fluids-modules/www/potential\\_flows/VFmanip2/Applet-lec02-b.html](http://web.mit.edu/fluids-modules/www/potential_flows/VFmanip2/Applet-lec02-b.html)

- skup prostornih točaka kroz koje je element fluida  $r_q$  prošao tijekom određenog vremenskog intervala

$$\frac{d\mathbf{r}_q}{dt} = \mathbf{u}(t, \mathbf{r}_q(t)), \quad \mathbf{r}_q(t_0) = \mathbf{c}$$

- kao da pratimo putanju ispuštene čestice u intervalu  $t_1-t_2$ .

## Crte obrisa (*streaklines*)

- skup elemenata fluida koji su u nekom ranijem vremenskom trenutku prošli kroz točku  $\mathbf{c}$

$$srkln(t_0, \mathbf{c}) = \left\{ \mathbf{r}_q(t_0): \frac{d\mathbf{r}_q}{dt} = \mathbf{u}(t, \mathbf{r}_q(t)), \quad \mathbf{r}_q(t_q) = \mathbf{c}, \quad 0 \leq t_q \leq t_0 \right\},$$

- kao da ispuštamo boju u nekoj točki i pratimo do kuda je boja došla

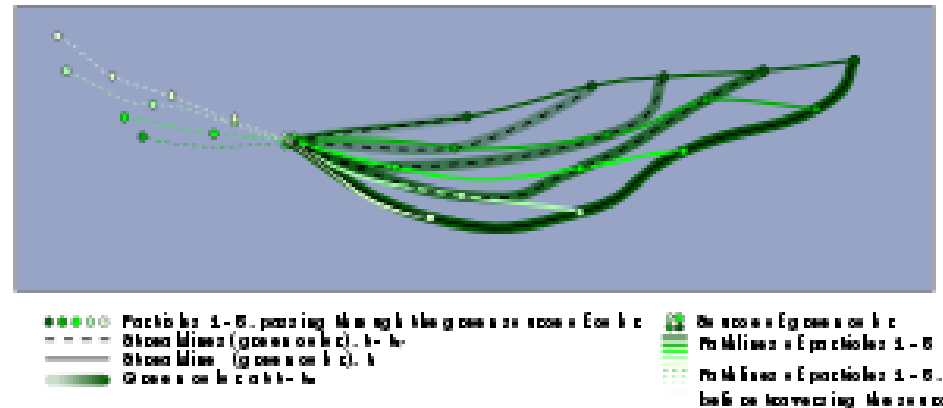
## Crte putanje

- putanja kolju je prošla promatrana čestica – svjetlo-zeleno

## Crte obrisa

- promatrane točke (linija) do kuda je došao skup čestica koje su sve prošle kroz točku  $c$  tamno-zeleno (<https://engineering.purdue.edu/~wassgren/applet/>)
- miran tok – vremenski stacionaran – crte toka, putanje i obrisa se podudaraju
- crte toka – za neki  $t$  – nikada se ne presijecaju (jer brzina toka za  $\mathbf{r}$  i  $t$  ne može imati dvije različite vrijednosti)
- crte putanja – mogu se presijecati samo u slučaju nemirnog toka
- crte toka – možemo prikazati tako da zamrznemo vremenski trenutak i iscrtavamo crte putanje u vektorskom polju u promatranom trenutku

<http://www.3d-xplormath.org/j/applets/en/index.html>  
(ODE(1D) 2nd Order - [User ODE 1D 2nd Order](#))



# Prikaz strujanja

- LIC (*Line Integral Convolution*)  
(<http://facstaff.13.drake.edu/turness/anim.html>)
  - duž crta toka izračunavamo integral vrijednosti (primijenimo konvoluciju na podatke)
  - prikaz u ravnini, na površini ili u volumenu podataka
- <http://www.javaview.de/demo/PaLIC.html>

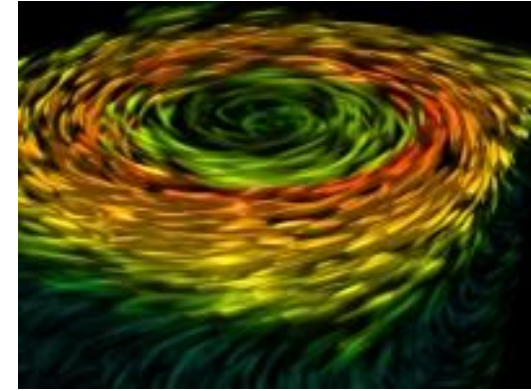


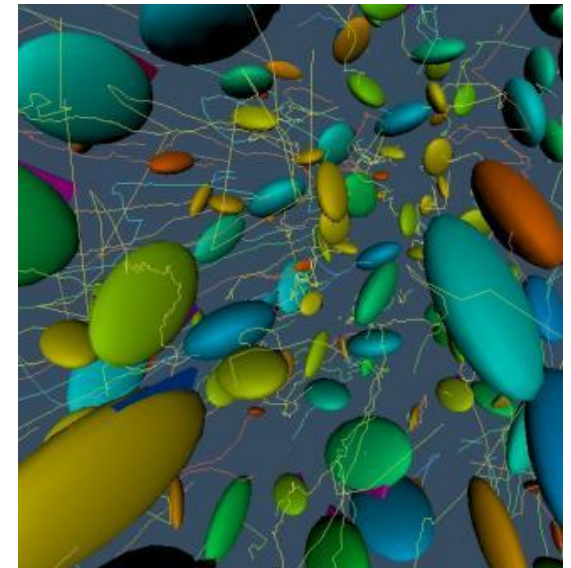
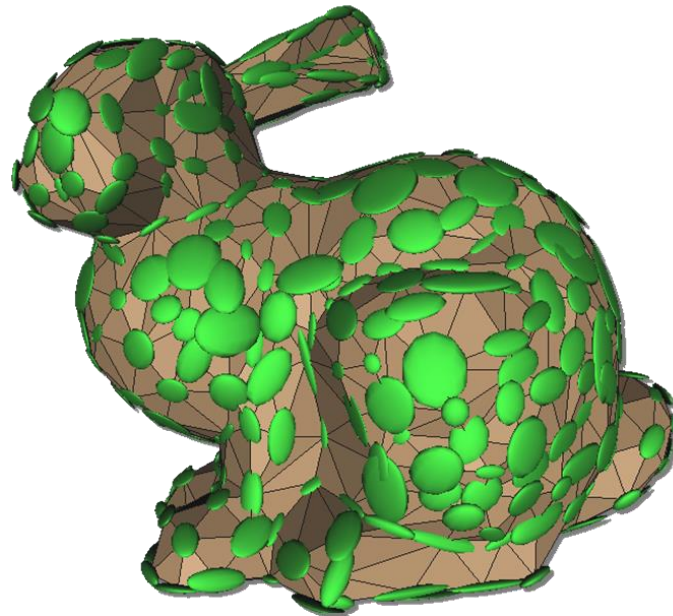
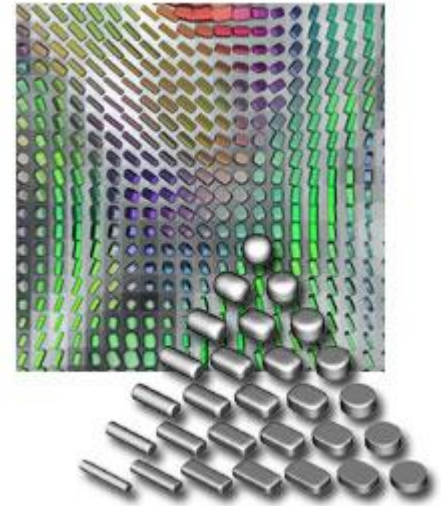
Figure 5: Photograph of flowers processed using LIC with  $L$  equal to 0, 5, 10 and 20 (left to right, top to bottom).





# Prikaz polja tenzora

- tenzor – prikazuju se najčešće tenzori u obliku matrice  $3 \times 3$ , 3 ortogonalna svojstvena vektora i 3 svojstvene vrijednosti
- pridruživanje oblika
  - određena orijentacija u prostoru
  - određena izduženost
  - boja (promjena boje)
- interpretacija tenzora
  - zakrivljenost



# Dimenzionalnost podataka

Skalarno polje  $f(x, y, z, t, v)$

- 3-prostorne dimenzije, vrijeme, pridijeljena skalarna vrijednost
- prikazivanje izo-vrijednosti, presiječne ravnine, upotreba boja, prozirnosti i kontura

Vektorsko polje  $f(x, y, z, t, \mathbf{v}_3)$

- 3-prostorne dimenzije, vrijeme, pridijeljen vektor
- prikaz vektora, crte toka, putanje i obrisa, presiječne ravnine, LIC

Tenzorsko polje  $f(x, y, z, t, \mathbf{T}_6)$

- 3-prostorne dimenzije, vrijeme, pridijeljen tenzor  $\mathbf{T}$  – matrica (3x3) – 6 stupnjeva slobode DOF, moguće je koristiti i boju/promjenu boje u prikazu elipsoidima

# Redukcija dimenzionalnosti podataka

## Presjek kroz podatke

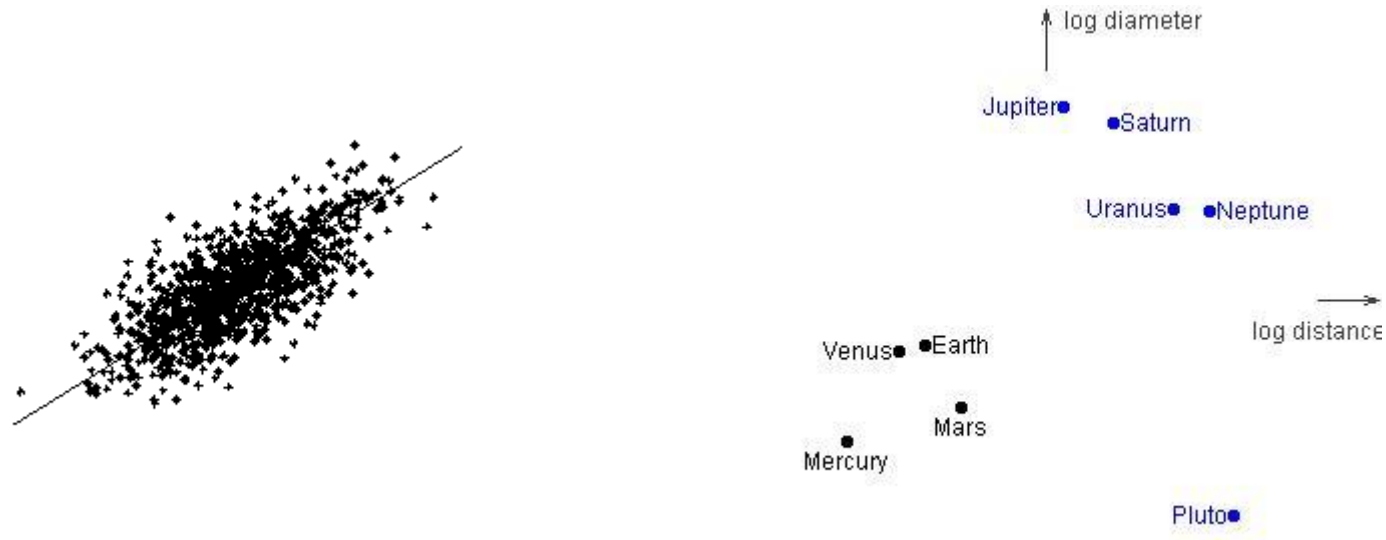
- fiksiranje nekih vrijednosti  $f(x_1, x_2, c_3, c_4, c_5)$ ,  $x_3=c_3$ ,  $x_4=c_4$ ,  $x_5=c_5$ , time dobijamo poprečni presjek kroz podatke npr.  $f(x, y, 5)$ ,  $z=5$
- gubimo cjelovitost podataka

## Projekcija na ravninu (hiper-ravninu)

- ortografska projekcija svih podataka (ili iz zadanog intervala) na ravninu

## Redukcija dimenzionalnosti analizom glavnih komponenti

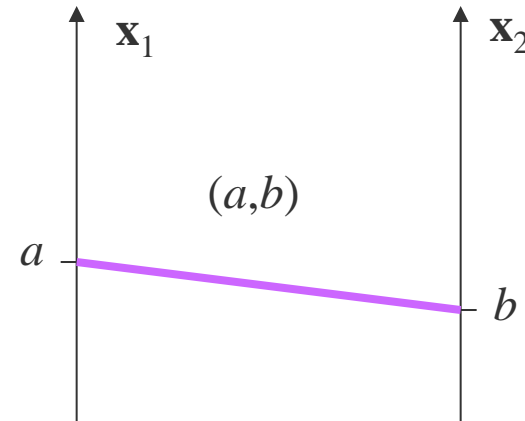
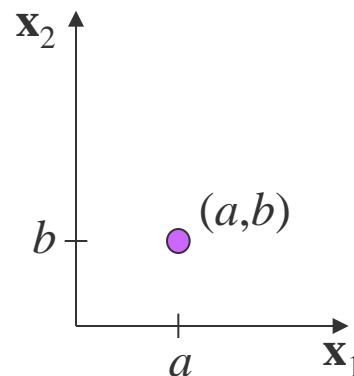
- PCA (*Principal Component Analysis*) <http://www.cs.mcgill.ca/~sqr/dimr/dimreduction.html>



# Paralelne koordinate

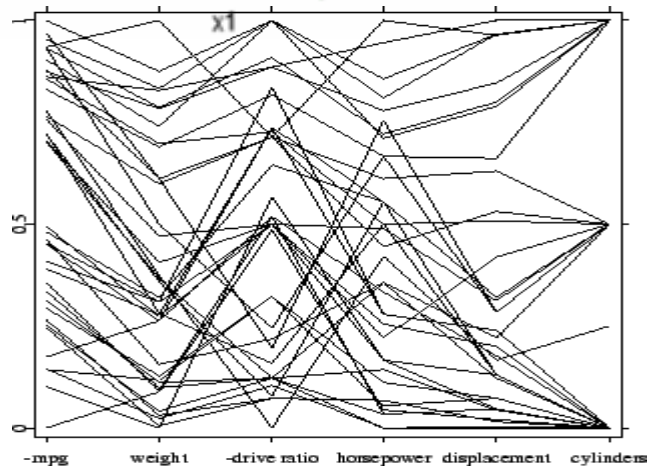
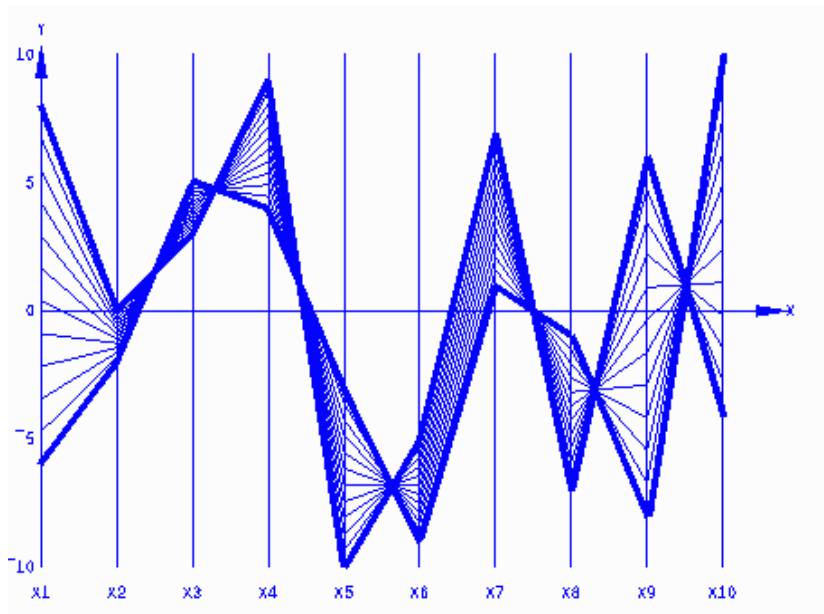
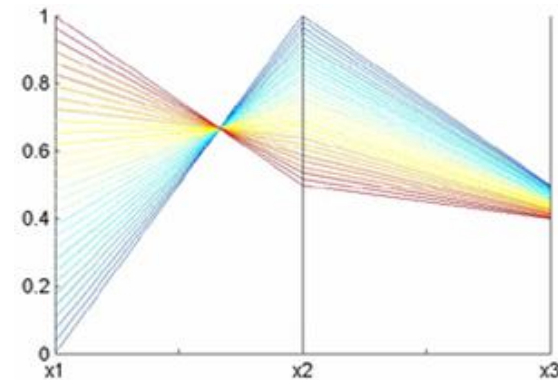
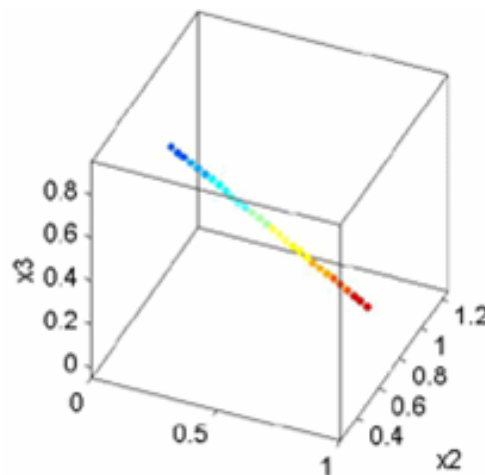
## Kartezijeve koordinate

- ortogonalne osi  $x_1, x_2$
- prostorna među-ovisnost
- ograničen broj osi (3)



## Paralelne koordinate

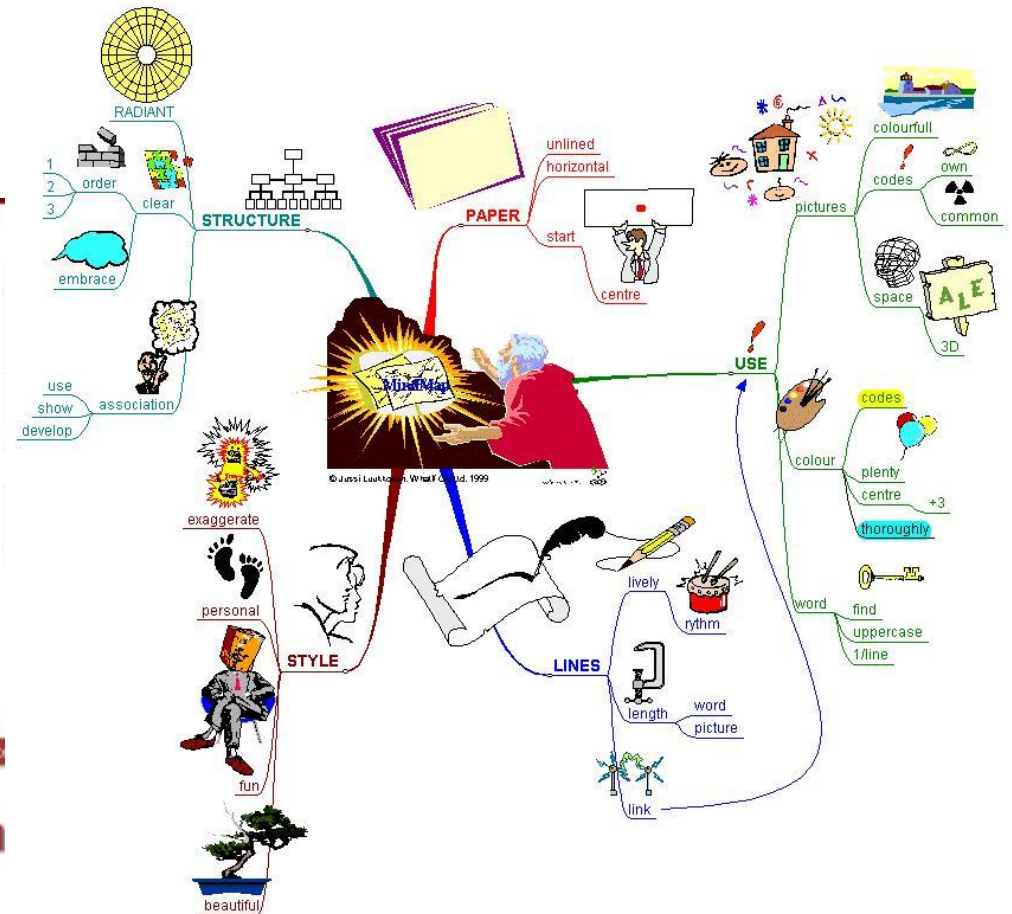
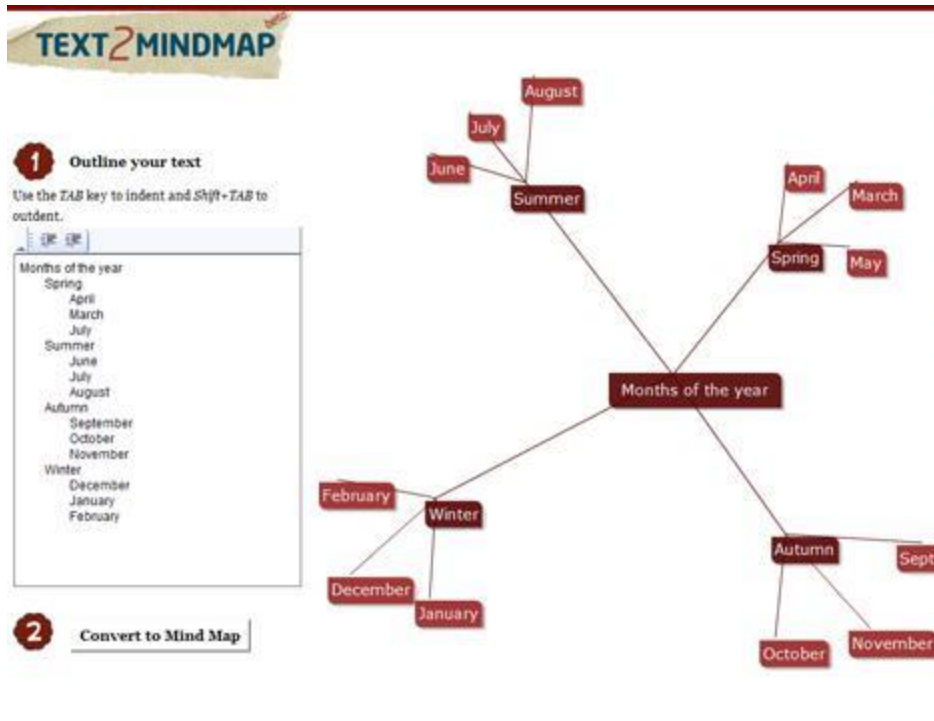
- paralelne osi  $x_1, x_2, \dots$
- prikazuju trend
- proizvoljan broj osi





# Vizualizacija informacija

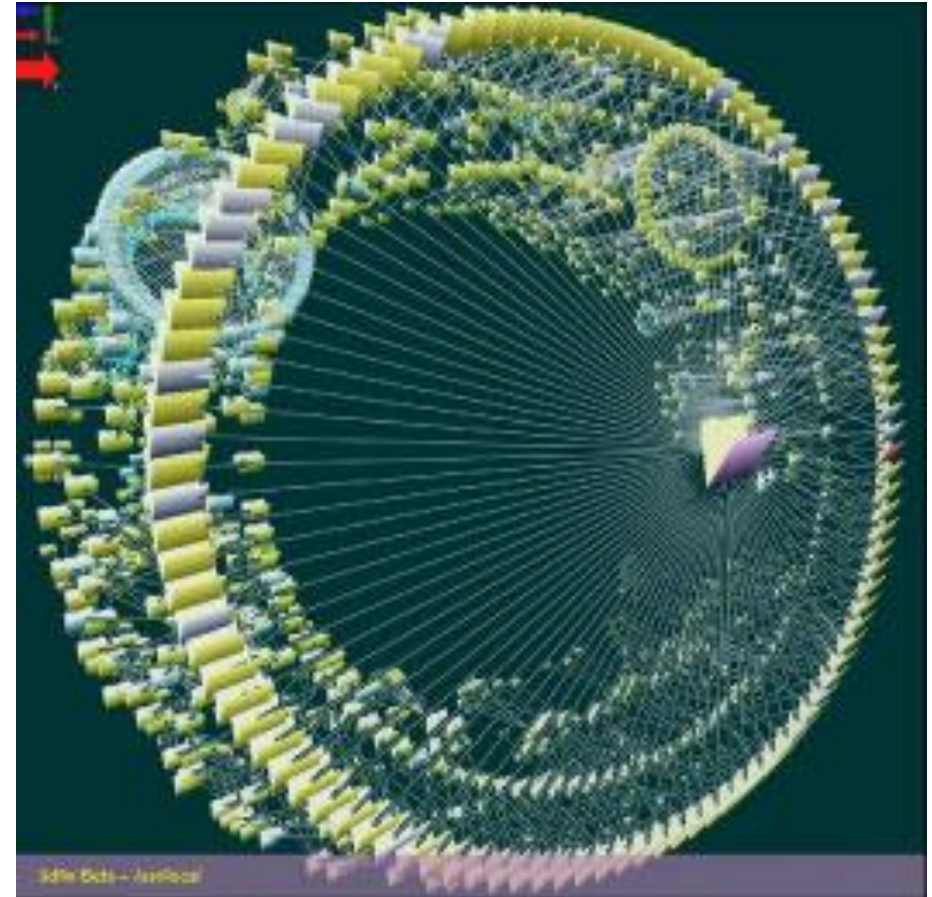
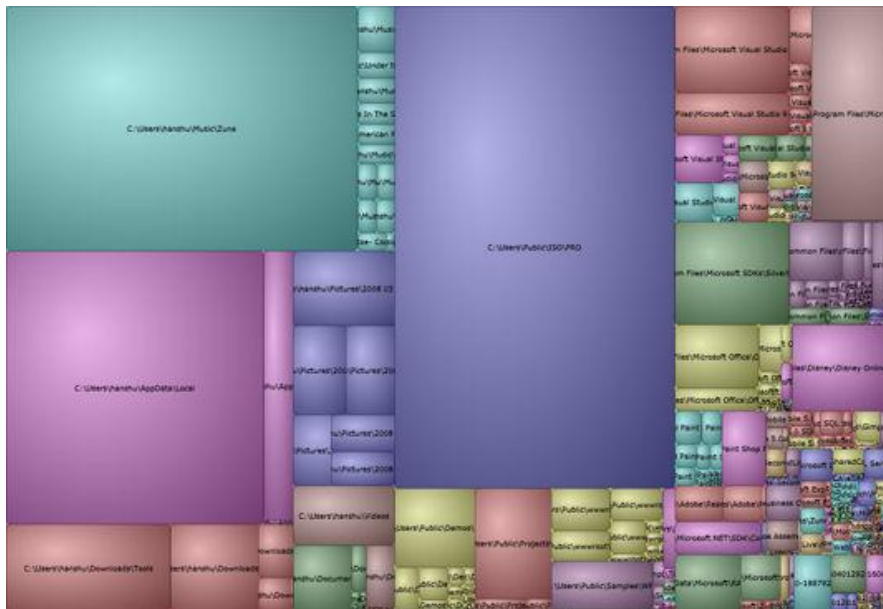
- mentalne mape
  - organiziranje informacije, određivanje grupa i povezanosti (stvaranje viših apstrakcija)
  - stvaranje prikaza s relacijama između pojmova koji se prikazuju (lakše za pamtiti)
  - pamćenje puta u labirintu (životinje do hrane), mjesta gdje smo parkirali auto
  - problem razdijelimo u komponente
- strukturiramo



- mentalne mape
  - različite apstrakcije istog objekta
    - apstrakcija strukture, ponašanja, interakcije (npr. mačka)
  - različita strukturna povezanost u skupu
    - različite grupe – obitelj, posao, hobi ...
  
- vizualizacija podataka dobivena pretraživačima
  - vizualizacija popularnosti pretraživača  
<http://blog.mozilla.com/website-archive/2011/06/14/glow-1-0/>
  - dnevnih aktivnosti ljudi u svijetu
  - <https://www.wunderlist.com/world-productivity-report/>

# Prikaz apstraktnih podataka

- datotečni sustav (*Innolab 3D file manager*) otvorena datoteka je ljubičasta
- TreeMap - veličina pravokutnika je proporcionalna veličinom odgovarajućeg direktorija
- programski jezik
- <http://www.dangermouse.net/esoteric/piet.html>

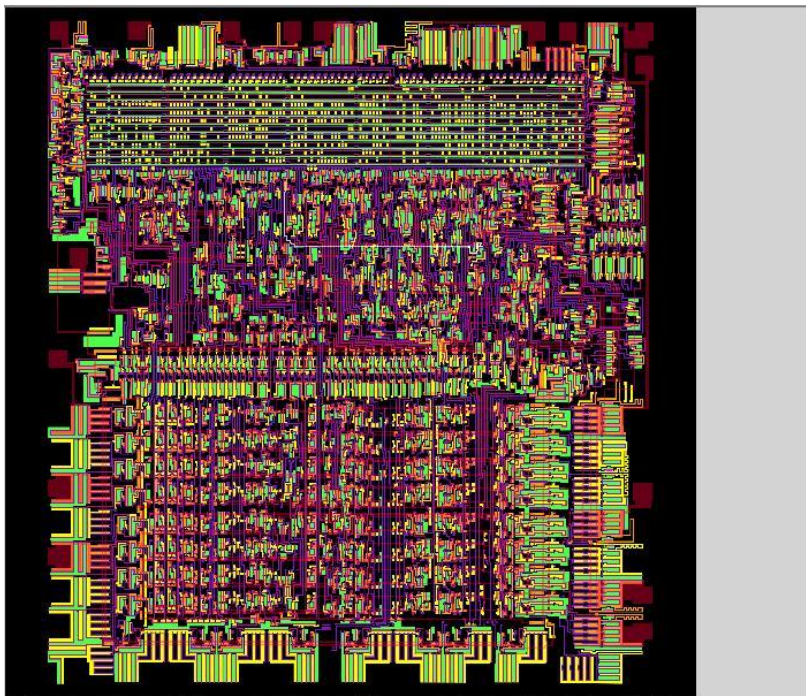
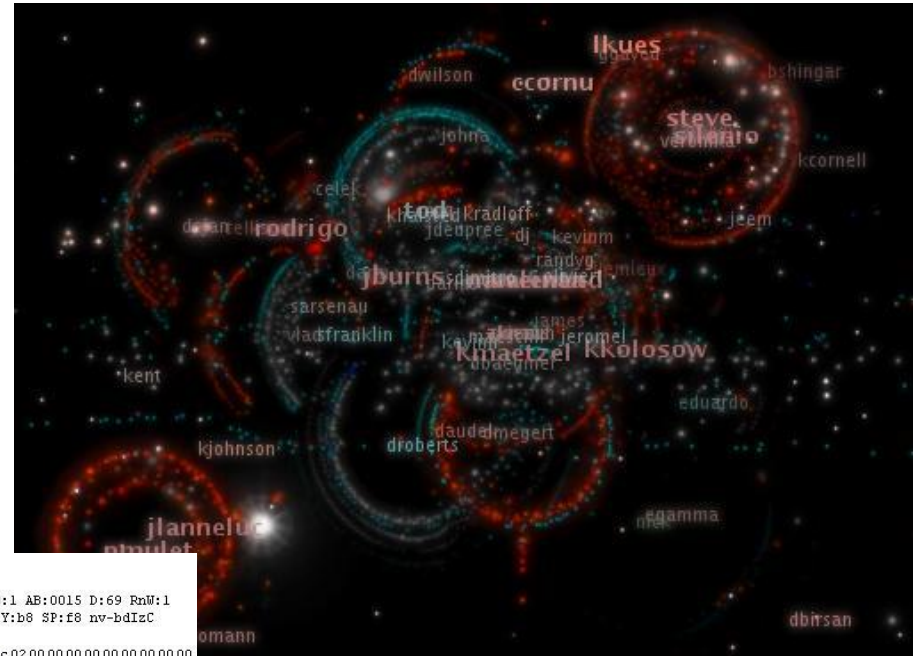




# Prikaz apstraktnih podataka

- vizualizacija razvoja programskog koda (datoteke različitih boja zaiskre kada ih developeri pošalju)
- [http://www.youtube.com/watch?v=0b5TV\\_MX83Y](http://www.youtube.com/watch?v=0b5TV_MX83Y)
- [http://www.youtube.com/watch?v=IQPuU\\_YtN8Q](http://www.youtube.com/watch?v=IQPuU_YtN8Q)
- izvođenje strojnog programskog koda na procesoru

<http://visual6502.org/JSSim/index.html>



```
halfcyc:32701 phi0:1 AB:0015 D:69 RnW:1
PC:0015 A:d5 X:48 Y:b8 SP:f8 nv-bdIzC

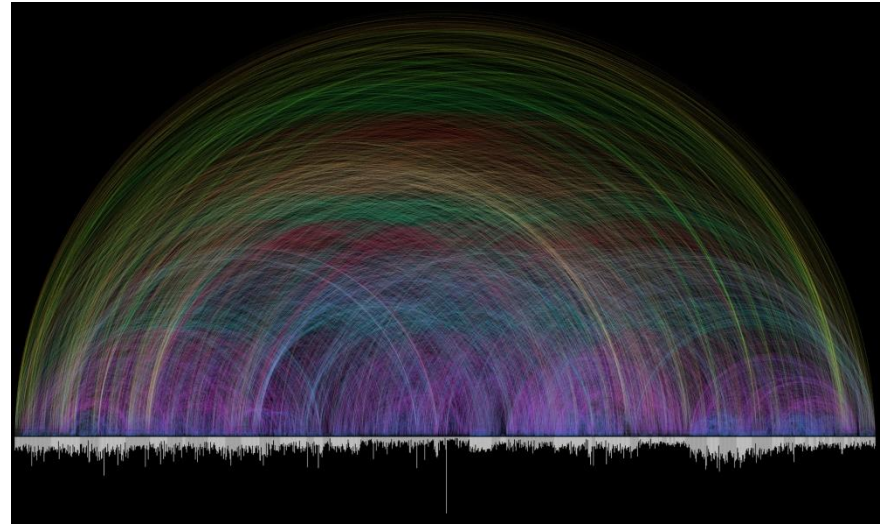
0000: a9 00 20 10 00 4c 02 00 00 00 00 00 00 00 00
0010: e8 88 e6 40 38 69 02 60 00 00 00 00 00 00 00
0020: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0030: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0040: 48 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0050: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0060: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0070: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0080: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0090: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00a0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00b0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00c0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00d0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00e0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00f0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0100: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0110: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0120: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0130: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0140: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0150: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0160: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0170: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0180: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0190: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01a0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01b0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01c0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01d0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01e0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01f0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 04 00 36 02 00 00
```

(switched diffusion)  (grounded diffusion)  (powered diffusion)  (polysilicon)  (diode)



## Prikaz apstraktnih podataka

- vizualizacija sadržaja biblije - svaki stupac na horizontalnoj osi predstavlja određeni lik iz Biblije. Veličina stupca predstavlja broj interakcija, dok lukovi povezuju likove koji sudjeluju likove u interakciji



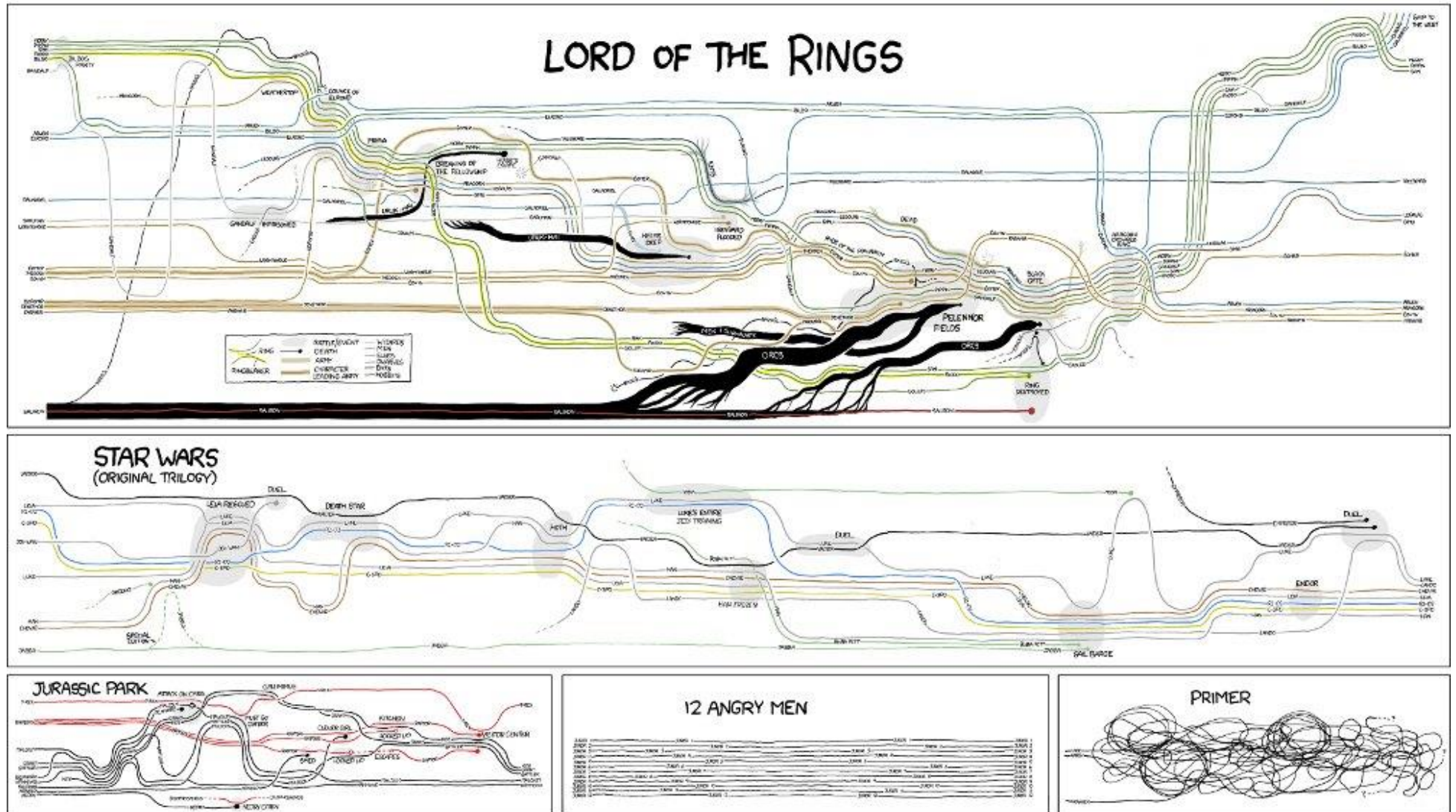
## Vizualizacija teksta

- prikaz ključnih riječi dokumenta - veličina ključne riječi je proporcionalna brojem njenog pojavljivanja u dokumentu.



# Prikaz apstraktnih podataka

THESE CHARTS SHOW MOVIE CHARACTER INTERACTIONS. THE HORIZONTAL AXIS IS TIME. THE VERTICAL GROUPING OF THE LINES INDICATES WHICH CHARACTERS ARE TOGETHER AT A GIVEN TIME.





# Geografski povezana vizualizacija, GIS

3D modeli gradova ili terena (*VE virtual env*),

- stvarni gradovi,  
<http://brunoimbrizi.com/experiments/#/07>
- različite informacije o infrastrukturi  
(vodovod, energetska, telefonska, kanalizacija, ...)
- antički Rim (<http://earth.google.com/rome/>)
- utjecaj promjena (položaj sunca)
- superponiranje promjenjivih informacija  
(npr. vremenska prognoza)
- unutrašnjost objekata



# Geografski povezana vizualizacija - Kartogrami

## tematske mape

- geoprostorne koordinate – neka vrijednost
- obično podaci o broju stanovnika, BDP, količina padalina
- promjena (deformacija) geografskih regija tako da konačna površina bude proporcionalna pridruženoj veličini

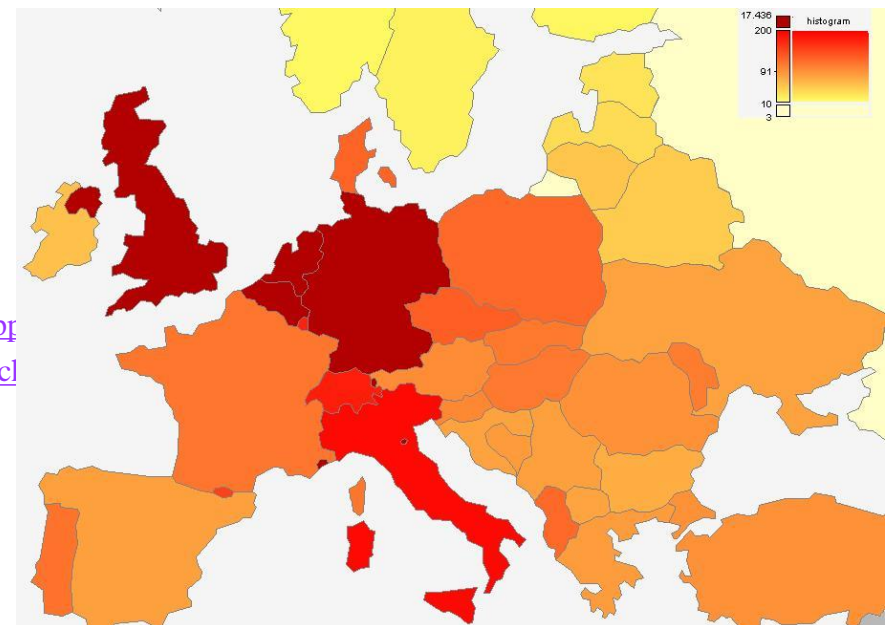
## izrada kartograma

- očuvanje topološke povezanosti (regije su poligoni – čuvamo topološku strukturu) – čuva susjedstvo
  - relativna pozicija - očuvana
  - očuvanje sličnog oblika
- (kriterij sličnosti – zakrivljenost)

- <http://www.ravi.io/us-population-trends-cartogram>
- <http://www.geog.ucsb.edu/~sara/html/mapping/election/election04/apr>
- <http://saintamh.org/maps/housing/index.shtml.en#cfg=ams/sale-sqm/cl>

## vremenske karte

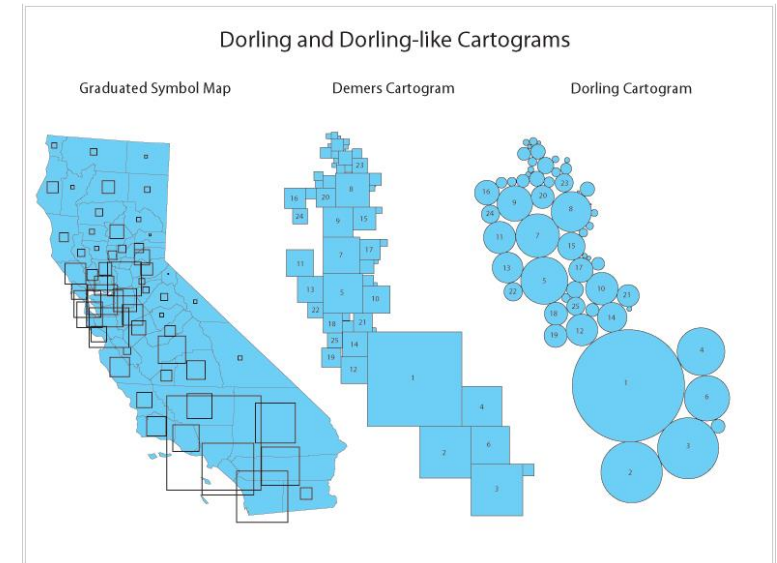
- primjer povijesti imperija
- <http://www.mapsofwar.com/ind/imperial-history.html>





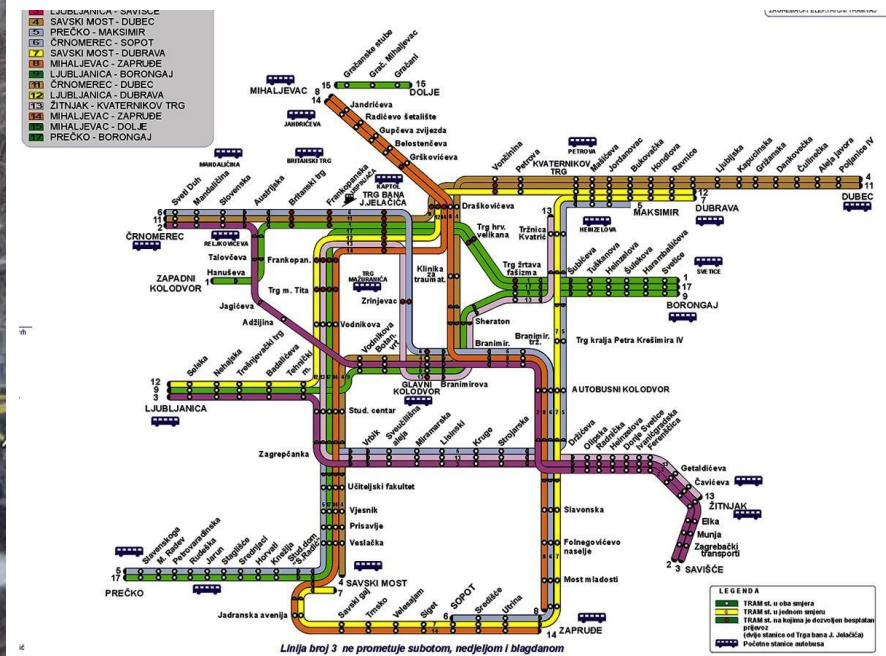
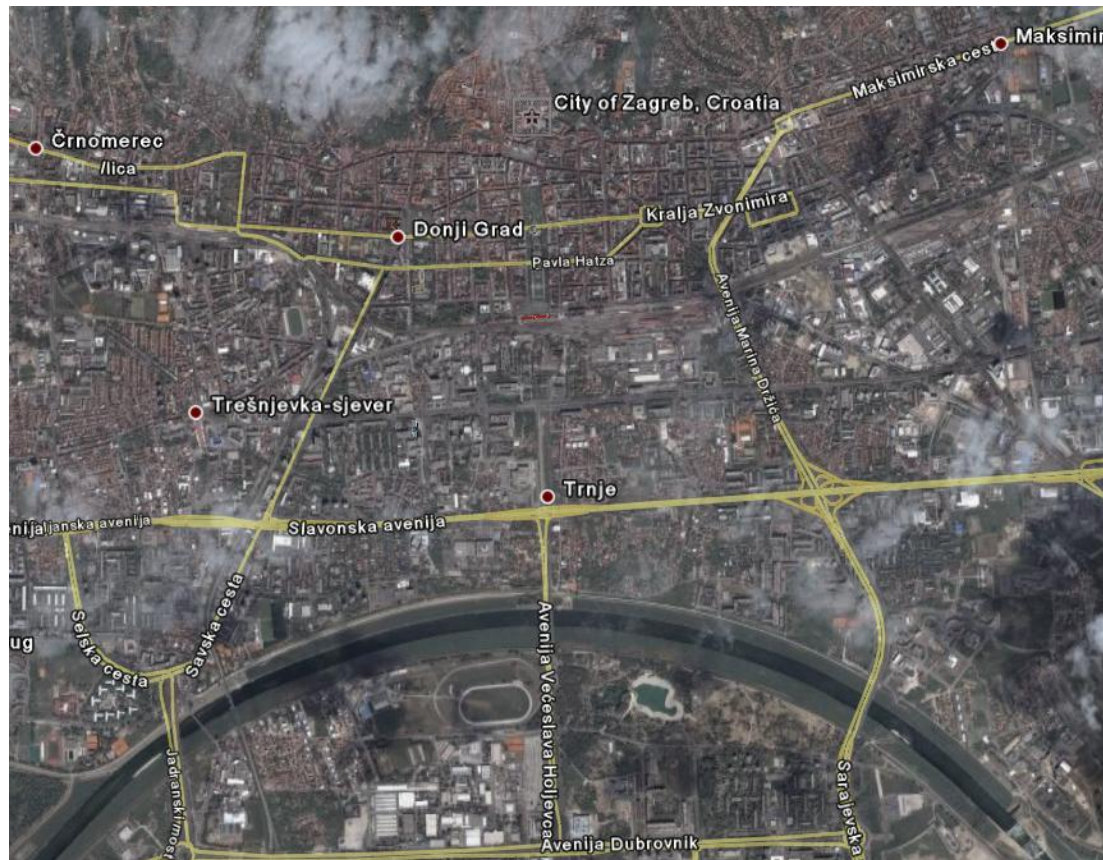
# Kartogrami

- neuniformno rastezanje, promjena površine tako da bude proporcionalna nekoj veličini
- primjer: površina – broj stanovnika
- Dorlingov kartogram
- omogućuje prostor za prikaz teksta, oznaka, alarma



# Primjer: mreža tramvaja ZET

- potiskivanje nebitne informacije: nije potreban prikaz egzaktnih udaljenosti, (očuvane relativne pozicije)
- isticanje bitne informacije: simbolički prikaz stanica, različite boje za pojedine linije (legenda)



## 2.6 Neželjeni učinci koji se javljaju u postupcima vizualizacije

- neželjeni učinak diskretizacije (prisutno u svim postupcima), prostorno i vremenski
  - problem pretvorbe iz kontinuirane domene u diskretnu, (uzorkovanje)
    - ([http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/sampling/introduction\\_to\\_sampling\\_java\\_browser.htm](http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/sampling/introduction_to_sampling_java_browser.htm))
      - već pri uzorkovanju izvornog objekta
  - pretvorbe iz diskretne u diskretnu (resampling),
    - kada siječemo prostor volumnih elemenata ravninom
    - frekvencijskoj domeni, za ravninu kojim siječemo 3D prostor
    - uzorkovanje u proizvoljnoj točki duž zrake, broj uzoraka i način rekonstrukcije
    - nedovoljan broj zraka koje bacamo u scenu (više zraka)
    - u metodi pokretne kocke interpoliramo duž bridova, rekonstruiramo površinu poligonima ili kvadratnim, kubnim plohama, razrješavanje problematičnih slučajeva
- osnovna ideja je reprezentaciju objekta čuvati u diskretnom obliku a baratati (sve operacije obavljati) tako da se diskretna reprezentacija interpretira kao kontinuirana
  - uzorkovanje se tada provodi na kontinuiranom obliku
  - izračunavanja derivacije, zakrivljenosti

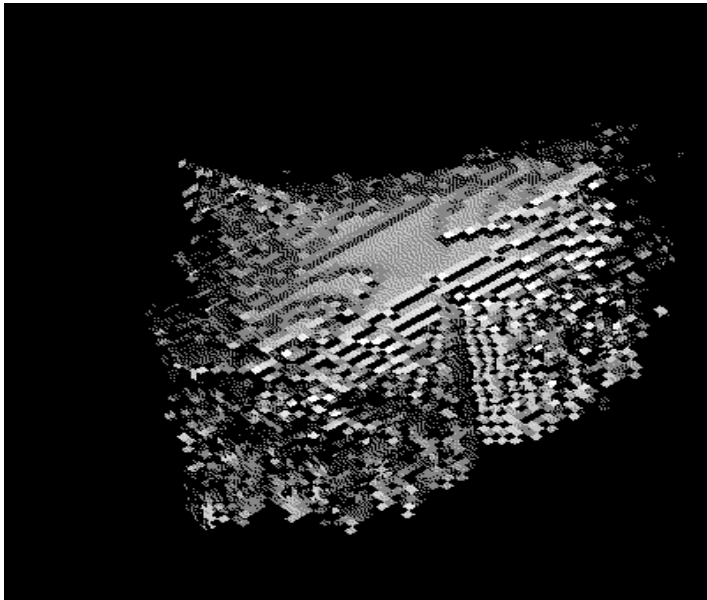


## Utjecaj načina rekonstrukcije (interpolacije) na izgled rekonstruirane površine

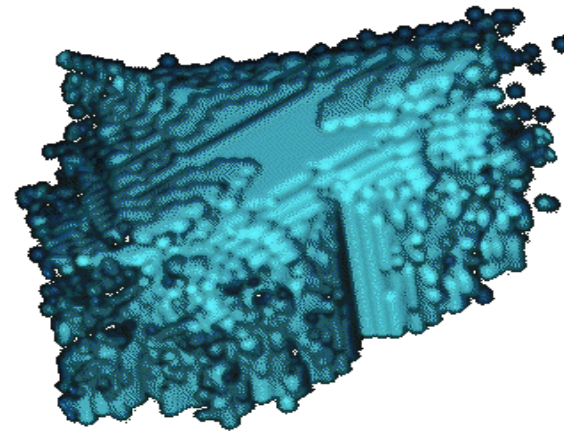
- interpolacija 0-tog stupnja, najbližeg susjeda (nearest neighbor)
- interpolacija 1-tog stupnja (tri-linearna)

## Utjecaj pre malog broja poprečnih presjeka (slice)

- pojava terasastih područja

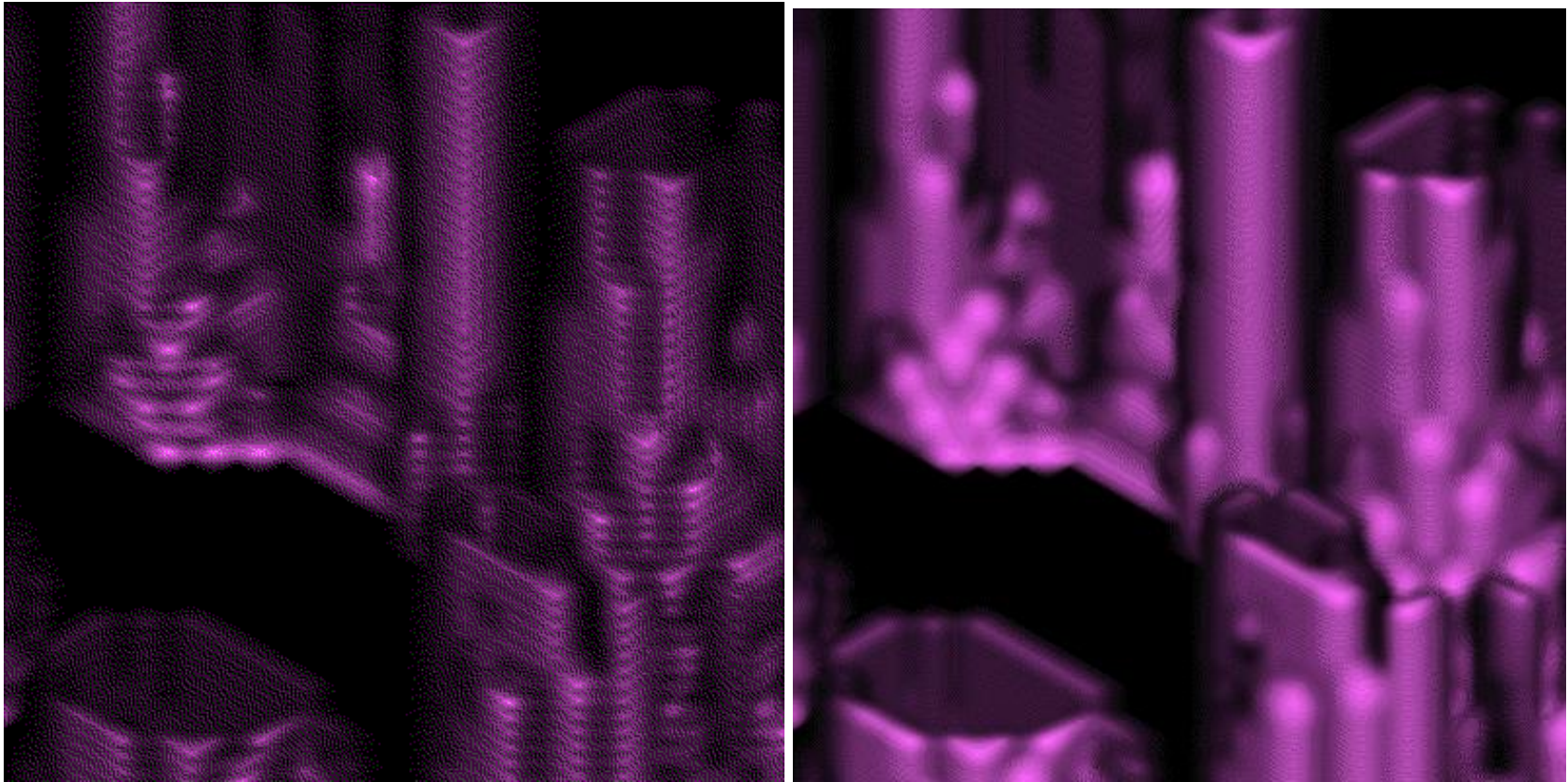


korištenje najbližeg susjeda



trilinearna interpolacija





pojava pruga kada su uzorci duž zrake prerijetki

(dolazi do interferencije mjesta uzorkovanja duž zrake i jednoliko raspoređenih uzoraka volumnih elemenata)

- neželjeni učinci
  - gubitak detalja (oštrine), zamućenost
  - stepeničasta (terasasta) područja, artefakti nazubljenosti
  - šupljine u rekonstruiranim objektima
  - ovisnost o kutu objekta (anizotropni učinak), nagla promjena svjetline pri kutu  $45^\circ$
  - mrežkanje frekvencijom uzorkovanja (ovisno o rekonstrukcijskom filtru)
- upotreba
  - može se koristiti za prikaz promjena u vremenu npr. okrugli objekti koji se pomiču po sceni u 3D će izgledati kao cijevi
- vizualizacija <http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/visualizations/guidedtour/Tour.htm>
- prikaz tenzora značkama (glyph)