

Visualizace objemových dat

© 1996-2009 Josef Pelikán
CGG MFF UK Praha

<http://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/>
pepca@cgg.mff.cuni.cz

„průmyslové“ aplikace

◆ **medicína**

- (rentgenová) počítačová tomografie (CT)
- nukleární magnetická rezonance (NMR, MRI)
- pozitronová emisní tomografie (PET)
- “single photon emission computer tomography” (SPECT)
- + kombinace různých technologií (např. CT+NMR)

◆ **průmyslová defektoskopie**

- sonogramy, rentgenové přístroje, ..

Vědecké aplikace

◆ zobrazení **naměřených dat**

- geologie, seismologie
- meteorologie
- molekulární chemie a biologie

◆ zobrazení **matematické simulace**

- **(dynamická) vektorová pole**: průmyslová konstrukce, aerodynamika, meteorologie, ..
- astronomie a astrofyzika
- zobrazení implicitně definovaných ploch

Předmět vizualizace

◆ statická 3D data

- forma zobrazení $f: \mathbf{R}^3 \rightarrow \mathbf{R}^n$
- uspokojivě lze zatím zobrazovat jen data skalární nebo výjimečně vektorová ($n \leq 3$)
- ale např. v meteorologii se měří/počítá až 30 veličin v každém bodě!
- lepší přehled o průběhu veličin dávají animace

◆ dynamická 3D data (animace)

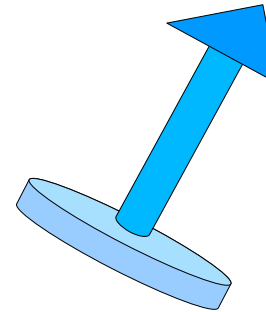
- forma zobrazení $f: \mathbf{R}^4 \rightarrow \mathbf{R}^n$ ($[x, y, z, t]$)
- animace je složitější, uživatelem řízená (“steering”)

Požadavky

- **názornost** zobrazení
 - pozorovatel by měl získat co nejlepší představu o zobrazované funkci (příp. i jejím časovém průběhu)
 - cílem nejsou bezpodmínečně realistické obrázky
 - **interakce uživatele** (“steering”: on-line animace)
- **věrnost**, pravdivost
 - výstup by neměl být příliš zkreslený
- **rychlost výpočtu**
 - pro animace minimálně několik obrázků za sekundu

Visualizace vektorů, tensorů, ..

- **vektorová pole**
 - proudění kapaliny
 - vlákna, stužky, šumová textura
 - „šipky” nebo jiné 3D ikony
- **tensorová pole**
 - elipsoidy, příp. jiné ikony
- **vícerozměrná data**
 - předzpracování (PCA nebo jiná redukce dimenze)
 - barva, zvuk, ikony, textura, ...



Objemova data – formáty

◆ rovnoběžná mřížka

- reprezentace maticí $\mathbf{K} \times \mathbf{L} \times \mathbf{M}$ a diferenčními vektory \mathbf{dx} , \mathbf{dy} , \mathbf{dz}
- stěny jednotlivých buněk rastru jsou rovnoběžné
- rastr nemusí být uniformní

◆ mřížka s pravidelnou topologií

- reprezentace maticí $\mathbf{K} \times \mathbf{L} \times \mathbf{M}$ a sítí parametrických ploch $\mathbf{Pu}[\]$, $\mathbf{Pv}[\]$, $\mathbf{Pw}[\]$
- buňky mají pouze stejnou topologii (např. 6 stěn)

Formáty, pokračování

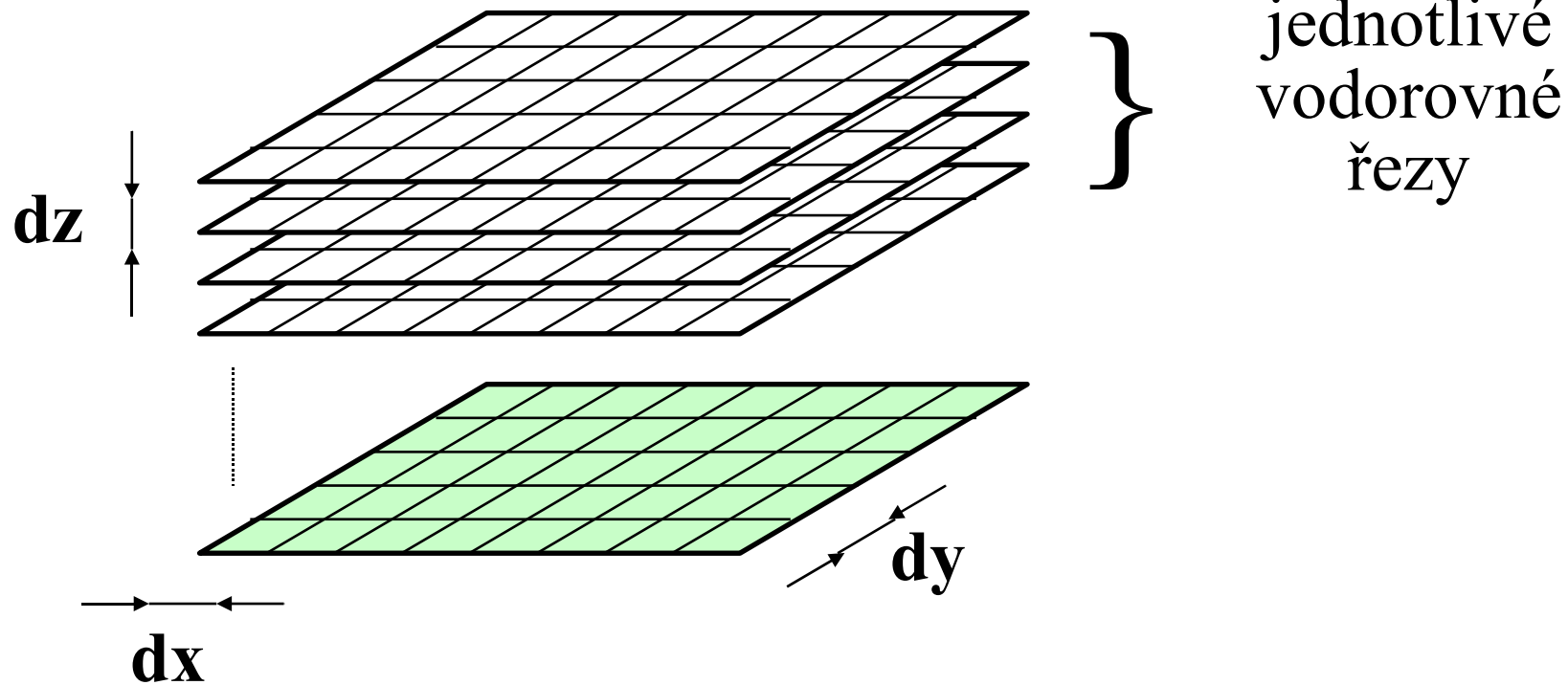
◆ mřížka s **nepravidelnou topologií**

- libovolně rozmístěné uzly hodnot + topologie buněk
- čtyřstěny, šestistěny (v rovině: trojúhelníky, čtyřúhelníky)

◆ **hybridní mřížka**

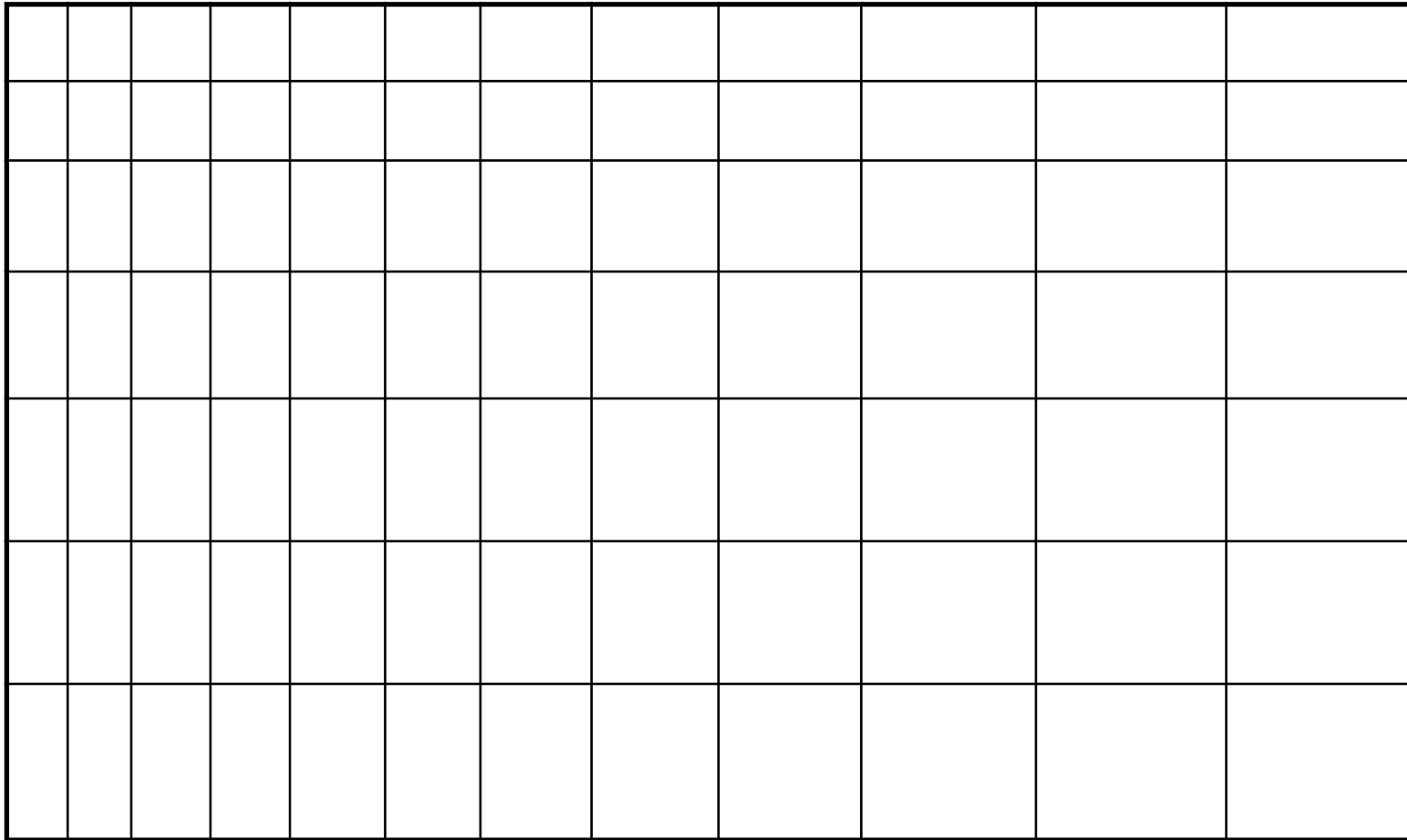
- kombinace pravidelné a nepravidelné topologie
- viz metody konečných prvků (hybridní síť pro radiální metodu)

Pravidelná rovnoběžná mřížka

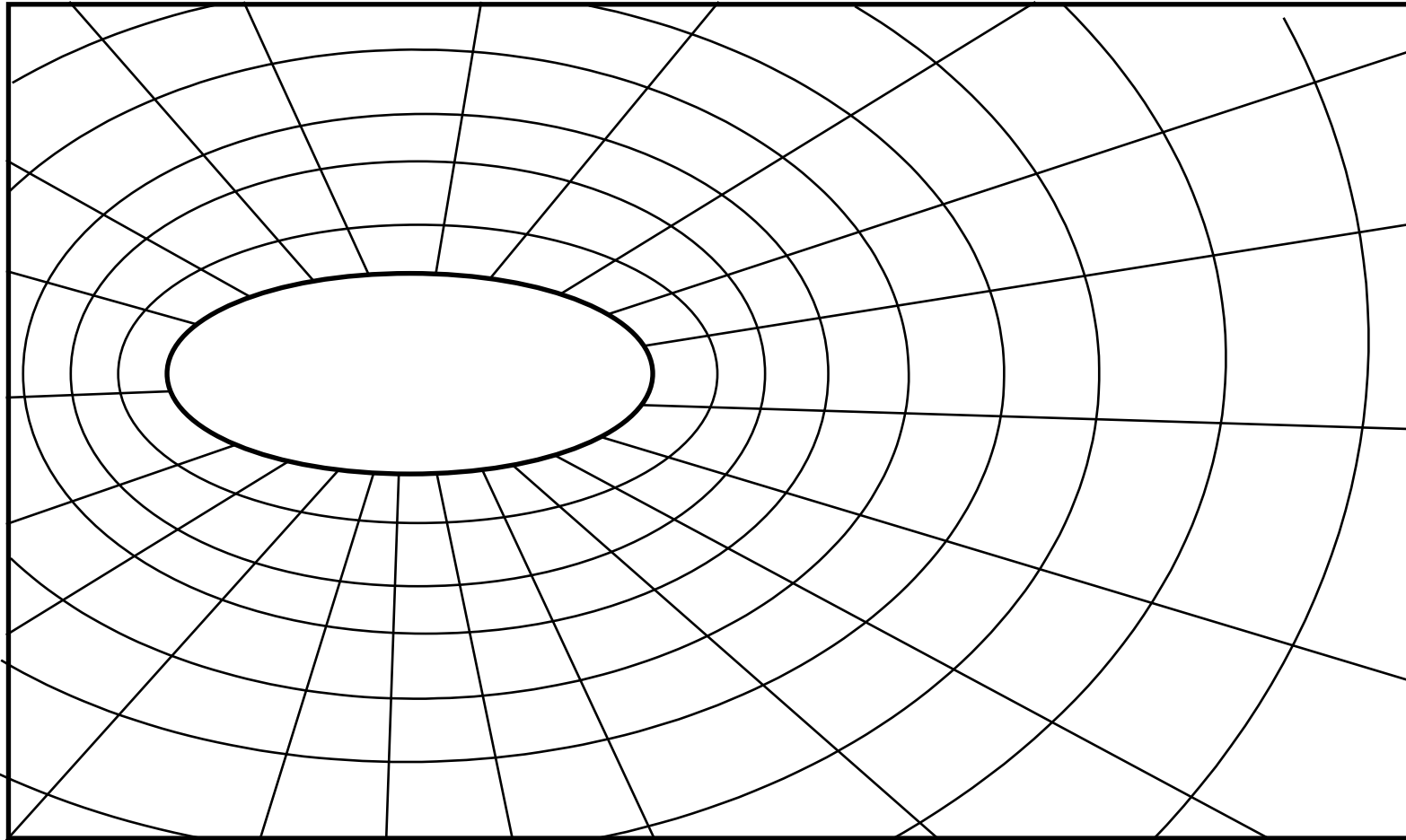


uniformní mřížka ... $dx = dy = dz$

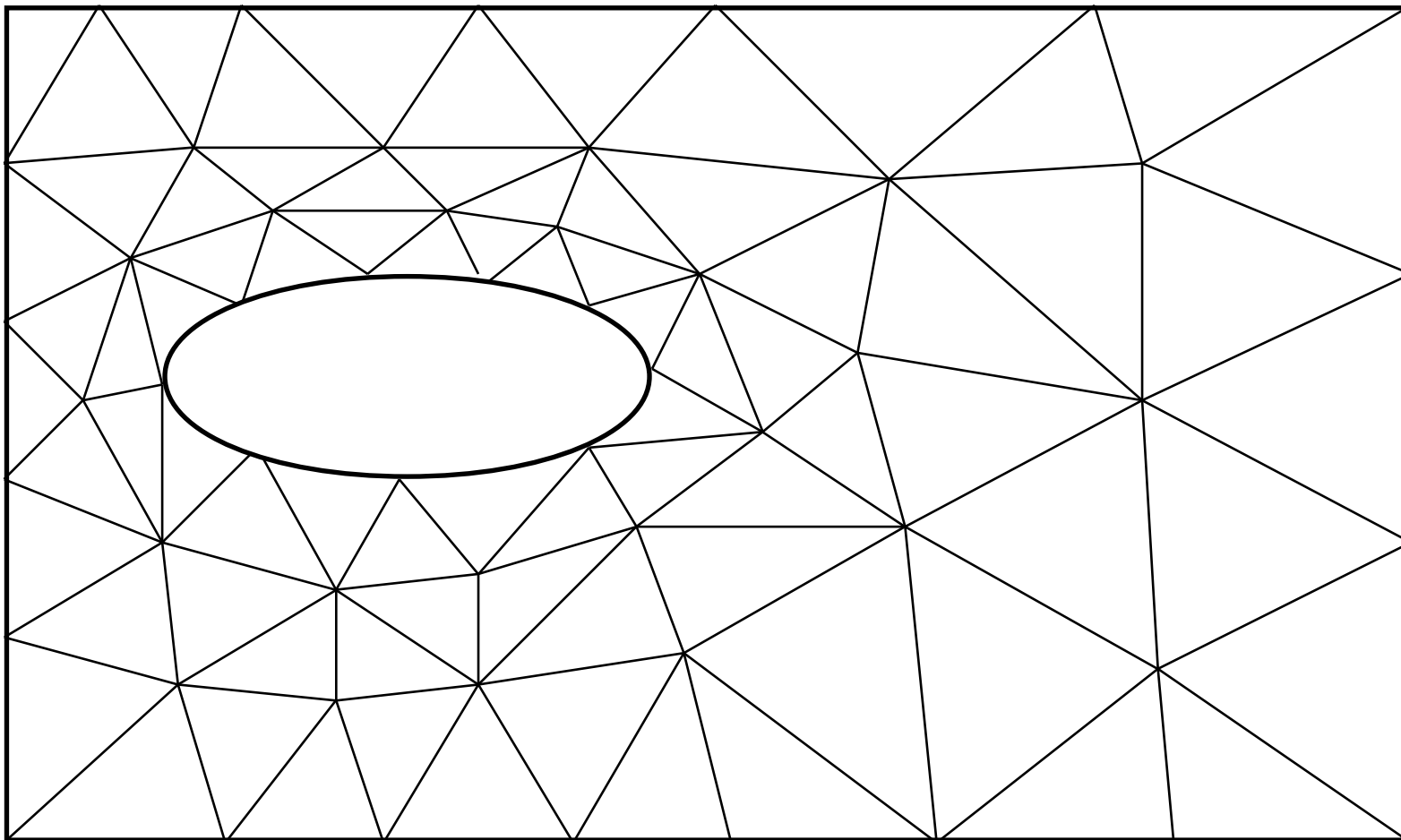
Rovnoběžná mřížka



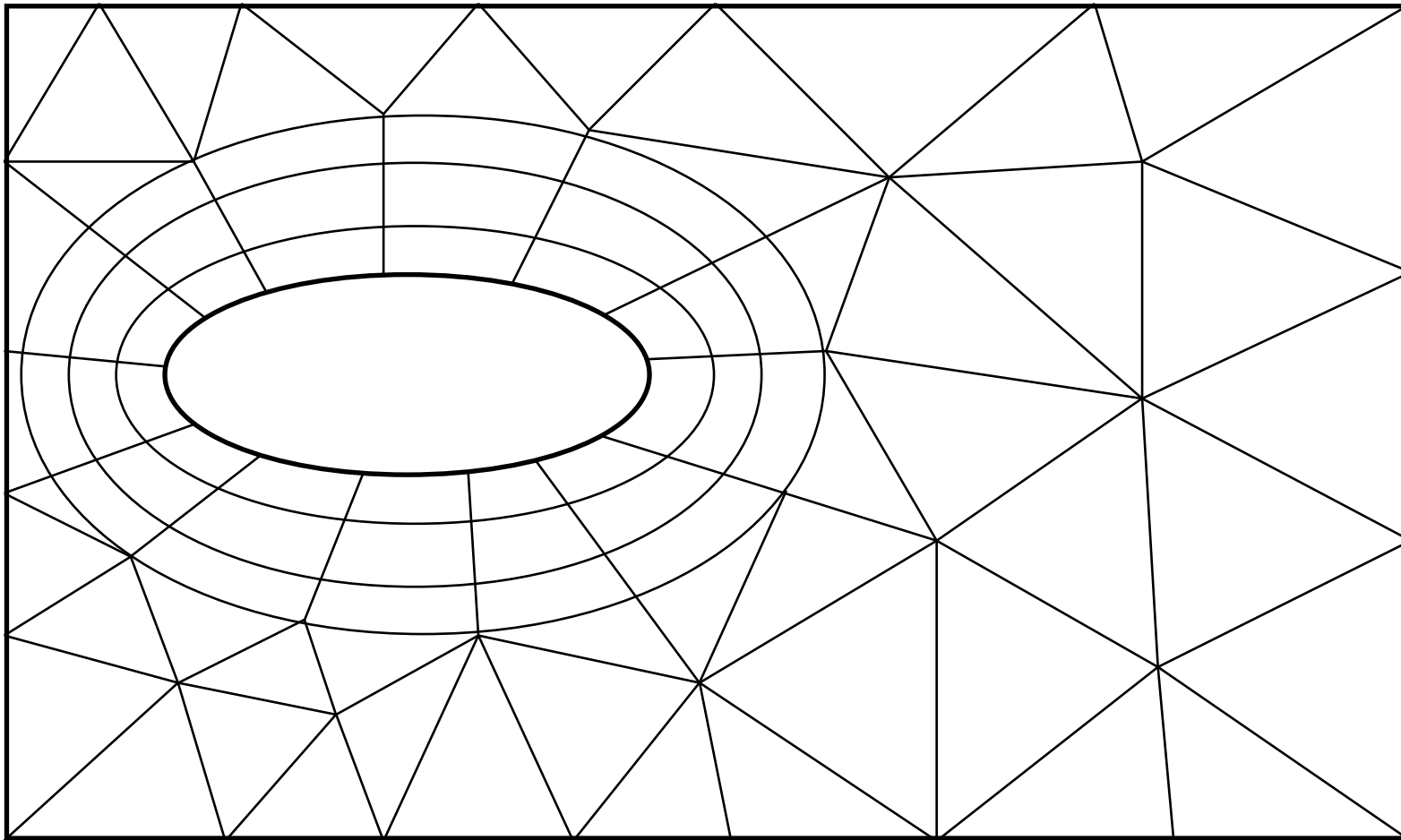
Mřížka s pravidelnou topologií



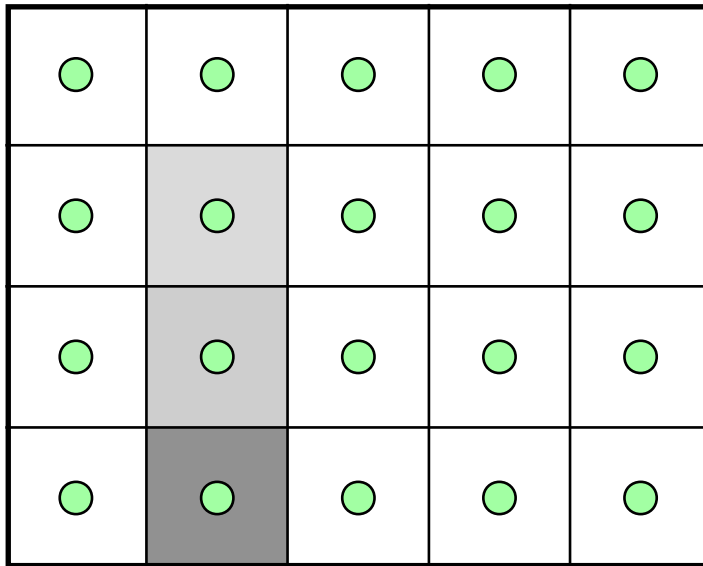
Mřížka s nepravidelnou topologií



Hybridní mřížka

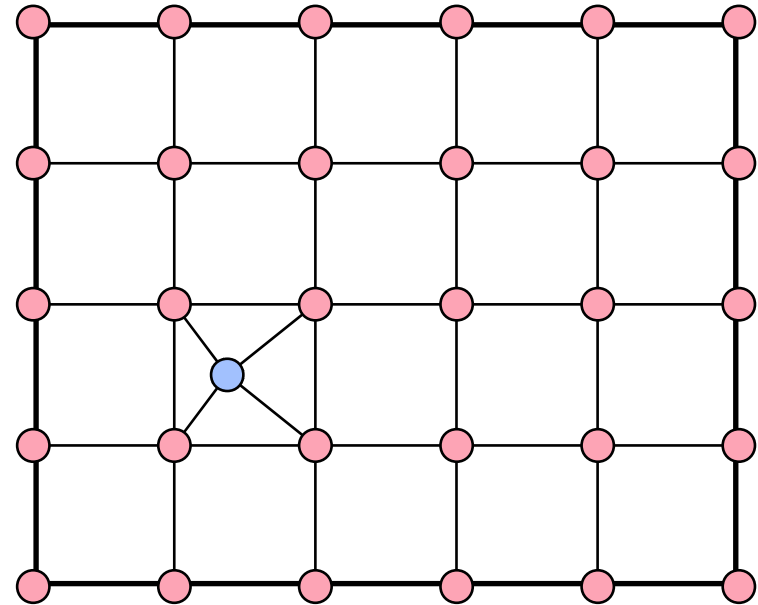


Voxely nebo buňky?



voxely

(naměřené hodnoty
jsou uprostřed)



buňky

(naměřené hodnoty
jsou ve vrcholech)

Fáze zpracování objemových dat

- ① **pořízení dat** (měření nebo výpočet)
 - uvnitř snímacího zařízení (CAT, MRI) mohou již být použity některé **netriviální algoritmy**:
 - převod několika kumulativních projekčních snímků do jednoho 2D obrazu (dělá skrytý firmware)

- ② **úpravy a vylepšení jednotlivých řezů: 2D op.**
 - filtrace: vyhlazování, zvětšování kontrastu
 - změny kontrastu - např. automatické vyrovnávání histogramu (stejné operace na všech řezech!)

Fáze zpracování objemových dat

③ 3D úpravy a vylepšení

- úpravy formátu: přidávání dalších řezů (interpolací), převzorkování (v uniformní mřížce), ..
- 3D filtrace: vyhlazování, zvětšování kontrastu

④ klasifikace dat, segmentace

- medicína: různé typy tkání (kost, mozek, svalstvo, tuk, vzduch)
- ruční nebo automatická (např. analýzou histogramu)

⑤ zobrazení dat (projekce do 2D)

Zobrazování objemu

- ① výpočet izoploch** („surface fitting”: **SF**)

 - aproximace izoplochy sítí n-úhelníků (trojúhelníků), výpočet není závislý na úhlu pohledu
 - zobrazení klasickými metodami (HW podpora)
 - uživatel zadává prahovou hodnotu (i více hodnot)

- ② přímé zobrazovací metody** (“direct volume rendering”: **DVR**)

 - většinou nepoužívají pomocná grafická primitiva
 - dávají globální představu o průběhu zobrazované fce

Výpočet izoploch

- ◆ tyto metody jsou často rychlejší a po provedení výpočtu dovolují opakované rychlé zobrazení
- ◆ **neprůhledné kostky** (“cuberille”)
- ◆ **napojování izočar**
 - topologické problémy ([vícenásobné] větvení)
- ◆ **pochodující kostky** (“marching cubes”)
 - konstrukce izoploch při průchodu buňkami
 - dělení kostek (podle rozlišení displeje), pochodující čtyřstěny

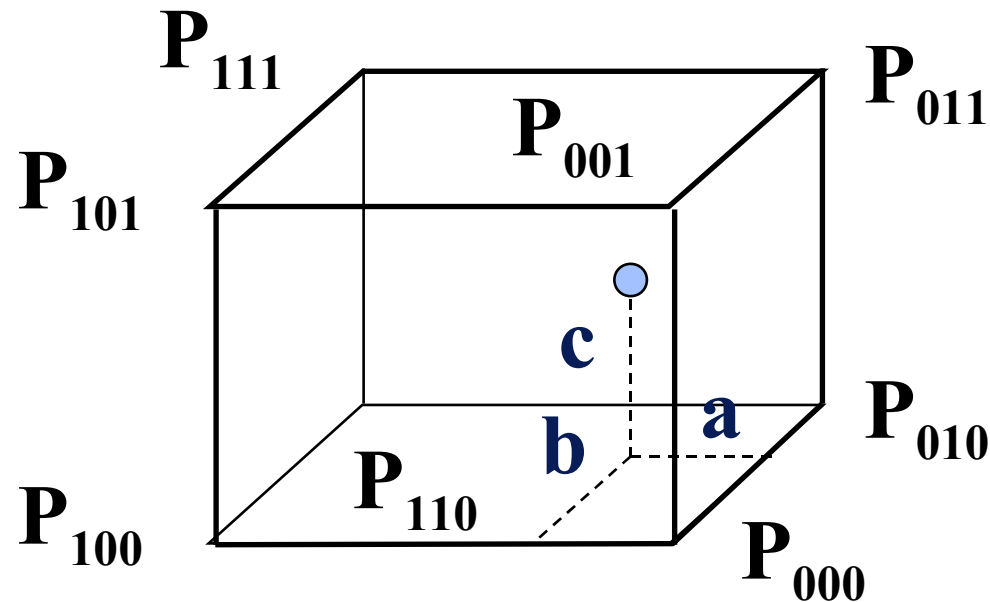
Přímé zobrazovací metody

- ◆ obrázek může obsahovat více informací, ale je závislý na úhlu pohledu
- ◆ **V-buffer, “splatting”**
 - konstrukce poloprůhledného zobrazení průchodem scény zepředu dozadu
- ◆ **metody vrhání paprsku**
 - simulace rozptylu světla v poloprůhledném (pasivním nebo aktivním) prostředí
 - integrace podél dráhy paprsku

Interpolace v buňkách

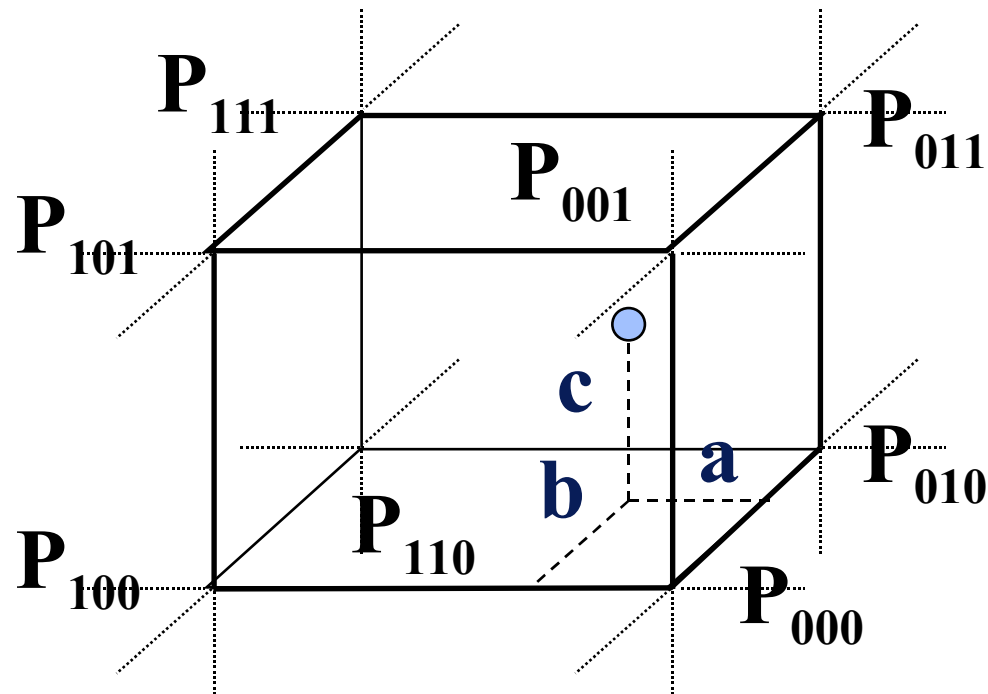
- ◆ **polynomiální interpolace a aproximace**
 - pro topologicky pravidelné mřížky
- **trilineární interpolace**
 - jednoduchý výpočet, není hladká
- **trikvadratická nebo trikubická aproximace**
 - hladké, ale vyžadují topologickou pravidelnost
- ◆ **radiální aproximace**
 - vhodná i pro topologicky nepravidelná data

Trilineární interpolace



$$\begin{aligned}
 P(a, b, c) = & (1 - a) \left\{ (1 - b) \left[(1 - c) P_{000} + c P_{001} \right] + \right. \\
 & \left. + b \left[(1 - c) P_{010} + c P_{011} \right] \right\} + \\
 & + a \left\{ (1 - b) \left[(1 - c) P_{100} + c P_{101} \right] + \right. \\
 & \left. + b \left[(1 - c) P_{110} + c P_{111} \right] \right\}
 \end{aligned}$$

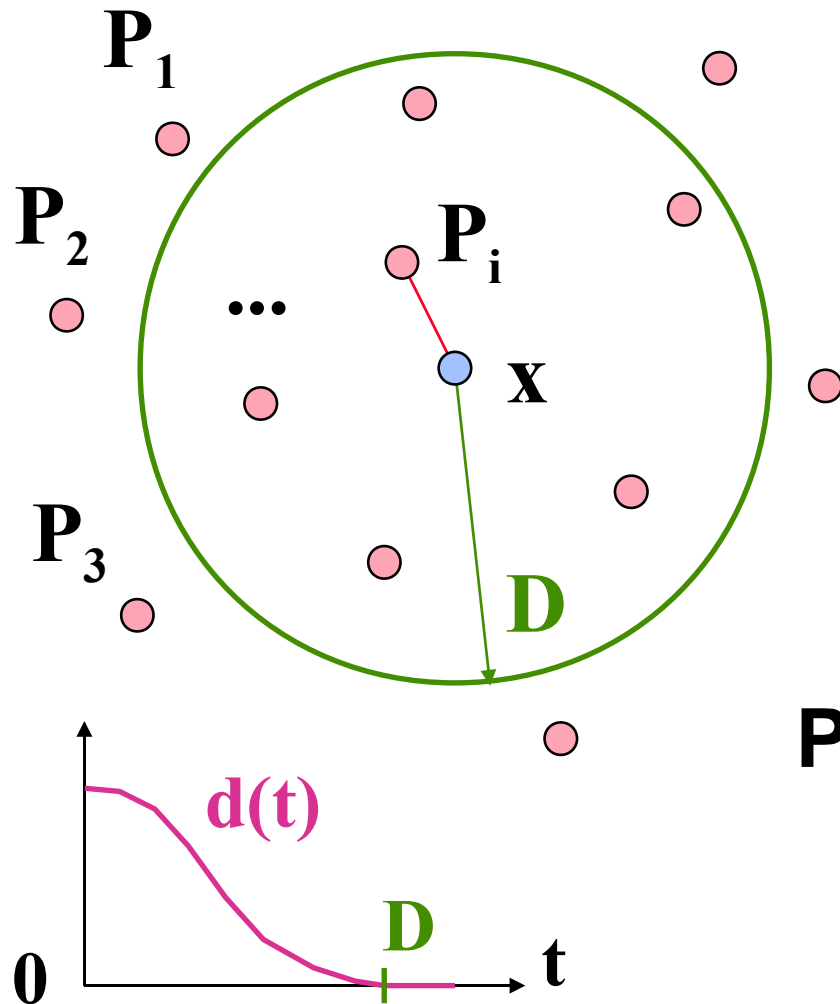
Trikubická aproximace



kubické
 váhové
 funkce

$$P(a, b, c) = \sum_{i,j,k=-1}^2 B_{i+1}(a) B_{j+1}(b) B_{k+1}(c) \cdot P_{ijk}$$

Radiální aproximace



váhová funkce
(nulová pro $t > D$)

$$P(x) = \frac{\sum_{i=1}^N d(\|x - P_i\|) \cdot f(P_i)}{\sum_{i=1}^N d(\|x - P_i\|)}$$

Typy průchodu

- ◆ **průchod daty (scénou):**
 - jednodušší implementace
 - průmět některých elementů může být zanedbatelný
- ◆ **zezadu-dopředu**
 - uživatel si během výpočtu může prohlížet vzdálenější partie datového pole
- ◆ **zepředu-dozadu**
 - nemusí být nutné procházet celé datové pole (zadní elementy již nemají vliv na výsledný obrázek)

Typy průchodu

- ◆ **průchod průmětnou:**

- buňky procházím mnohokrát (pomalejší výpočet)
- důležité části vzorkuji hustě

- **zezadu-dopředu**

- jednodušší implementace integrálního výpočtu

- **zepředu-dozaďu**

- nemusím počítat celý paprsek (zastavím se na podprahové hodnotě důležitosti)

Fotorealismus

- ◆ nemusí být nejdůležitější, hlavní je **názornost zobrazení**
 - člověk je však zvyklý na některé fyzikální vlastnosti látek
- „zářící mlha”
 - poloprůhledná neizotropní látka, která světelné paprsky vyzařuje a zároveň pohlcuje
- **stínování ploch**
 - jednoduchý světelný model; gradientní výpočet **N**

Gradientní stínování

- ◆ výpočet fiktivního **normálového vektoru** jako gradientu zobrazované funkce
- ➔ aproximace gradientu pomocí **konečných diferencí**:

$$\nabla P_{ijk} \approx \begin{bmatrix} \frac{1}{2} (P_{i+1,j,k} - P_{i-1,j,k}), \\ \frac{1}{2} (P_{i,j+1,k} - P_{i,j-1,k}), \\ \frac{1}{2} (P_{i,j,k+1} - P_{i,j,k-1}) \end{bmatrix}$$

Literatura



- ◆ T. Elvins: *A Survey of Algorithms for Volume Visualization*, Computer Graphics, vol.26, #3, August 1992, 194-201
- ◆ Hansen C. D., Johnson, C. R.: *Visualization Handbook*, Academic Press, 2005