

Técnicas de Visualização para Dados Espaciais

SCC5836/SCC0252 – Visualização Computacional

Profa. Maria Cristina
cristina@icmc.usp.br

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC)
Universidade de São Paulo (USP)

VICG Grupo de Visualização,
 **Imagens e Computação Gráfica**

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Dados Unidimensionais
- 3 Dados Bidimensionais
- 4 Dados Tridimensionais
- 5 Dados Vetoriais: Fluidos
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências

- Visualização de dados espaciais: pressupõe que dados têm **atributos espaciais** ou **espaço-temporais** (implícitos ou explícitos)
 - Natural é mapear os atributos espaciais em canais de posição espacial (**geometria é dada**)
 - Facilita a construção e interpretação das representações gráficas

- Técnicas oriundas da disciplina conhecida como **Visualização Científica**
 - dados resultantes de processos de amostragem/simulação
 - associados a uma grade espacial (1D, 2D, 3D) (regular ou irregular)

- Pode-se considerar as técnicas em função da dimensionalidade espacial dos dados de entrada:
 - grade unidimensional
 - grade bidimensional
 - grade tridimensional
- Outra possibilidade seria considerar o tipo de dado (atributo)
 - escalar
 - vetorial

Introdução

- Pode-se considerar as técnicas em função da dimensionalidade espacial dos dados de entrada:
 - grade unidimensional
 - grade bidimensional
 - grade tridimensional
- Outra possibilidade seria considerar o tipo de dado (atributo)
 - escalar
 - vetorial

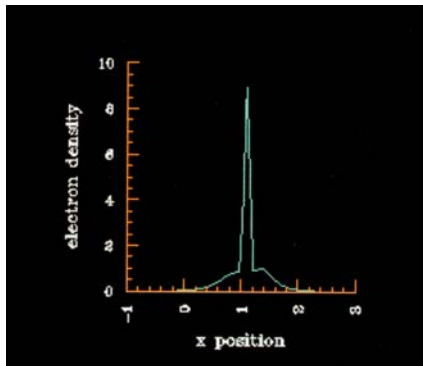
- Atributos espaciais mapeados na geometria da visualização
- **Atributos não espaciais** podem ser **mapeados** para cor, textura, formato, etc. dos marcadores gráficos
- Dados univariados: várias técnicas disponíveis para expressar um único atributo escalar

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Dados Unidimensionais**
- 3 Dados Bidimensionais
- 4 Dados Tridimensionais
- 5 Dados Vetoriais: Fluidos
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências

Dados Unidimensionais

- Dado um conjunto de valores amostrados no espaço **unidimensional**: informação espacial mapeada em **uma das dimensões da tela** e valor associado mapeado na **outra dimensão**
 - Em geral dados precisam ser **escalados**



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Dados Unidimensionais
- 3 Dados Bidimensionais**
- 4 Dados Tridimensionais
- 5 Dados Vetoriais: Fluidos
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências

Dados Bidimensionais

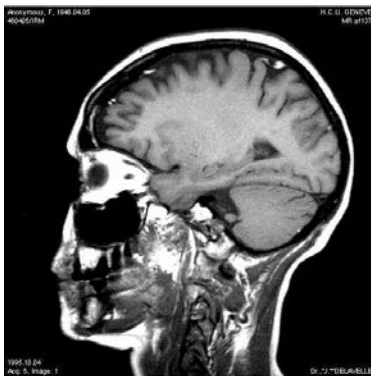
- Dados com **duas dimensões espaciais**: solução natural é mapeá-las nas **duas dimensões da tela**
- Valores em uma grade 2D (regular ou irregular)

Dados Bidimensionais

- Dados com **duas dimensões espaciais**: solução natural é mapeá-las nas **duas dimensões da tela**
 - Valores em uma grade 2D (regular ou irregular)
-
- O resultado pode ser
 - Imagem
 - Mapa de altura
 - Paisagem
 - Mapa
 - Contorno e isovalor

Dados Bidimensionais

- **Imagem:** um **único valor** associado a cada posição espacial
- valores conhecidos em uma grade
- valor mapeado para intensidade (ou cor), cor dos pixels intermediários por interpolação



- **Mapa de altura:** cada valor mapeado na altura do ponto correspondente na grade 2D, formando uma **superfície 3D**



Figura: Superfície do oceano na região da Flórida.

Dados Bidimensionais

- **Paisagem:** objetos 3D posicionados sobre a grade, os valores dos dados são mapeados nos atributos dos objetos

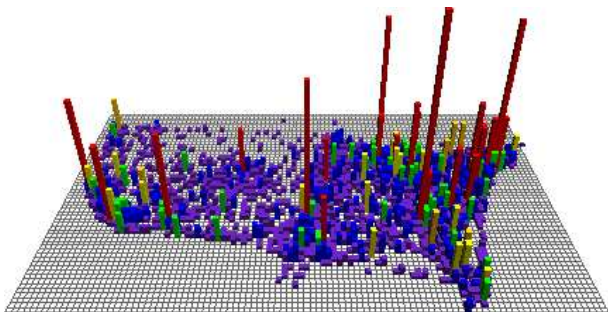


Figura: Paisagem: densidade do tráfego aéreo nos EUA em um certo período.

Dados Bidimensionais

- **Mapa:** dados incluem *features* **lineares** e de **área** (contornos), bem como **objetos pontuais** (pontos de interesse)
- características próprias: visualização de dados geoespaciais

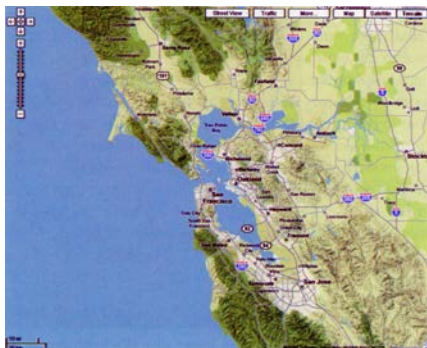


Figura: Mapa da área de São Francisco gerado pelo Google Maps

Dados Bidimensionais

- **Mapa de contorno (isovalor):** isovalores descrevem fronteira de região 2D determinada por valores idênticos
- função contínua foi amostrada na região 2D, gerando os pontos em uma grade
- algoritmo clássico é o (*marching squares*)



Figura: Linhas de contorno extraídas de uma imagem de uma fatia de uma molécula de hidrogênio.

Marching Squares

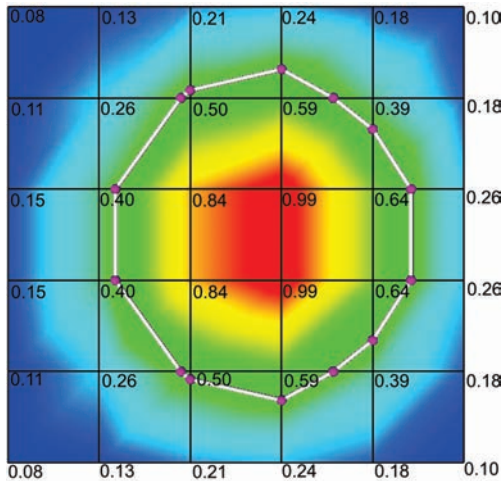


Figura: Construindo uma isolinha para um isovalor $v = 0.48$

Marching Squares

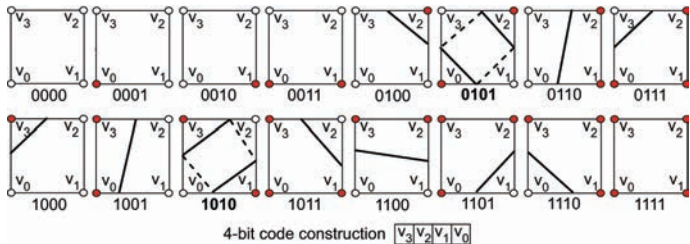


Figura: Estados topológicos de uma célula no algoritmo *Marching Squares*. Vértices “interiores” indicados em vermelho, estados ambíguos em negro.

Marching Squares

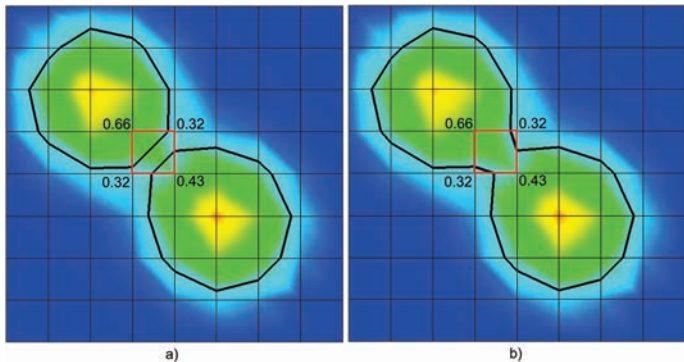


Figura: Problemas de ambiguidade na geração da isolinha: isovalor $v = 0.37$.

Dados Bidimensionais

- Cenários anteriores consideram uma única variável escalar, amostrada em 2D (dados univariados)
- Se os dados descrevem múltiplas variáveis (dados multivariados, ou multidimensionais), as técnicas podem ser expandidas utilizando estratégias de **justaposição** e **sobreposição**

- Cenários anteriores consideram uma única variável escalar, amostrada em 2D (dados univariados)
- Se os dados descrevem múltiplas variáveis (dados multivariados, ou multidimensionais), as técnicas podem ser expandidas utilizando estratégias de **justaposição** e **sobreposição**
 - **Justaposição**: empilhar visualizações univariadas 2D, resultando em uma visualização 3D. Problemas com oclusão.

- Cenários anteriores consideram uma única variável escalar, amostrada em 2D (dados univariados)
- Se os dados descrevem múltiplas variáveis (dados multivariados, ou multidimensionais), as técnicas podem ser expandidas utilizando estratégias de **justaposição** e **sobreposição**
 - **Justaposição**: empilhar visualizações univariadas 2D, resultando em uma visualização 3D. Problemas com oclusão.
 - **Sobreposição**: sobrepor diferentes atributos. P.ex., na visualização de paisagem pode-se sobrepor blocos de diferentes cores, cada cor representando um atributo.

Dados Bidimensionais

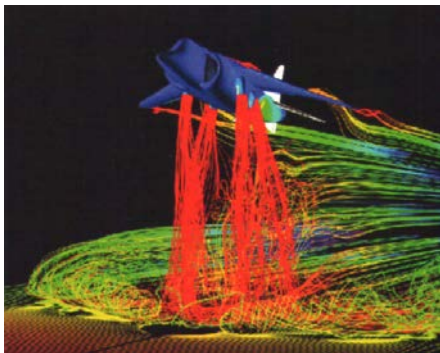
- Cenários anteriores consideram uma única variável escalar, amostrada em 2D (dados univariados)
- Se os dados descrevem múltiplas variáveis (dados multivariados, ou multidimensionais), as técnicas podem ser expandidas utilizando estratégias de **justaposição** e **sobreposição**
 - **Justaposição**: empilhar visualizações univariadas 2D, resultando em uma visualização 3D. Problemas com oclusão.
 - **Sobreposição**: sobrepor diferentes atributos. P.ex., na visualização de paisagem pode-se sobrepor blocos de diferentes cores, cada cor representando um atributo.
- Na presença de muitas variáveis (atributos) a solução é recorrer a técnicas de visualização multivariada (não espaciais)

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Dados Unidimensionais
- 3 Dados Bidimensionais
- 4 Dados Tridimensionais**
- 5 Dados Vetoriais: Fluidos
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências

Introdução

- Dados científicos são, em geral, obtidos a partir de processos de amostragem/simulação de fenômenos contínuos
- Dados são **amostras discretas** do processo, coletadas (ou computadas) em uma grade 3D (**visualização volumétrica**)
 - Unidade básica de discretização: **voxel**



- Categorização de técnicas clássicas de **visualização volumétrica**:

- Categorização de técnicas clássicas de **visualização volumétrica**:
 - **Técnicas de fatiamento (*slicing*)**: exibem dados relativos a um plano de recorte 2D, alinhado a um dos 3 eixos

- Categorização de técnicas clássicas de **visualização volumétrica**:
 - **Técnicas de fatiamento (*slicing*)**: exibem dados relativos a um plano de recorte 2D, alinhado a um dos 3 eixos
 - **Técnicas de isosuperfície**: geram superfície (malha de polígonos) relativa a um valor dado, aplicam *rendering* de superfícies

- Categorização de técnicas clássicas de **visualização volumétrica**:
 - **Técnicas de fatiamento (*slicing*)**: exibem dados relativos a um plano de recorte 2D, alinhado a um dos 3 eixos
 - **Técnicas de isosuperfície**: geram superfície (malha de polígonos) relativa a um valor dado, aplicam *rendering* de superfícies
 - **Rendering volumétrico direto**: renderizam uma imagem diretamente a partir do volume

- Categorização de técnicas clássicas de **visualização volumétrica**:
 - **Técnicas de fatiamento (*slicing*)**: exibem dados relativos a um plano de recorte 2D, alinhado a um dos 3 eixos
 - **Técnicas de isosuperfície**: geram superfície (malha de polígonos) relativa a um valor dado, aplicam *rendering* de superfícies
 - **Rendering volumétrico direto**: renderizam uma imagem diretamente a partir do volume
 - Para calcular a cor dos pixels:

- Categorização de técnicas clássicas de **visualização volumétrica**:
 - **Técnicas de fatiamento (*slicing*)**: exibem dados relativos a um plano de recorte 2D, alinhado a um dos 3 eixos
 - **Técnicas de isosuperfície**: geram superfície (malha de polígonos) relativa a um valor dado, aplicam *rendering* de superfícies
 - **Rendering volumétrico direto**: renderizam uma imagem diretamente a partir do volume
 - Para calcular a cor dos pixels:
 - lança raios (a partir do pixel) no volume, amostragem dos diferentes materiais determina composição da cor do pixel; ou

- Categorização de técnicas clássicas de **visualização volumétrica**:
 - **Técnicas de fatiamento (*slicing*)**: exibem dados relativos a um plano de recorte 2D, alinhado a um dos 3 eixos
 - **Técnicas de isosuperfície**: geram superfície (malha de polígonos) relativa a um valor dado, aplicam *rendering* de superfícies
 - **Rendering volumétrico direto**: renderizam uma imagem diretamente a partir do volume
 - Para calcular a cor dos pixels:
 - lança raios (a partir do pixel) no volume, amostragem dos diferentes materiais determina composição da cor do pixel; ou
 - projeta conteúdo do volume em um plano, com alguma estratégia para compor a cor dos pixels

Visualizando Dados Volumétricos

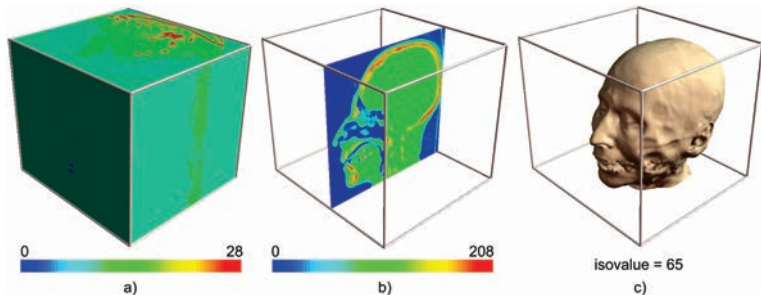


Figura: Visualizando um conjunto de dados volumétrico. (a) desenho da superfície (b) plano de recorte (c) isosuperfície.

Fatiando Dados Volumétricos com Planos de Recorte

- No fatiamento, **planos de recorte** reduzem os dados: 3D \rightarrow 2D

Fatiando Dados Volumétricos com Planos de Recorte

- No fatiamento, **planos de recorte** reduzem os dados: 3D \rightarrow 2D
 - Volume recortado por um plano, dada uma **direção e posição**

Fatiando Dados Volumétricos com Planos de Recorte

- No fatiamento, **planos de recorte** reduzem os dados: 3D \rightarrow 2D
 - Volume recortado por um plano, dada uma **direção e posição**
 - Implementação simples: **normal ao plano** coincide com **direções principais do volume**

Fatiando Dados Volumétricos com Planos de Recorte

- No fatiamento, **planos de recorte** reduzem os dados: 3D \rightarrow 2D
 - Volume recortado por um plano, dada uma **direção e posição**
 - Implementação simples: **normal ao plano** coincide com **direções principais do volume**
 - **Animação** para visualizar associações entre **fatias subsequentes**

Fatiando Dados Volumétricos com Planos de Recorte

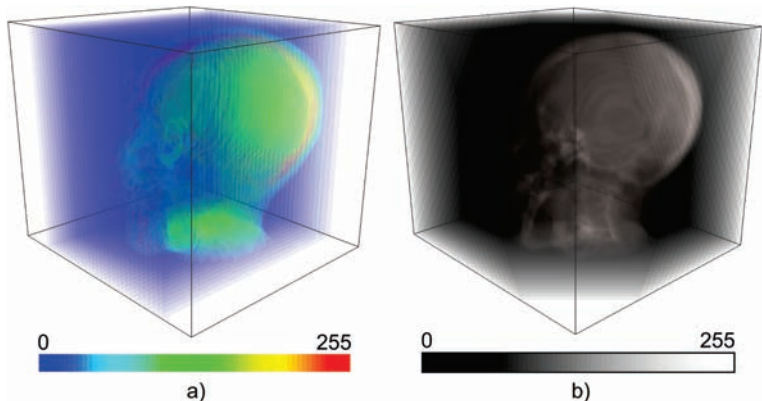


Figura: Visualização de um conjunto de dados volumétrico. (a) fatias alinhadas com volume (b) fatias alinhadas com a direção de observação.

Marching Cubes para Extração de Isosuperfícies

- Outra maneira de exibir dados 3D é por meio da extração de **isosuperfícies**
 - Dado um valor de interesse, a superfície correspondente é extraída e exibida
 - Superfície descrita por uma malha de polígonos (em geral, triângulos) e renderizada com técnicas clássicas de *rendering* de superfícies
-
- **Marching Cubes**: algoritmo mais conhecido
 - Voxel definido pelos valores associados aos seus 8 vértices
 - A contribuição do voxel na construção da superfície depende da relação entre cada um desses valores e o isovalor de interesse

Marching Cubes para Extração de Isosuperfícies

- O algoritmo começa identificando o **estado topológico** de cada voxel, com base nos valores associados aos seus **vértices**
 - Existem $2^8 = 256$ estados possíveis, mas somente 15 únicos – cuidado com as normais aos planos

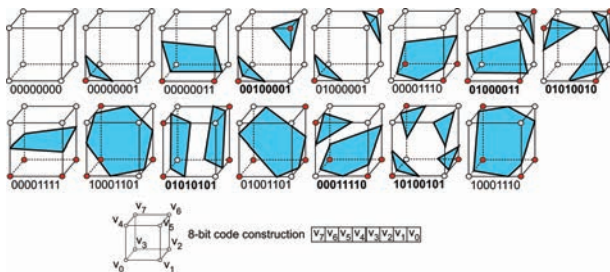


Figura: Estados topológicos de um voxel. Vermelho indica vértice “interior”, casos ambíguos em negro.

Marching Cubes para Extração de Isosuperfícies

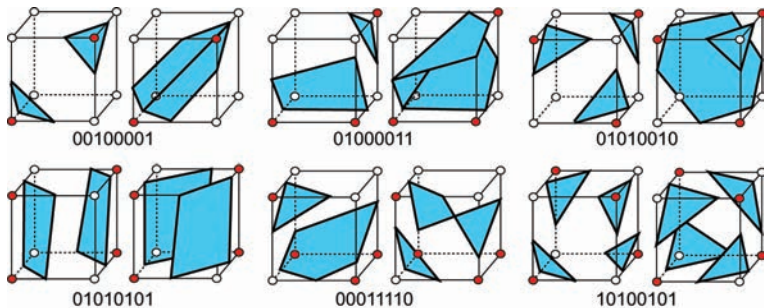


Figura: Casos ambíguos para o algoritmo *Marching Cubes*.

Marching Cubes para Extração de Isosuperfícies

- Uma vez determinados os estados topológicos, as intersecções da superfície **com as arestas dos voxels** são calculadas, e assim identificados os triângulos que compõem a malha
 - simplificação possível: considera que a intersecção sempre ocorre no meio da aresta

Marching Cubes para Extração de Isosuperfícies

Problemas e Alternativas

- Consumo de memória para armazenar o volume
- Consumo de memória para armazenar a malha
- Qualidade da malha gerada
 - Definir estruturas de dados que compartilhem arestas e vértices, ou unir triângulos coplanares em faces maiores

Marching Cubes para Extração de Isosuperfícies

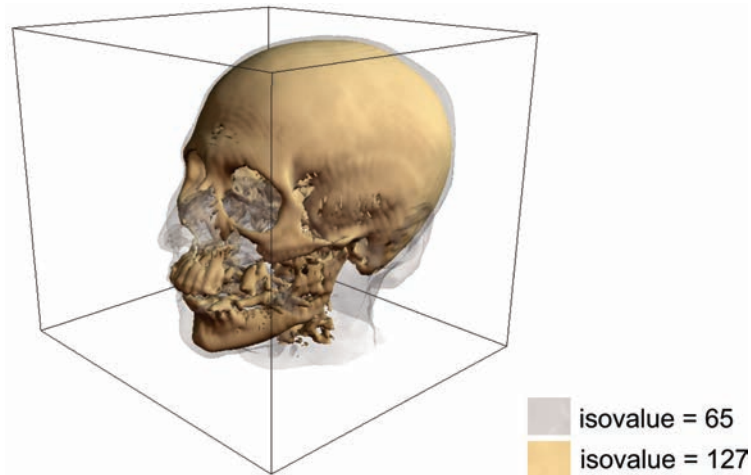


Figura: Visualização de duas isosuperfícies.

Visualização Volumétrica Direta

- No **Rendering Volumétrico Direto** os pixels da imagem resultante são computados diretamente, sem criar polígonos

Visualização Volumétrica Direta

- No **Rendering Volumétrico Direto** os pixels da imagem resultante são computados diretamente, sem criar polígonos
 - mapeamento direto do conteúdo dos voxels em pixels: *rendering* do volume

Visualização Volumétrica Direta

- No **Rendering Volumétrico Direto** os pixels da imagem resultante são computados diretamente, sem criar polígonos
 - mapeamento direto do conteúdo dos voxels em pixels: *rendering* do volume
- Existem dois tipos de mapeamento

Visualização Volumétrica Direta

- No **Rendering Volumétrico Direto** os pixels da imagem resultante são computados diretamente, sem criar polígonos
 - mapeamento direto do conteúdo dos voxels em pixels: *rendering* do volume
- Existem dois tipos de mapeamento
 - **Mapeamento direto: projeta cada voxel** no plano de projeção e determina quais pixels são afetados, e como

Visualização Volumétrica Direta

- No **Rendering Volumétrico Direto** os pixels da imagem resultante são computados diretamente, sem criar polígonos
 - mapeamento direto do conteúdo dos voxels em pixels: *rendering* do volume
- Existem dois tipos de mapeamento
 - **Mapeamento direto: projeta cada voxel** no plano de projeção e determina quais pixels são afetados, e como
 - **Mapeamento inverso (*ray casting*): lança um raio a partir de cada pixel** no plano de projeção, os raios percorrem o volume, valores são amostrados ao longo do caminho e combinados para determinar o valor do pixel

Visualização Volumétrica Direta

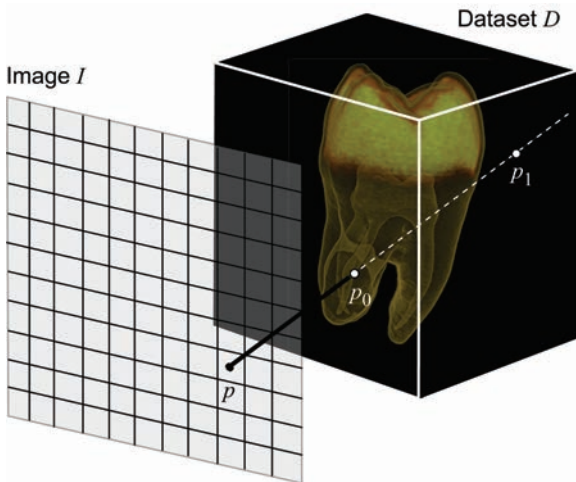


Figura: Princípio conceitual da visualização volumétrica.

Visualização Volumétrica Direta

- **Composição** para tratar pixels afetados por **múltiplos voxels** (MD) e **múltiplos valores** encontrados ao longo do caminho de um raio

Visualização Volumétrica Direta

- **Composição** para tratar pixels afetados por **múltiplos voxels** (MD) e **múltiplos valores** encontrados ao longo do caminho de um raio
- Cada voxel tem uma opacidade, opacidades são combinadas para determinar a cor do pixel
 - Determinar a **transparência acumulada** entre o plano de projeção e o voxel ($\prod_{j=0}^{i-1} (1 - o_j)$) e usar essa informação para **ajustar a intensidade** do pixel ($c_i \times o_i$) (cor e opacidade)

Visualização Volumétrica Direta

- **Composição** para tratar pixels afetados por **múltiplos voxels** (MD) e **múltiplos valores** encontrados ao longo do caminho de um raio
- Cada voxel tem uma opacidade, opacidades são combinadas para determinar a cor do pixel
 - Determinar a **transparência acumulada** entre o plano de projeção e o voxel ($\prod_{j=0}^{i-1} (1 - o_j)$) e usar essa informação para **ajustar a intensidade** do pixel ($c_i \times o_i$) (cor e opacidade)
- Vor final de um pixel dada por:

$$I(x,y) = \sum_{i=0}^n c_i \times o_i \times \prod_{j=0}^{i-1} (1 - o_j)$$

- em que c_i e o_i são cor e opacidade do voxel i , respectivamente

Visualização Volumétrica Direta

- **Problema de classificação:** como mapear um valor associado a um voxel nos canais de opacidade e de cor (RGB)

Visualização Volumétrica Direta

- **Problema de classificação:** como **mapear** um **valor associado a um voxel** nos **canais de opacidade e de cor** (RGB)
- Mapeamento definido por **Funções de transferência**
 - Pode-se, p.ex., analisar voxels em que acontecem transições significativas de valor (mudança de cor e opacidade)
 - Definir tais funções não é trivial: pode demandar interação do especialista

Visualização Volumétrica Direta

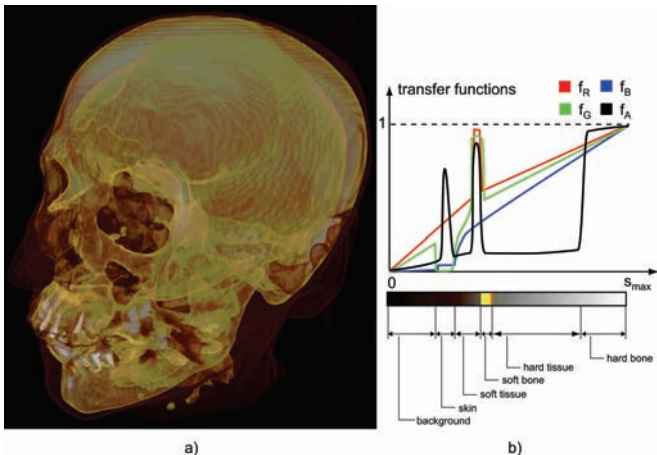


Figura: (a) rendering de volume representando uma cabeça. (b) função de transferência que enfatiza tecido mole e as partes mole e dura dos ossos.

Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é o cálculo da **iluminação e tonalização** – não existem normais
 - Pode-se considerar o **gradiente** (taxa de mudança) em cada direção do volume

Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é o cálculo da **iluminação e tonalização** – não existem normais
 - Pode-se considerar o **gradiente** (taxa de mudança) em cada direção do volume
- Gradiente na direção x de um voxel (v_x, v_y, v_z) pode ser calculado com base nos seus vizinhos (v_{x-1}, v_y, v_z) e (v_{x+1}, v_y, v_z)

Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é o cálculo da **iluminação e tonalização** – não existem normais
 - Pode-se considerar o **gradiente** (taxa de mudança) em cada direção do volume
- Gradiente na direção x de um voxel (v_x, v_y, v_z) pode ser calculado com base nos seus vizinhos (v_{x-1}, v_y, v_z) e (v_{x+1}, v_y, v_z)
 - Uma maneira simples de determinar g_x , o componente x do gradiente, é fazer $v_x - v_{x-1}$ (**operador intermediário de diferença**)

Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é o cálculo da **iluminação e tonalização** – não existem normais
 - Pode-se considerar o **gradiente** (taxa de mudança) em cada direção do volume
- Gradiente na direção x de um voxel (v_x, v_y, v_z) pode ser calculado com base nos seus vizinhos (v_{x-1}, v_y, v_z) e (v_{x+1}, v_y, v_z)
 - Uma maneira simples de determinar g_x , o componente x do gradiente, é fazer $v_x - v_{x-1}$ (**operador intermediário de diferença**)
 - Realizando essa operação nas três direções x , y , e z tem-se uma aproximação da direção de maior variação do valor do voxel

Visualização Volumétrica Direta

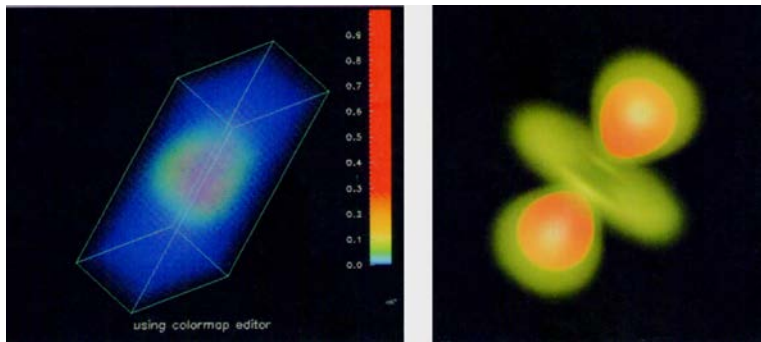


Figura: Exemplos de rendering volumétrico direto. (a) modelo emissivo, sem cálculo de tonalização (b) abordagem baseada em textura incluindo componentes especulares e difusas.

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Dados Unidimensionais
- 3 Dados Bidimensionais
- 4 Dados Tridimensionais
- 5 Dados Vetoriais: Fluidos**
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências

- **Visualização de fluidos** (*flow visualization*): estudo de métodos para a visualização do comportamento dinâmico de líquidos e gases

Visualização de Fluidos

- **Visualização de fluidos** (*flow visualization*): estudo de métodos para a visualização do comportamento dinâmico de líquidos e gases
- **Computational Fluid Dynamics (CFD)** define métodos capazes de simular fluidos em uma vasta gama de condições
 - Simulações computadas em grades 2D ou 3D: **vetores de velocidade** (dados vetoriais)
 - Análise do campo vetorial para identificar **turbulência, vórtices**, pontos de sela (*saddle points*) e outras estruturas

Visualização de Fluidos

- **Visualização de fluidos** (*flow visualization*): estudo de métodos para a visualização do comportamento dinâmico de líquidos e gases
- **Computational Fluid Dynamics (CFD)** define métodos capazes de simular fluidos em uma vasta gama de condições
 - Simulações computadas em grades 2D ou 3D: **vetores de velocidade** (dados vetoriais)
 - Análise do campo vetorial para identificar **turbulência**, **vórtices**, pontos de sela (*saddle points*) e outras estruturas
- Campos vetoriais podem ser:
 - **Estáticos**: o campo de velocidade é estável
 - **Variantes no tempo**: vetores de velocidade variam, mas suas posições não; ou valores e posição variam (*unsteady flows*)

Técnicas de Visualização de Fluidos

- Visualização mais simples: mostrar o campo de velocidade usando glifos representando os vetores
- Outra estratégia é gerar um campo escalar da magnitude, e utilizar técnicas de visualização de **valores escalares**

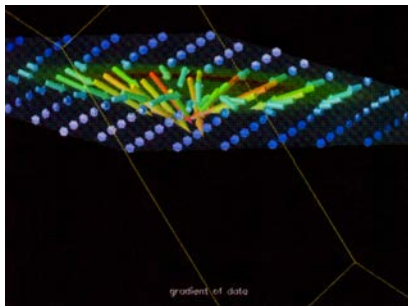


Figura: Visualização de uma nuvem de chuva: setas indicam a direção e força do vento.

Técnicas de Visualização de Fluidos

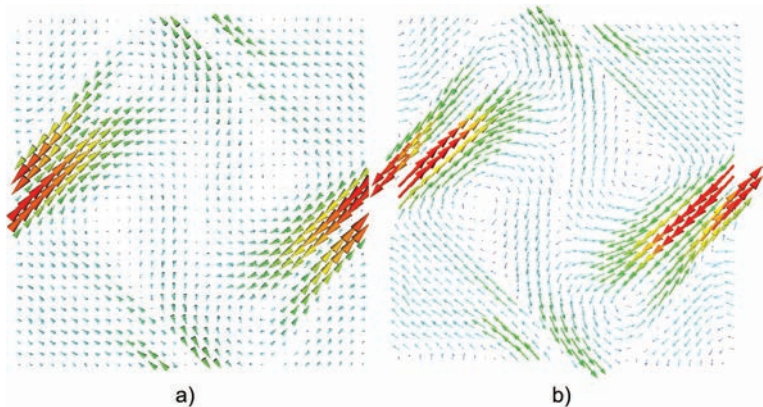


Figura: Diferentes tipos de glifos. (a) cones (b) setas.

- Uma das **dificuldades** é controlar o **número de elementos** exibidos
 - Muitos: **obscurece** a visualização
 - Poucos: características importantes podem **passar despercebidas**

Técnicas de Visualização de Fluidos

- Uma das **dificuldades** é controlar o **número de elementos** exibidos
 - Muitos: **obscurece** a visualização
 - Poucos: características importantes podem **passar despercebidas**
- Pode ser amenizada com **controle interativo** pelo usuário ou por técnicas que identifiquem **regiões de interesse**

Técnicas de Visualização de Fluidos

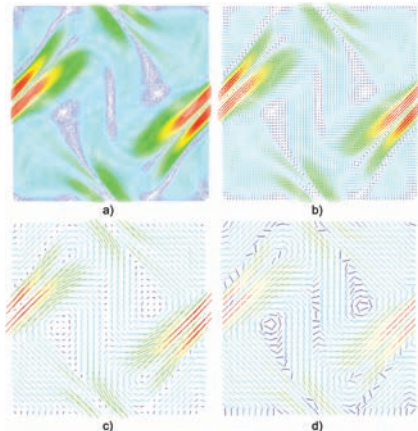


Figura: Visualização do campo de velocidade com diferentes amostragem de glifos. (a) metade (b) um quarto e (c) um oitavo. (d) Um quarto com glifos escalados para o mesmo tamanho.

Técnicas de Visualização de Fluidos

Streamlines

- Dadas algumas localizações (sementes), calcula para cada semente um caminho tangente ao campo de fluido
 - Caminho pode ser exibido como linhas, ou fitas
 - Outros **atributos**, como magnitude e vorticidade, mapeados em canais de cor, tamanho e torção

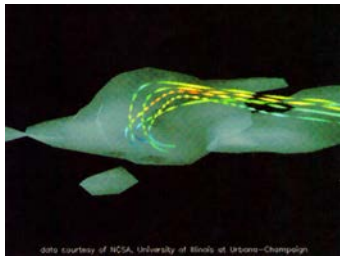


Figura: Visualização de fluidos usando fitas, com a vorticidade mapeada para a torção da fita.

Técnicas de Visualização de Fluidos

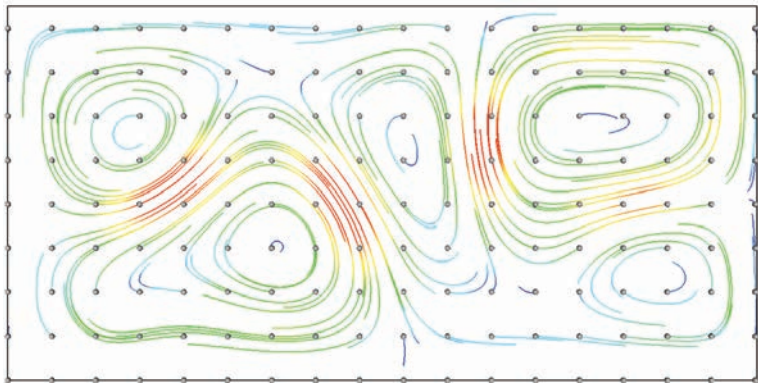


Figura: *Streamlines* em um campo de fluido 2D. Os pequenos círculos cinza indicam as sementes.

Convolução Integral de Linha

- Outro método interessante para visualização de fluidos é o **Line Integral Convolution (LIC)**
 - Usa um campo **vetorial** e um campo **aleatório** (textura)

Convolução Integral de Linha

- O valor de cada pixel na imagem é dado pela **média ponderada** de uma sequencia de pixels adjacentes no campo aleatório (da textura), ao longo de um **caminho** linear centrado no pixel e seguindo a *streamline* que passa por ele
 - Pixels ao longo de linhas com vetores similares adjacentes terão somas similares da imagem de textura

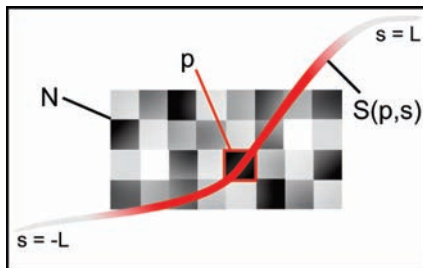


Figura: Ilustração do princípio do LIC.

Convolução Integral de Linha



Figura: A textura à esquerda é combinada com o campo vetorial no centro, criando a imagem à direita.

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Dados Unidimensionais
- 3 Dados Bidimensionais
- 4 Dados Tridimensionais
- 5 Dados Vetoriais: Fluidos
- 6 Combinando Técnicas**
- 7 Referências

Combinando Técnicas

- Desde que seja possível evitar a oclusão, pode ser uma **boa estratégia combinar múltiplas técnicas** para uma visualização mais efetiva
 - Na verdade, pode ser **necessário** em algumas aplicações, p.ex. previsão do tempo: temperatura da superfície, velocidade do vento, umidade relativa, etc.

Fatias + Isosuperfícies

- É possível unir **isosuperfícies** e **fatias** de um conjunto de dados empregando cores diferentes para cada uma das visualizações
 - O mapeamento das cores é o ponto crucial nessa junção

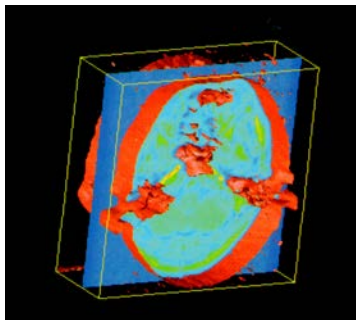


Figura: Conjunto de dados volumétricos da área médica: exhibe simultaneamente uma isosuperfície e uma fatia 2D.

Isosuperfícies + Glifos

- Para tornar uma **isosuperfície** mais representativa **glifos** podem representar informação adicional sobre os dados

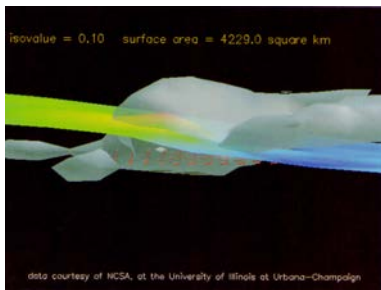


Figura: Visualização de uma nuvem de tempestade: combina uma isosuperfície e um plano de recorte mapeando a densidade da água, e glifos mostrando a direção e força do vento.

Rubber Sheet + Linhas de Contorno + Cor

- Mapear dados de maneira **redundante** para diferentes canais visuais pode favorecer a percepção do usuário



Figura: Visualização *rubber sheet* da altura acima e abaixo do nível do oceano.

Rubber Sheet + Linhas de Contorno + Cor

- Mapear dados de maneira **redundante** para diferentes canais visuais pode favorecer a percepção do usuário

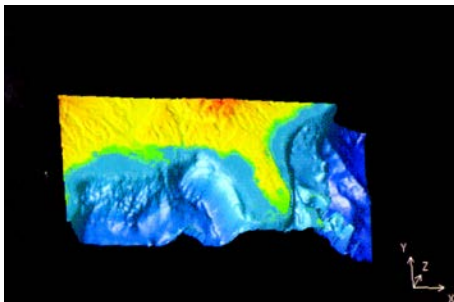


Figura: Visualização *rubber sheet* da altura acima e abaixo do nível do oceano: usa cor para mapear redundantemente a altura.

Rubber Sheet + Linhas de Contorno + Cor

- Mapear dados de maneira **redundante** para diferentes canais visuais pode favorecer a percepção do usuário

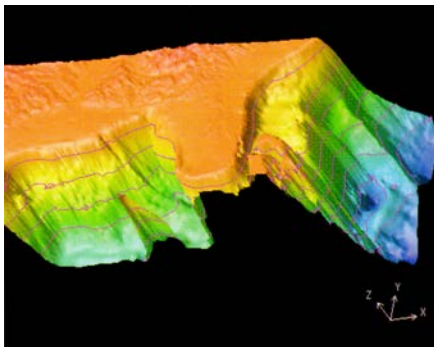


Figura: Zoom da figura anterior com linhas de contorno adicionais (informação do gradiente mais visível).

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Dados Unidimensionais
- 3 Dados Bidimensionais
- 4 Dados Tridimensionais
- 5 Dados Vetoriais: Fluidos
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências**

Referências

- Ward, M., Grinstein, G. G., Keim, D. **Interactive data visualization foundations, techniques, and applications.** Natick, Mass., A K Peters, 2010.
- Alexandru C. Telea. **Data Visualization: Principles and Practice.** A K Peters, 2008.