

## 3

### Descrição e visualização do modelo

Neste Capítulo descreveremos o processo de visualização volumétrica em malhas não estruturadas através do traçado de raio. Mostraremos como nosso dado é representado e descreveremos uma etapa de pré-processamento necessária ao método proposto.

#### 3.1

##### Visualização volumétrica

O interesse do homem de “ver através” levou a inventos importantes como o raio-x. Com a representação e armazenamento de dados reais, como dados médicos por exemplo, em computador, e com o interesse de analisar e obter informações intrínsecas a esses dados, surgiu a *visualização volumétrica* (Dre88, Lev88). A visualização volumétrica é baseada no fenômeno que ocorre com a luz em meio transparente. O dado volumétrico é mapeado em cor e transparência e cada cor representa uma propriedade desse dado, um exemplo poderia ser a densidade. O objetivo então é visualizar uma propriedade específica de forma opaca. Matematicamente, o dado volumétrico (volume) pode ser definido como uma função implícita  $F(x, y, z)$ , e o que se quer visualizar é uma isosuperfície  $c$ , ou seja, os pontos  $(x, y, z)$  que satisfazem  $F(x, y, z) = c$ . Esses pontos podem ser determinados fazendo o uso de um algoritmo de *tracado de raio* (Gar90). O algoritmo de traçado de raio consiste em, para cada pixel do plano da imagem, lançar um raio a partir da posição do observador na direção do modelo, e avaliar se o raio intersecta ou não a isosuperfície  $F^{-1}(c)$  de interesse, avaliando os pontos onde  $F(x, y, z) = c$ . A Figura 3.1 ilustra o processo de visualização volumétrica dada pelo algoritmo de traçado de raio.

Para se determinar os pontos de interseção entre o raio e a isosuperfície, deve-se levar em conta a representação do dado volumétrico. Com efeito, o dado volumétrico pode ser representado por uma malha estruturada ou não estruturada. Malhas não estruturadas são aquelas que representam o dado por um padrão irregular, isto é, subdivisões irregulares do espaço euclidiano, como pode ser vista na Figura 3.2(b), como por exemplo tetraedros. Já malhas

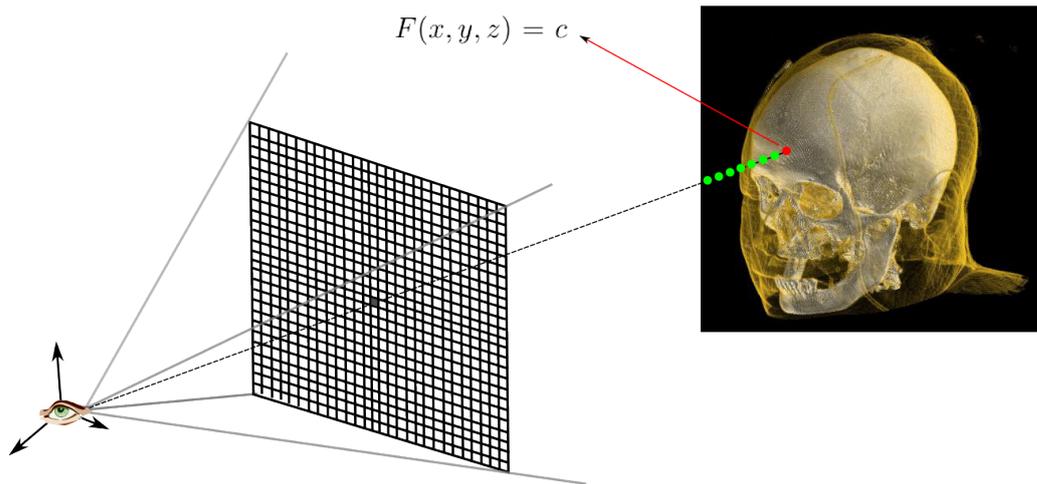
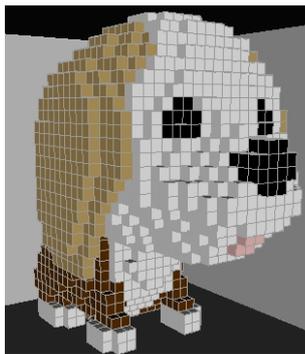
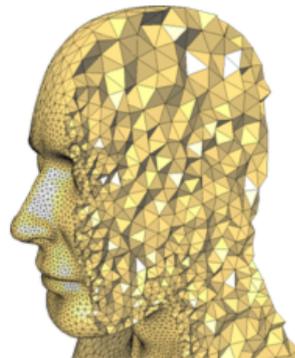


Figura 3.1: Visualização volumétrica.

estruturadas são aquelas que representam o dado por um padrão regular (grade regular), como pode ser visto na Figura 3.2(a).



3.2(a): Malha estruturada.



3.2(b): Malha não estruturada.

Figura 3.2: Tipos de representação do dado volumétrico.

### 3.2 Representação dos dados

Os dados volumétricos geralmente são decompostos em células tetraédricas ou hexaédricas. Quando o raio atravessa o volume, sua cor e opacidade são calculadas levando em consideração a variação do campo escalar dentro de cada célula. É simples de ver, que a variação linear do campo escalar leva a uma interação mais simples entre o raio e o volume. É por isso que uma abordagem comum para visualizar malhas de hexaedros é dividir cada célula em cinco ou seis tetraedros, aproximando a variação trilinear da função escalar por uma função linear por partes.

Neste trabalho, o dado volumétrico é representado por malhas tetraédricas não-estruturadas. O campo escalar é dado nos vértices dos tetraedros. Assume-se então uma variação linear por partes do campo escalar no interior do volume. O gradiente do campo escalar representa a sua variação. Em uma isosuperfície, o gradiente representa o vetor normal à superfície. Portanto, para calcular a luz difusa sobre a superfície, precisamos calcular o gradiente do campo escalar em pontos arbitrários do volume. Isso é feito usando um método de reconstrução linear do gradiente. Correa et al. (Cor11) apresentaram recentemente uma comparação entre os métodos de estimativa linear do gradiente, classificando-os em dois grupos: métodos baseados em médias e métodos baseados em regressão. Optamos por utilizar o método baseado em médias de *Green Gauss*, que produz bons resultados com um baixo custo computacional (Cor11).

Numa fase de pré-processamento, a partir de valores do campo escalar amostrados nos vértices da malha,  $f(\mathbf{x})$ , estimamos e armazenamos os gradientes como parte do dado volumétrico. Considerando uma célula tetraédrica definida por seus quatro vértices,  $\mathbf{v}_0$ ,  $\mathbf{v}_1$ ,  $\mathbf{v}_2$ , e  $\mathbf{v}_3$ , podemos calcular o gradiente constante ( $\nabla f$ ), associado à variação linear do campo escalar dentro da célula, resolvendo o seguinte sistema linear (Cor11):

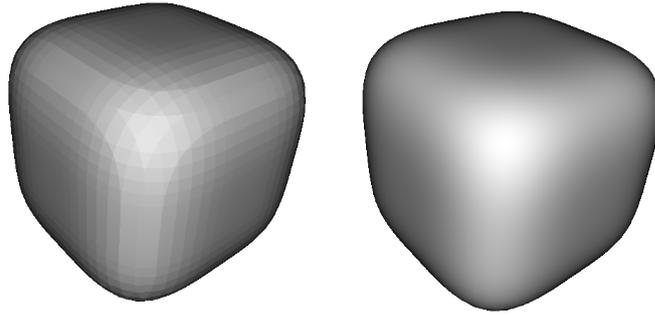
$$\begin{bmatrix} (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_0)^T \\ (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_0)^T \\ (\mathbf{v}_3 - \mathbf{v}_0)^T \end{bmatrix} \nabla f = \begin{bmatrix} f(\mathbf{v}_1) - f(\mathbf{v}_0) \\ f(\mathbf{v}_2) - f(\mathbf{v}_0) \\ f(\mathbf{v}_3) - f(\mathbf{v}_0) \end{bmatrix} \quad (3-1)$$

Assumimos que todos tetraedros que definem o volume são não-degenerados. A partir dos gradientes constantes, associado às células, precisamos calcular gradientes suavizados nos vértices; caso contrário, a iluminação da isosuperfície teria descontinuidades ao longo das interfaces das células como podemos ver na Figura 3.3(a).

Métodos baseados em média expressam o gradiente em um dado vértice  $\mathbf{x}$ , pela média dos gradientes de tetraedros vizinhos:

$$\nabla f(\mathbf{x}) = \sum_i w_i \nabla f_i(\mathbf{x})$$

onde  $w_i$  é o fator de ponderação, e  $\nabla f_i(\mathbf{x})$  é o gradiente constante do tetraedro adjacente  $i$ . A aproximação de *Green-Gauss* utiliza o volume de cada tetraedro ( $V_i$ ) como fator de ponderação (Cor11):



3.3(a): Gradiente constante.      3.3(b): Gradiente linear.

Figura 3.3: Cubo arredondado iluminado.

$$\nabla f(\mathbf{x}) = \sum_i V_i \nabla f_i(\mathbf{x})$$

Uma vez que temos o gradiente definido em cada vértice, podemos estimar o gradiente em algum ponto  $\mathbf{x}$  dentro de um tetraedro usando *coordenadas baricêntricas*. A coordenada baricêntrica associada ao ponto  $\mathbf{x}$  em um dado tetraedro é definida por:

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} = \mathbf{B} (\mathbf{x} - \mathbf{v}_0)$$

onde:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_0 & \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_0 & \mathbf{v}_3 - \mathbf{v}_0 \end{bmatrix}^{-1}$$

Calculamos a matriz  $\mathbf{B}$  e a associamos ao tetraedro correspondente em uma fase de pré-processamento. A quarta coordenada baricêntrica é dada por:  $\lambda_0 = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)$ .

Durante o traçado de raio, para cada ponto da isosuperfície  $\mathbf{x}$ , calculamos a coordenada baricêntrica, e em seguida, o vetor normal unitário associado por:

$$\vec{n} = \frac{\nabla f(\mathbf{x})}{\|\nabla f(\mathbf{x})\|}$$

com  $\nabla f(\mathbf{x})$  dado por:

$$\nabla f(\mathbf{x}) = \lambda_0 \nabla f(\mathbf{v}_0) + \lambda_1 \nabla f(\mathbf{v}_1) + \lambda_2 \nabla f(\mathbf{v}_2) + \lambda_3 \nabla f(\mathbf{v}_3)$$

A Figura 3.4 resume os passos descritos. A Figura 3.3(b) ilustra o processo de interpolação do campo normal, removendo as descontinuidades antes existentes.

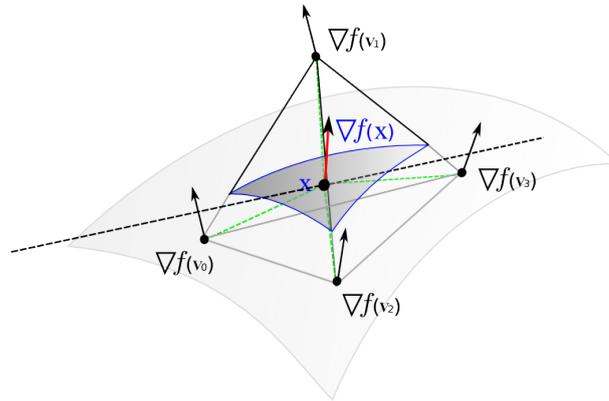


Figura 3.4: Interpolação baricêntrica.

### 3.3

#### Traçado de raio em malhas de tetraedros

O transporte da luz através de meio volumétrico dada por (McC88):

$$I(D) = I(0)e^{-\int_0^D \rho(t)dt} + \int_0^D e^{-\int_t^D \rho(u)du} \kappa(t)\rho(t)dt$$

onde  $D$  é o comprimento do raio no interior do volume,  $\rho$  e  $\kappa$  representam os coeficientes de atenuação e luminância, geralmente mapeados aos valores RGBA através de uma função de transferência.

Um grande desafio em renderização volumétrica é avaliar esta integração de uma maneira rápida e precisa. Uma das abordagens é baseada em traçado de raio. Dada uma malha não estruturada composta de células tetraédricas, um conjunto de raios é lançado a partir da posição do olho até a fronteira externa da malha do modelo. Então, seguindo as adjacências dos tetraedros o raio atravessa o volume.

Neste trabalho, usamos um algoritmo para traçado de raio implementado em CUDA (Mir11). Em cada passagem de célula, o valor da integração do raio é calculado usando uma abordagem proposta por Moreland e Angel (Mor04) e Espinha e Celes (Esp05). Considerando uma função de transferência linear por partes, é possível pré-calcular a integral e armazená-la em uma textura 2D, e

utilizar os valores escalares na face de entrada e de saída do tetraedro como coordenadas de textura para acessar os valores pré-computados.

A Figura 3.5 ilustra o processo de traçado de raio para malhas não estruturadas. Em cada vértice é definido o valor do campo escalar. Esse campo varia linearmente em relação a distância  $l$  percorrida pelo raio dentro do tetraedro. Quando o raio atinge o tetraedro, é obtido o valor  $S_f$ , que é o escalar na face de entrada. Obtém-se também o valor do campo escalar  $S_b$ , na face de saída do raio. Assim, a partir dos escalares  $S_f$  e  $S_b$ , o valor da integral do transporte de luz, pré-calculado, é acessado. Mais detalhes em (Esp05).

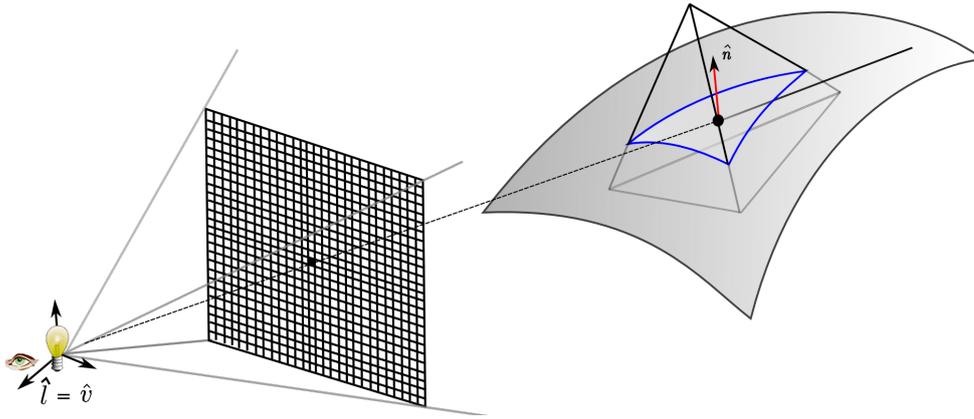


Figura 3.5: Traçado de raio em malhas não estruturadas.