



Ray Tracing e Ray Casting

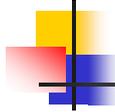
Rosane Minghim
Computação Gráfica
Vários autores

ICMC – USP
2007 - 2017



Resumo

- Introdução
- Ray Tracing Básico
- Intersecção Raio-Cena
- Ray Tracing Recursivo
 - Sombra
 - Reflexão
 - Transparência
- Antialiasing
- Volumes Limitantes
- Referências Bibliográficas



Introdução

- Computação Gráfica
 - Modelagem
 - Visualização

- Ray Tracing
 - Algoritmo de visualização simples e eficiente.



Ray Tracing Básico

- Idéia
 - Observador se senta em frente a uma tela plana transparente. De seus olhos partem diversos "raios visuais" que vão atravessar os pontos da tela e bater nos objetos tridimensionais, que foram definidos utilizando-se alguma técnica de modelagem. Pintamos, então, o ponto da tela que foi atravessado pelo raio com a cor do objeto que foi atingido por este.

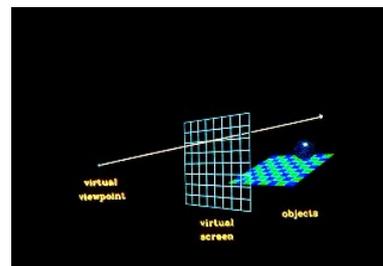
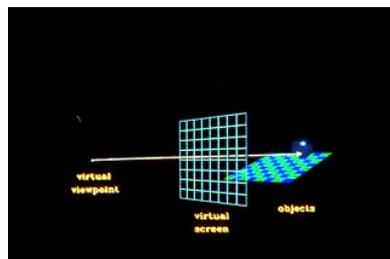
Ray Tracing Básico

■ Algoritmo

Para cada ponto (i,j) da tela

- Calcule uma linha reta unindo o olho do observador a um ponto (i,j) da tela;
- Descubra as interseções desta reta com os objetos 3D que estão atrás da tela;
- Se houve interseções, pinte o ponto com a cor do objeto mais próximo. Caso contrário pinte o ponto com a cor do fundo.

Ray Tracing Básico

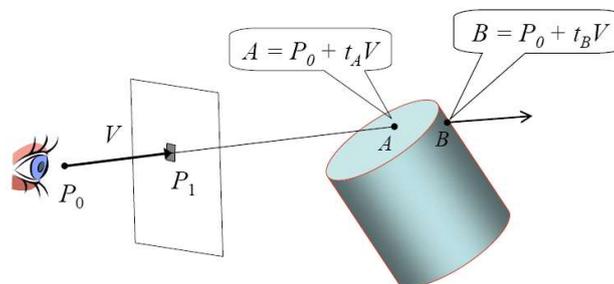


Ray Tracing Básico

- Os objetos são descritos sob a forma de estrutura de dados.
- Diversos fatores influem no cálculo da cor do ponto, como a iluminação, por exemplo.
- Caminho inverso.

Intersecção Raio-Cena

- O raio é modelado como uma reta em forma paramétrica: $P_0 + t.V$ e $V = P_1 - P_0$

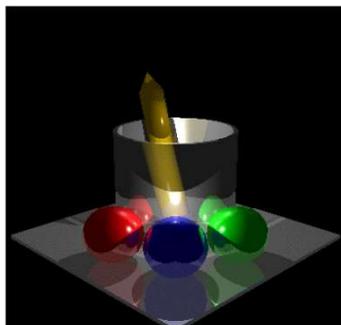


Ray Tracing Recursivo

- O algoritmo completo de Ray Tracing é formado por diversas chamadas recursivas. Tal recursão é necessária para produzir os efeitos de reflexão, sombra e transparência.

Ray Tracing Recursivo

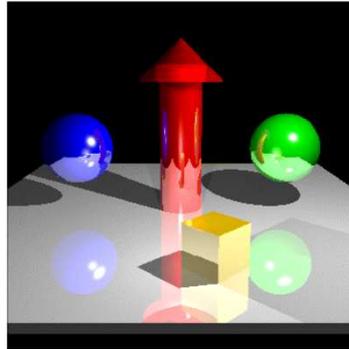
- Sombra
 - lançar um outro raio, chamado "raio de sombra", que une o ponto do objeto que foi atingido ao ponto de luz. Se entre o ponto e a luz existir um outro objeto opaco, este ponto estará na sombra.



Ray Tracing Recursivo

■ Reflexão

- lançado um novo raio visual a partir do ponto atingido, só que na direção de reflexão. Este ponto terá a cor calculada a partir do raio refletido.

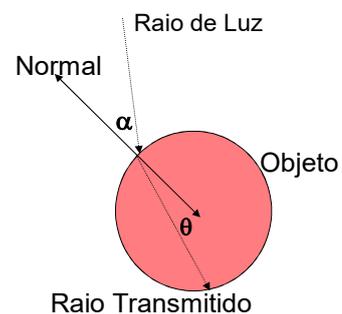


Ray Tracing Recursivo

■ Transparência

Lei de Snell

$$\eta_{\alpha} * \sin \alpha = \eta_{\theta} * \sin \theta$$



Ray Tracing Recursivo

■ Transparência

$$\frac{N1}{N2} = \frac{\text{sen}\theta2}{\text{sen}\theta1}$$

$$T = (N_{21} \cdot (N \cdot I) - \sqrt{1 - (N_{21})^2 \cdot (1 - (N \cdot I)^2)}) \cdot N - N_{21} \cdot I$$

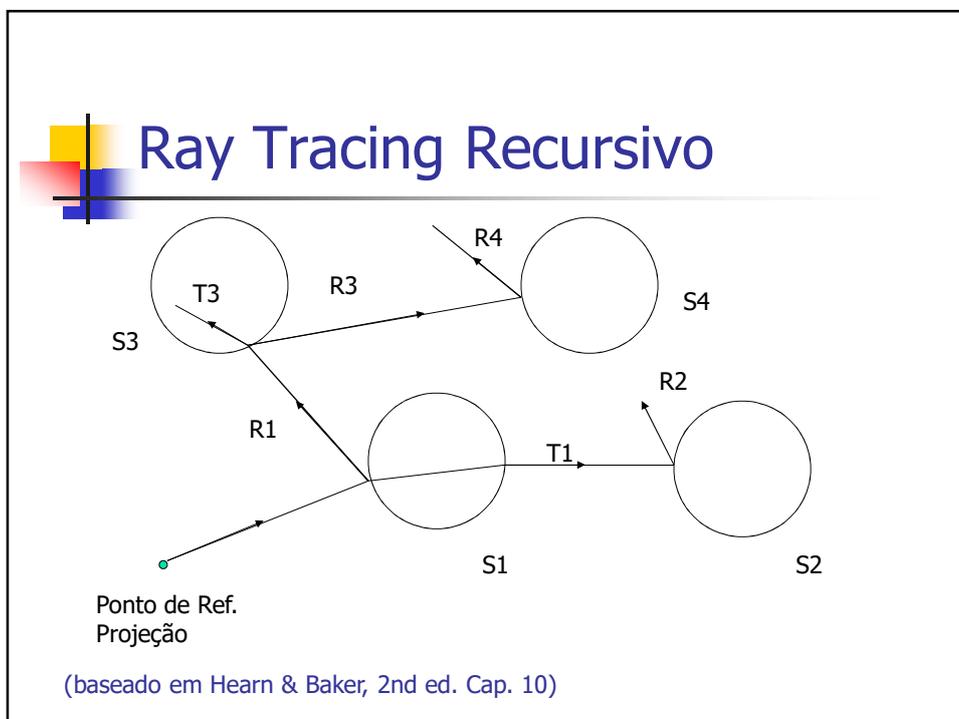
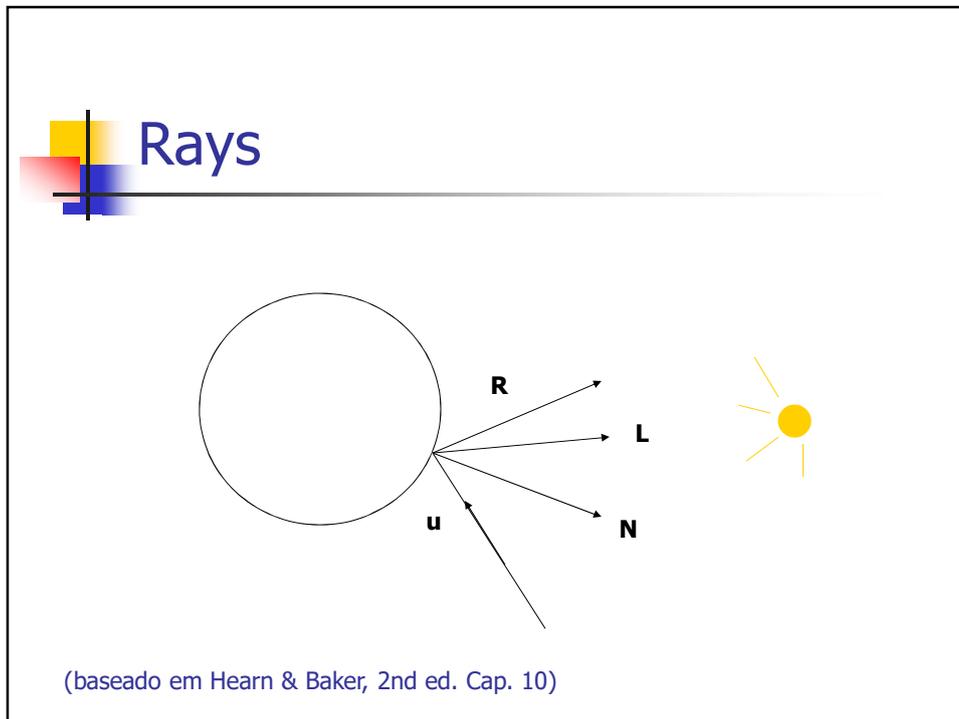
$$N_{21} = \frac{N2}{N1}$$

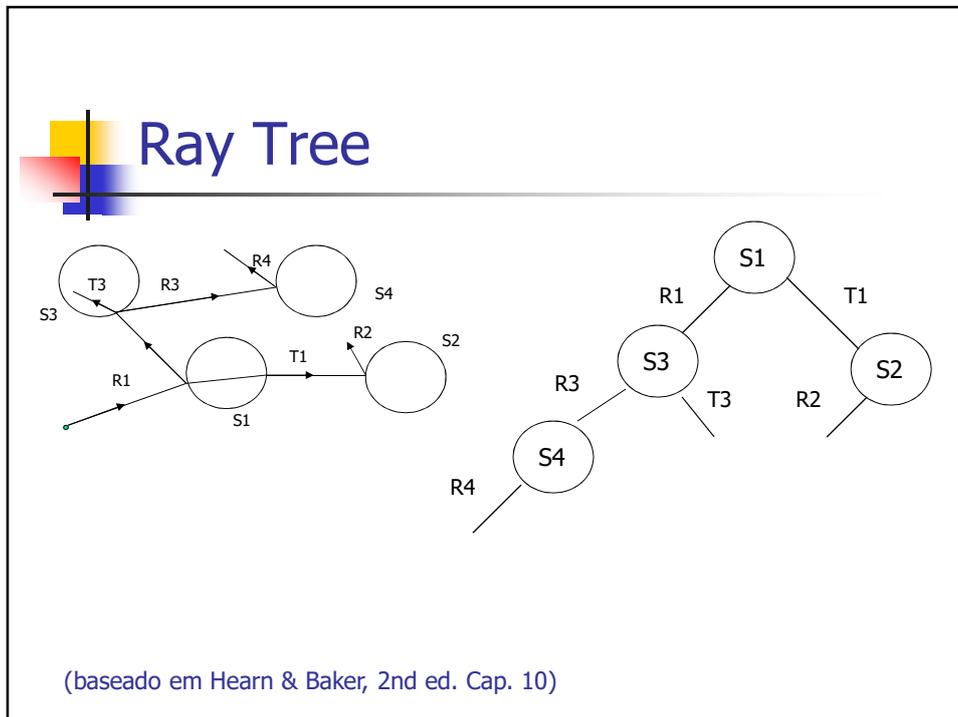
N = Normal na superfície no ponto atingido pelo raio.
 I = Vetor de incidência da luz.

Ray Tracing Recursivo

■ Transparência





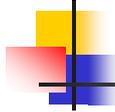


Ray Tracing Recursivo

- Algoritmo

Para cada ponto(i,j) da tela

- Calcule uma linha reta unindo o olho do observador a um ponto (i,j) da tela;
- Descubra as interseções desta reta com os objetos 3D que estão atrás da tela;
- Se houve interseção, determinar o objeto mais próximo:
 - Computar contribuição da luz ambiente
 - Para cada fonte de luz, determinar a visibilidade (detecção d sombra). Se a fonte for visível, somar a contribuição de reflexão difusa.
 - Se limite de recursão não foi atingido: somar contribuição de reflexão especular acompanhado o raio refletido, e somar contribuição de transmissão acompanhando o raio refratado.
- Caso contrário pinte o ponto com a cor do fundo.



Realismo e Antialiasing

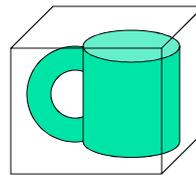
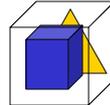
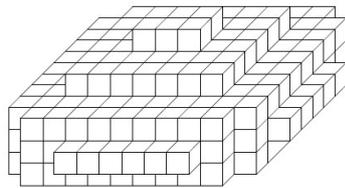
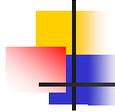
- lançar mais raios por pixel, calculando intensidades de "sub-pixels", e depois calcular uma média aritmética ou ponderada destes valores.
- selecionar aqueles pixels que precisam ser melhor calculados.
 - aqueles em cuja vizinhança ocorra uma grande mudança de cor.



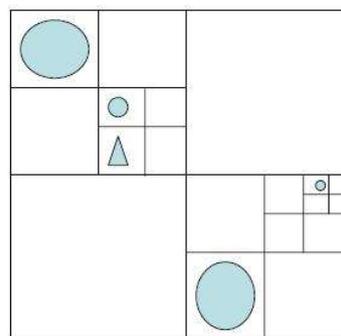
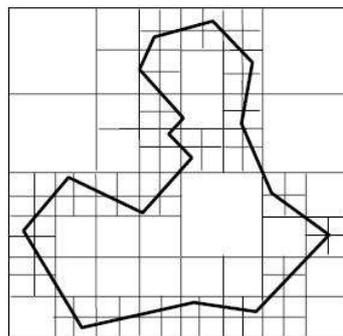
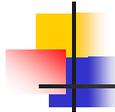
Eficiência: Volumes Limitantes e decomposição espacial

- O algoritmo de Ray Tracing gasta entre 75% e 95% de seu tempo determinando as interseções com os objetos, por isso, a eficiência da rotina de interseção raio-objetos afeta significativamente a eficiência do algoritmo.

Decomposição Espacial e Volumes Limitantes



Decomposição Espacial e Volumes Limitantes



Volumes

- Surface Based
- Direct Volume Rendering (DVR)

Volumes

Brain Scan Demo



24

Volumes

- One value per vertex

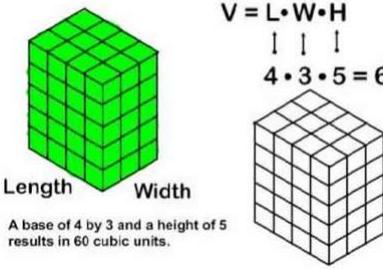
or

- One value per cube

Volume Of A Rectangular Prism

$$V = L \cdot W \cdot H$$

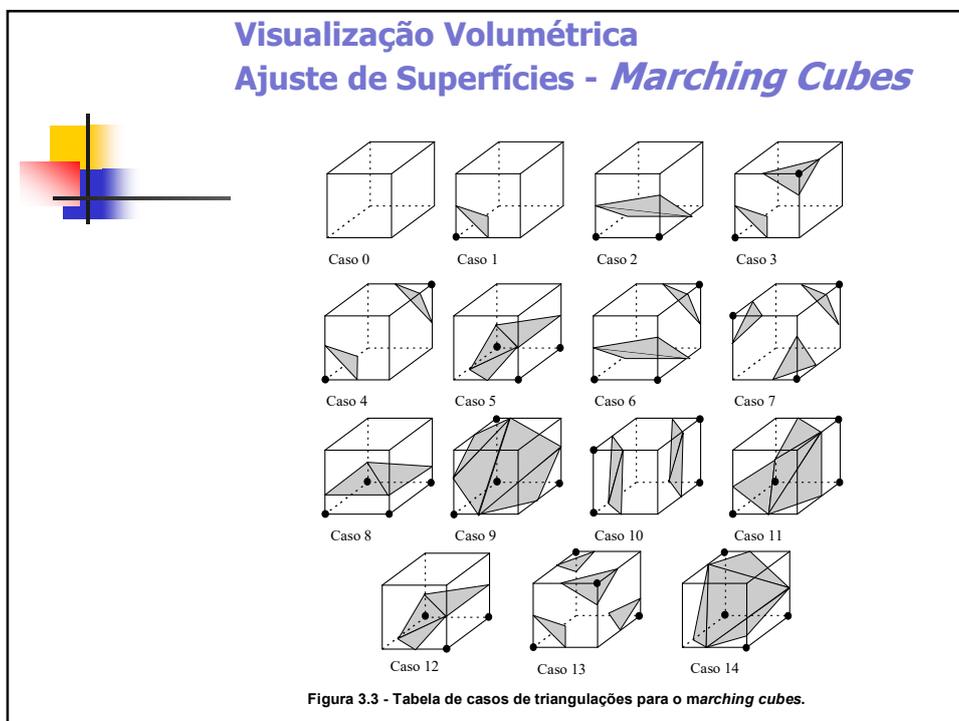
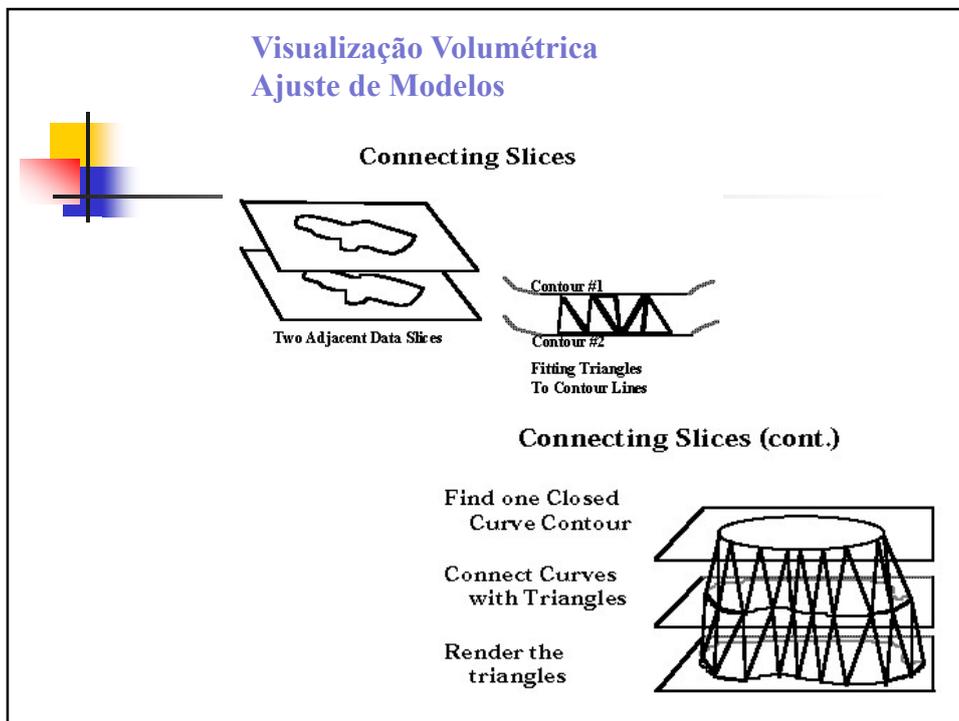
$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$
 $4 \cdot 3 \cdot 5 = 60 \text{ u}^3$



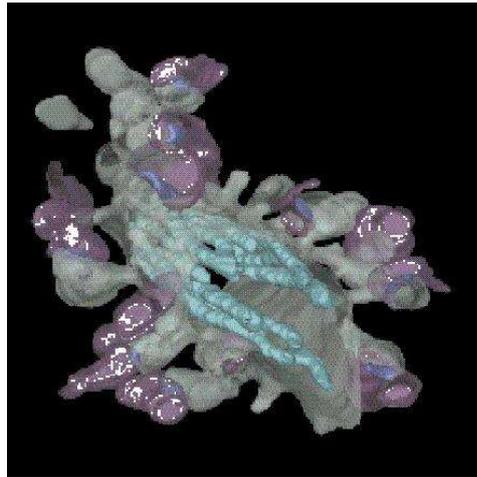
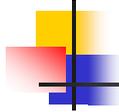
A base of 4 by 3 and a height of 5 results in 60 cubic units.

Surface Based

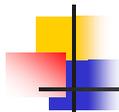
- Find structures of interest from values
- Trace object's polygonal meshes
- Visualize as conventional CG



Visualização Volumétrica
Ajuste de Superfícies - *Marching Cubes*
Exemplo



Direct Volume Rendering
(*ray casting*)

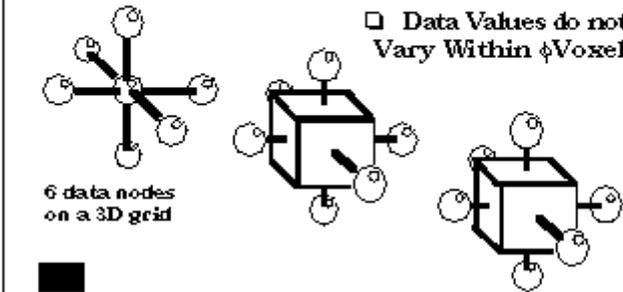


- Directly view volume data
- No intermediate surface primitives
 - No geometry
- Contrast with Surface Rendering

Volumes

Voxels

- Each Gridpoint has a Sample Value
- Resample the Volume
- Data Values do not Vary Within ϕ Voxels γ



6 data nodes
on a 3D grid

© 1995-2000 GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

31

- *Determine* voxels that contribute to each pixel in image
- *Integrate* contributions of those voxels to obtain color for that pixel
- How integration performed is key difference between volume rendering techniques

32

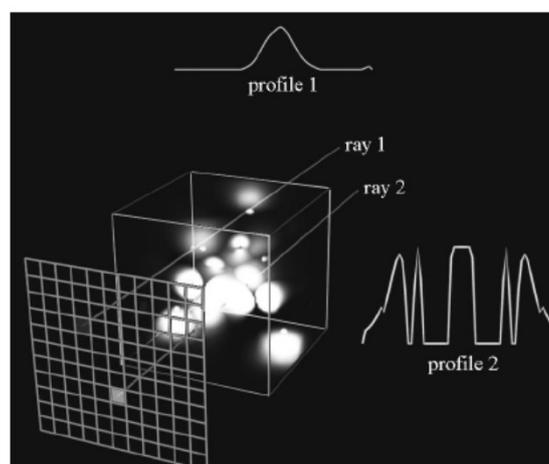
Image-order Volume Rendering

- "Ray casting"
- Basic idea
 - Determine value of each pixel in image
 - Send ray through pixel into scene according to current camera parameters
 - Evaluate data along ray using some specified function
 - → compute pixel value

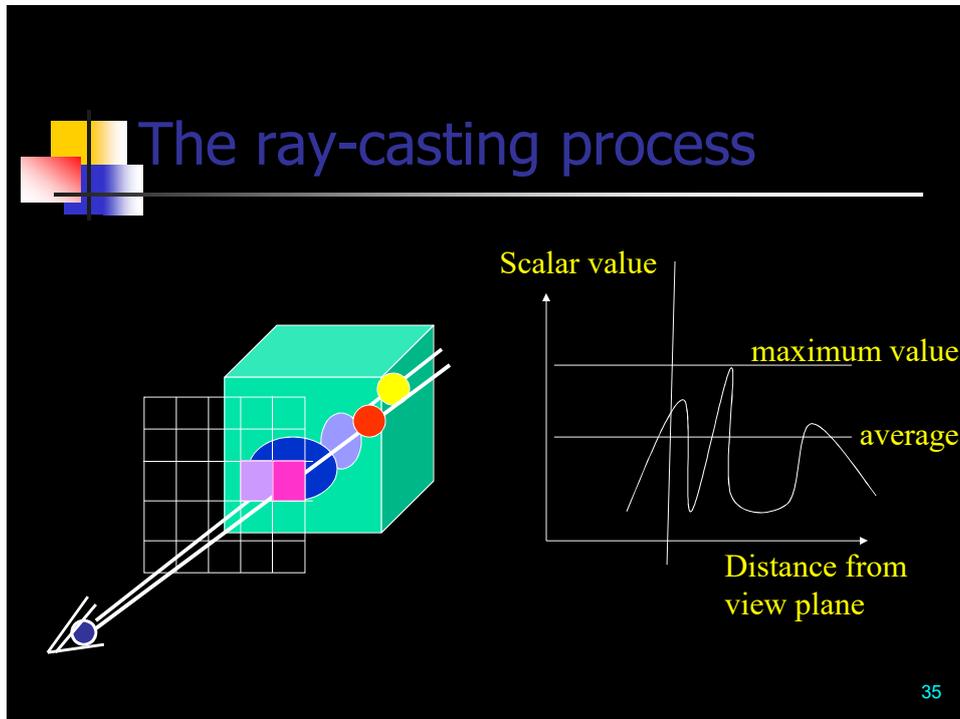
33

The ray-casting process

- Para cada raio, amostra os valores escalares no volume
- Coleta perfil de valores escalares
- Como converte esse perfil em uma intensidade para exibição?



34



Ray functions

- Pergunta: que função usar para mapear os escalares em intensidades?
- (ignoramos cor, por enquanto)
- Modelo de iluminação para dados volumétricos
 - Assume que voxels emitem luz proporcionalmente ao seu valor escalar

36

Ray functions

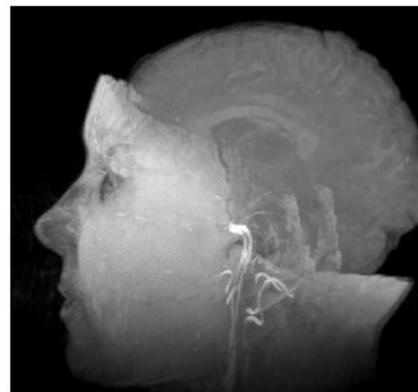
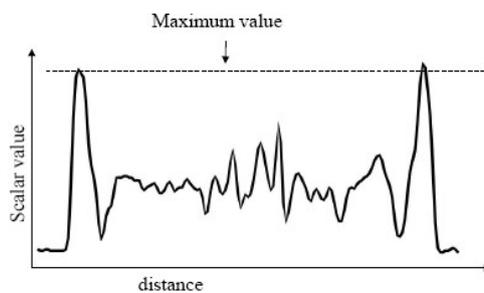
- Que função usar?
- (1) Maximum value
- (2) Average value
- (3) Threshold distance
- (4) Alpha composite technique

37

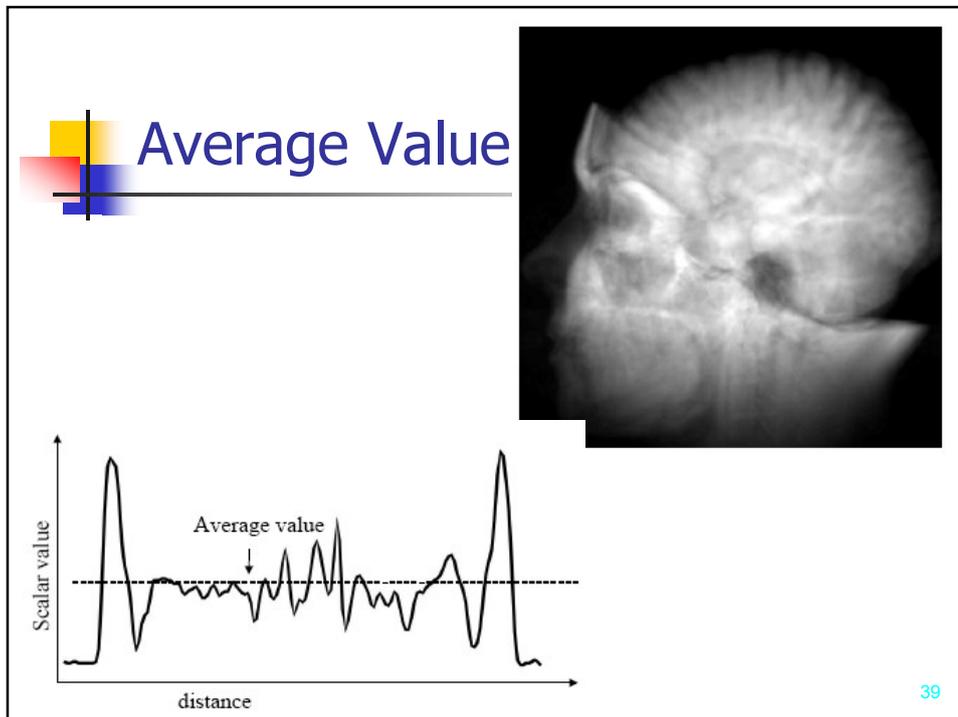
Maximum Value

Sem blending/transparência

Limitação: percepção de profundidade...



38



Threshold distance

- At or above threshold that ray first encounters
- Intensidade determinada pela profundidade do voxel/célula

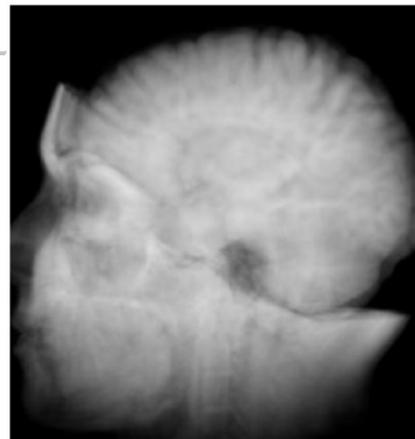
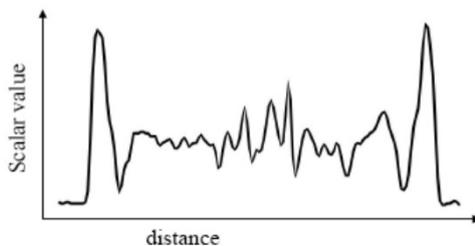
40

Alpha composite technique

- Treat values along ray as samples of opacity accumulated per unit distance
- Valor acumulado ao longo do raio
- Opção 1: valor escalar amostrado usado como o valor alfa do voxel
 - \Rightarrow mais brilhante (intenso) = mais visível
 - Captura informação de oclusão
 - Percepção de profundidade relativa
 - Voxels mais a frente favorecidos

41

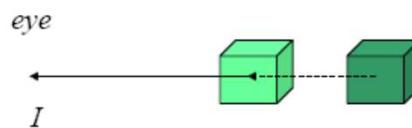
Composite



42

Composite

- Opção 2: especificação de transparência independentemente do valor escalar
- Valor escalar = 'brilho' célula



- Luz no olho (I) = $A E$
 - 'brilho' da célula + luz transmitida
- A (opacidade) * E (luz emitida pela célula)

43

Composite

- Se célula é totalmente transparente, seu 'brilho' é invisível
 - Mas o brilho das células atrás dela é visível
- Se célula é totalmente opaca, seu 'brilho' é visível
 - Mas o das células atrás dela não é
- Back-to-front ray casting
 - Precisa armazenar apenas o valor corrente de I

44

Composite

- Back-to-front ray casting
 - só precisa armazenar o valor corrente de I

$$I_n = A_n E_n + (1 - A_n) I_{n-1}$$

Subscript n refers to cell n .
 A refers to object *opacity*.

- Start with furthest away cell and blend towards the camera.
- I_n corresponds to current contents of the frame buffer.
- E_n Light emitted from cell n

Podem ser feitos cálculos irrelevantes se houver voxels muito opacos na frente...

45

Composite

- Front-to back ray casting

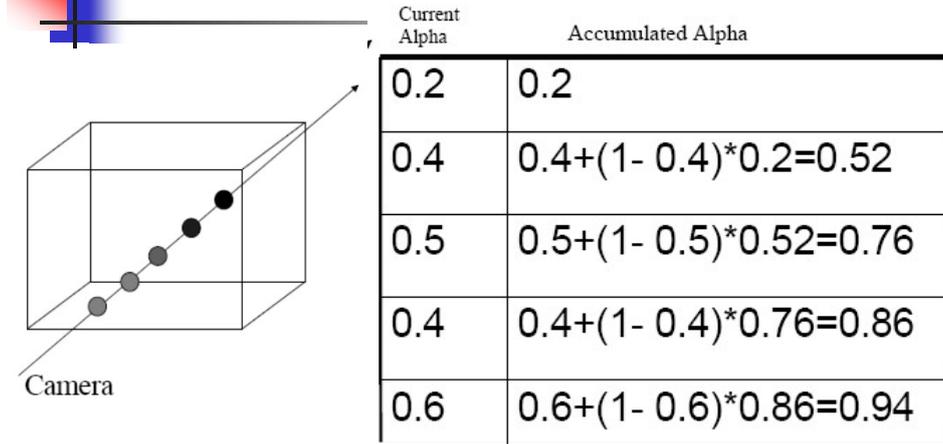
- buffer para armazenar o alfa corrente permite acumular começando das células mais a frente
- término prematuro qdo opacidade se aproxima de 1.0

$$C_{acc} += (1 - \alpha_{acc}) \times (\alpha_{sample} C_{sample})$$

$$\alpha_{acc} += (1 - \alpha_{acc}) \times \alpha_{sample}$$

46

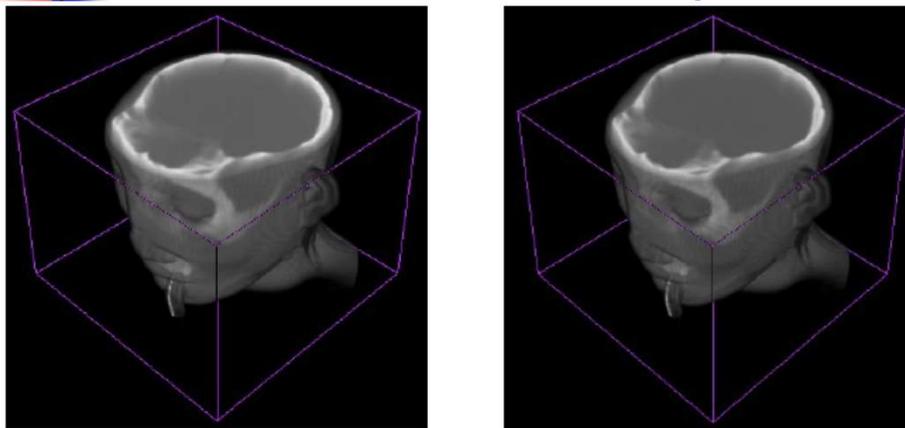
Composite front-to-back



Pode interromper processo quando opacidade (alfa) ~ 1.0

47

Efeito do tamanho do passo

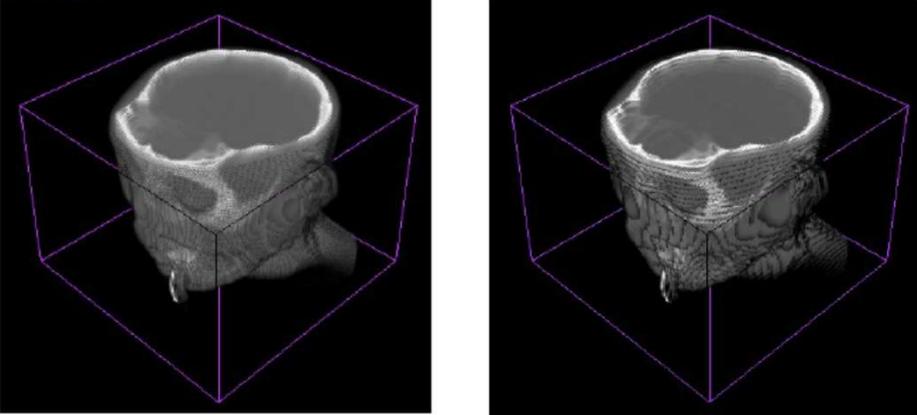


Step = 0.2

Step = 1.2
(mild artefacts)

48

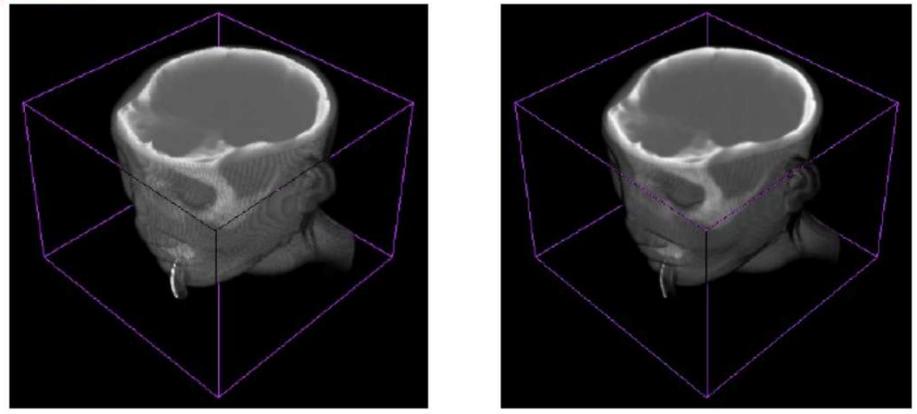
Efeito do tamanho do passo



Step = 3.5
(visible artefacts)

Step = 7.0
(highly visible artefacts
- distract from data itself)

Efeito da interpolação



Nearest neighbour
(visible artefacts in rendering)

Tri-linear interpolation (i.e. in X,Y & Z)
(smoother, no artefacts)

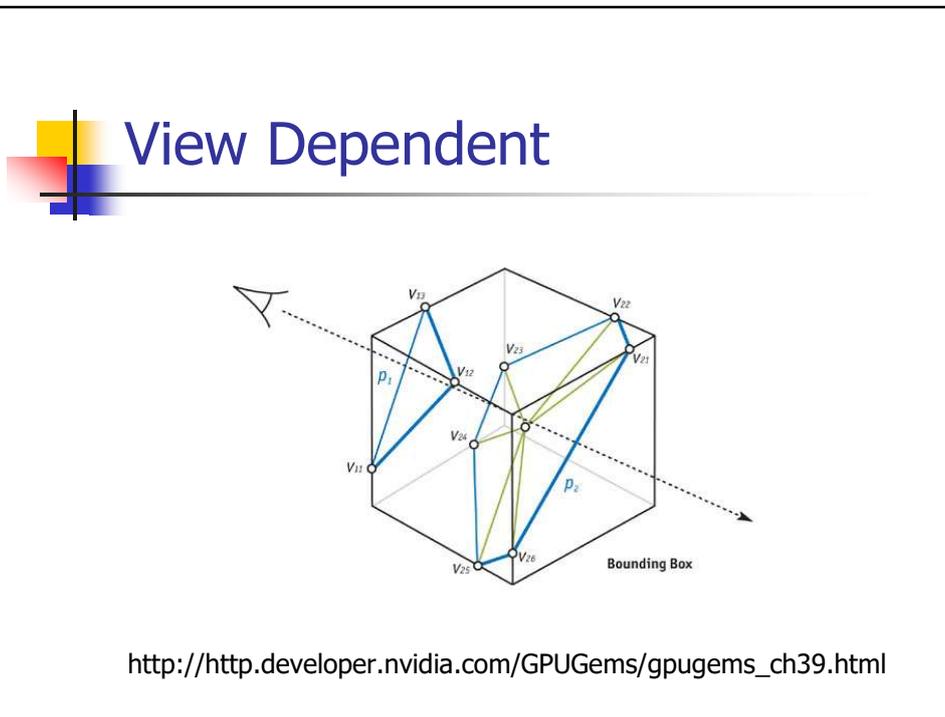
Step = 1.0

DVR - Example



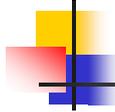
Acceleration methods

- Space leaping (group of techniques)
 - Attempt to avoid processing regions of volume that will not contribute to final Image
 - E.g., build octree data structure ...



Visual improvement

- Como simular reflexão
 - Porque?
 - Iluminação básica nos voxels de fronteira
- Percepção: iluminação diminui com a profundidade



Ray Tracing x Ray Casting...

- Realismo x Análise de Dados
- Processo físico x processo puramente visual
- Z-buffer



Material Adicional

- Introdução ao Ray Tracing. Fernando Wagner Serpa Vieira da Silva, Laboratório de Computação Gráfica – LCG, COPPE / UFRJ – Engenharia de Sistemas e Computação.
- Introdução a Computação Gráfica – Ray Tracing. Cláudio Esperança e Paulo Roma Cavalcanti, UFRJ.
- Notas de aula: Ray Tracing. J. M. Brisson Lopes. IST - Portugal
- Mestrado: Uma Implementação Simples do Algoritmo Traçado de Raios. Maria Ferreira de Noronha e Marcelo Gattass (Orientador) – PUC Rio