



# Ray Tracing

---

*Leandro Paganotti Brazil  
Danilo Medeiros Eler  
Rosane Minghim  
Computação Gráfica  
ICMC – USP  
2010*



## Resumo

---

- Introdução
- Ray Casting Básico
- Intersecção Raio-Cena
- Ray Tracing
  - Caminhos de Reflexão e Refração
  - Ray-Tracing Tree
  - Sombra, Reflexão e Transparência
- Intersecções
- Redução do Cálculo de Intersecções
  - Volumes Limitantes
  - Sub-divisão do Espaço
- Antialiasing
- Bibliografia Básica e Material Complementar



## Introdução

---

- Computação Gráfica
  - Modelagem
  - Visualização
- Ray Casting
  - Segue um raio lançado de cada pixel de um plano de projeção para identificar a contribuição obtida das intersecções dos objetos com o caminho do raio
- Ray Tracing
  - É uma generalização do procedimento básico de Ray Casting
  - Traça múltiplos caminhos de raios para identificar a contribuição de reflexão e refração dos múltiplos objetos em uma cena



## Ray Casting 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.

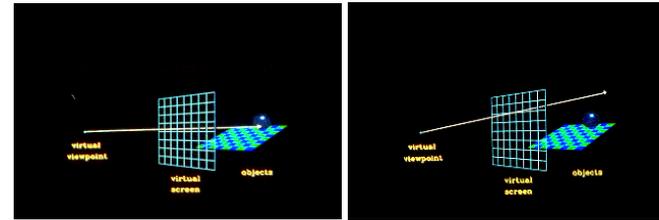
## Ray Casting Básico

### ■ 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 Casting Básico

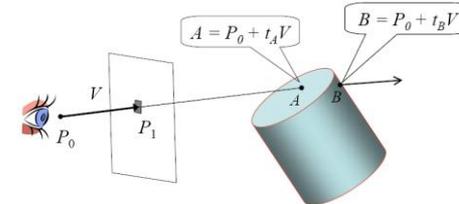


## Ray Casting Básico

- 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

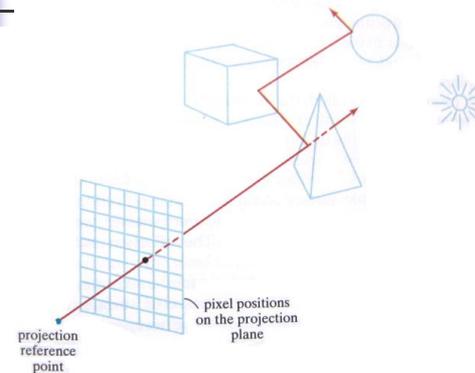
- O raio é modelado como uma reta em forma paramétrica:  $P_0 + t.V$  e  $V = P_1 - P_0$



## Ray Tracing

- Ao contrário do Ray Casting, não considera somente para a intersecção com as superfícies visíveis
- O raio intersecta com os objetos e continua a saltar ao redor da cena, coletando várias contribuições de intensidades

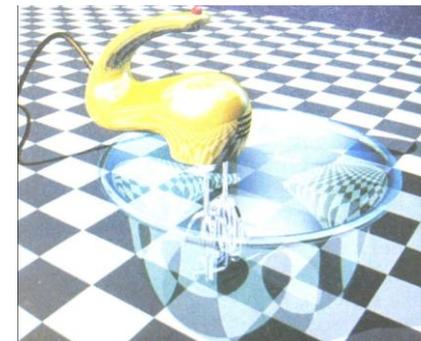
## Ray Tracing



## Ray Tracing

- Muitas extensões do algoritmos básico de Ray Tracing foram desenvolvidas para aumentar o realismo da cena
- Cenas construídas por Ray Tracing podem ser altamente realísticas, principalmente quando a cena contém objetos brilhantes

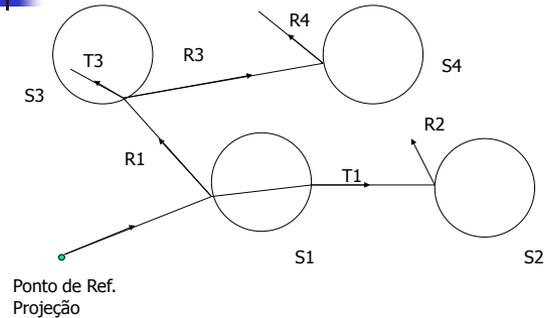
## Ray Tracing



## Ray Tracing

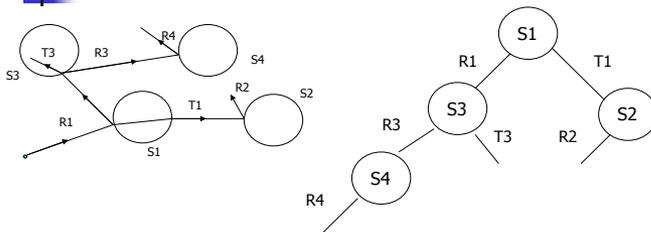
- O algoritmo de Ray Tracing é formado por diversas chamadas recursivas
- Tal recursão é necessária para determinar a interação do raio com os objetos da cena e produzir os efeitos de reflexão, sombra e transparência
- Os raios provenientes de reflexão e refração são chamados **raios secundários**

## Caminhos de Reflexão e Refração



(baseado em Hearn & Baker, 3rd ed. Cap. 10)

## Ray-Tracing Tree



(baseado em Hearn & Baker, 3rd ed. Cap. 10)

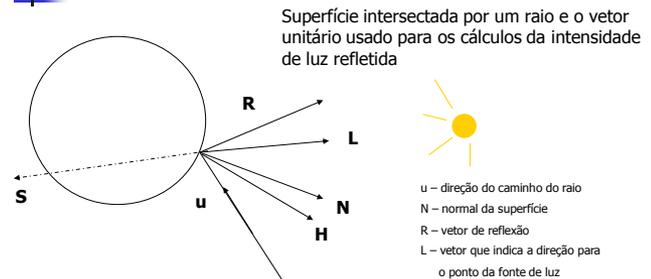
## Ray-Tracing Tree

- A profundidade máxima da Ray-Tracing Tree pode ser determinada pela quantidade de armazenamento disponível ou definida pelo usuário
- Um caminho da árvore é interrompido quando
  - O raio não intersecta com nenhuma superfície
  - O raio intersecta com uma superfície que não é reflexiva
  - A árvore chegou à sua profundidade máxima permitida

## Raios

- A cada intersecção, o modelo de iluminação é computado para determinar a contribuição da intensidade
- O valor da intensidade é armazenado na posição do correspondente nó de superfície na Ray-Tracing Tree

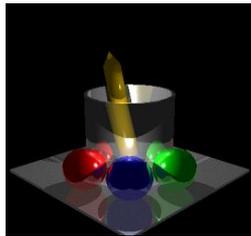
## Raios – Reflexão e Sombra



(baseado em Hearn & Baker, 3rd ed. Cap. 10)

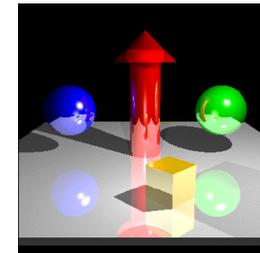
## Raios - Sombra

- 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.



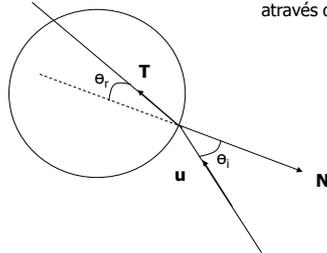
## Raios - Reflexão

- 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.



## Raios - Refração

Transmissão de um raio refratado (caminho T) através de um material transparente



u – direção do caminho do raio  
N – normal da superfície  
T – caminho do raio refratado  
S – ponto de sombra  
 $\theta_r$  – ângulo de refração  
 $\theta_i$  – ângulo de incidência

(baseado em Hearn & Baker, 3rd ed. Cap. 10)

## Raios - Refração

### ■ Transparência



## Raios - Refração

### ■ Transparência

$$T = \left( \frac{\eta_i}{\eta_r} u - (\cos \theta_i - \frac{\eta_i}{\eta_r} \cos \theta_r) N \right)$$

$$\cos \theta_r = \sqrt{1 - \left( \frac{\eta_i}{\eta_r} \right)^2 (1 - \cos^2 \theta_i)}$$

N – Normal na superfície no ponto atingido pelo raio.  
I – Vetor de incidência da luz.  
 $\eta_i$  – índice de refração do material de incidência  
 $\eta_r$  – índice de refração do material de refração  
 $\theta_i$  – ângulo de incidência  
 $\theta_r$  – ângulo de refração

## Ray Tracing

### ■ 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.

## Intersecções

- Um raio pode interseccionar com diferentes tipos de objetos
  - Superfícies
  - Esferas
  - Poliedros
- Para cada tipo de objeto, diferentes cálculos são realizados para identificar o ponto de intersecção

## Redução dos Cálculos com Intersecções

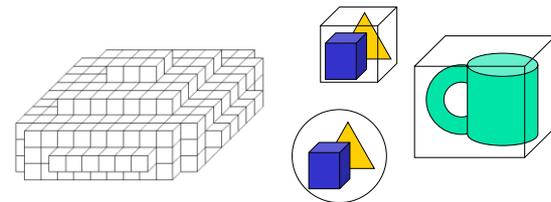
- Os cálculos de intersecção dos raios com as superfícies correspondem a 95% do tempo de processamento em uma cena gerada por Ray Tracing, afetando significativamente a eficiência do algoritmo
- Para uma cena com muitos objetos, a maior parte do tempo de processamento para cada raio é gasto checando se os objetos não estão visíveis ao longo do caminho do raio

## Redução dos Cálculos com Intersecções

- Muitos métodos foram desenvolvidos para reduzir o tempo gasto nos cálculos com intersecções
- Um dos métodos é colocar um grupo de objetos adjacentes dentro de um volume, tal como um cubo ou uma esfera
- Se um raio não intersecciona com o volume, as superfícies que estão dentro dele são descartadas dos cálculos

## Redução dos Cálculos com Intersecções

- Volumes Limitantes

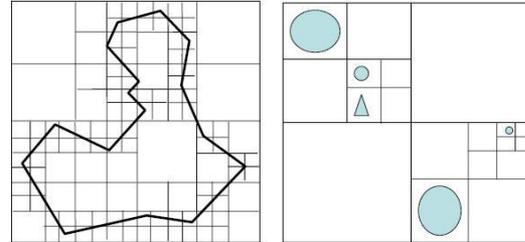


## Redução dos Cálculos com Intersecções

- Uma outra maneira de reduzir o cálculo com intersecções é usar a sub-divisão do espaço
- Os objetos são colocados dentro de um cubo, o qual é subdividido em células
- A sub-divisão do espaço pode ser armazenada em uma octree
- O caminho do raio é traçado através de células individuais, testando a intersecção somente naquelas células que contém superfícies

## Redução dos Cálculos com Intersecções

- Sub-divisão do espaço



## 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.

## Bibliografia Básica

- Hearn, D. Baker, P.M. Computer Graphics with OpenGL. Terceira Edição. Prentice Hall, 2004.
  - Seção 10.11



## 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
- The Internet Ray Tracing Competition
  - <http://www.irtc.org/>