

## Iluminação Global Além de RT e Radiosidade

Marcelo Walter  
Unisinos

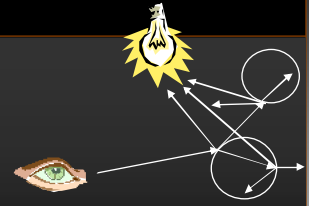
atualização setembro/2005

## Algumas considerações sobre Ray Tracing

•  $L(D)?S^*E$

• Raios enviados do olho para a cena

- Porque?
- Porque a maioria dos raios originados nas fontes de luz nunca atingem o olho



2

## Ray Tracing

• Má distribuição da carga de trabalho

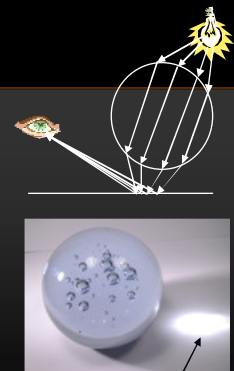
- Porque?
- Porque o número de raios cresce exponencialmente, e apesar deste aumento, o resultado incremental se torna menos importante para o cálculo de iluminação

3

## Casos Complicados I

• Cáusticas (LSDE)

- Luz foca através de uma superfície especular numa superfície difusa
- Qual direção devem os raios secundários serem enviados para detectar as cáusticas?



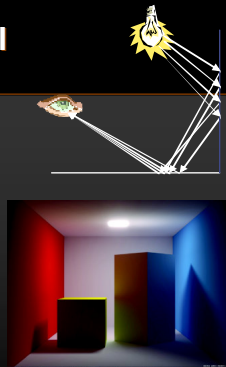
Afinal é difuso aqui...

4

## Casos Complicados II

• Bleeding (LDDE)

- Cor de uma superfície difusa refletida em outra superfície difusa
- Em que direção emitir os raios secundários?

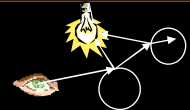


5

## Path Tracing

• Uma extensão de ray tracing

- Kajiya, SIGGRAPH 86
- Reflexão difusa gera número infinito de raios
- Seleciona um raio aleatoriamente



6

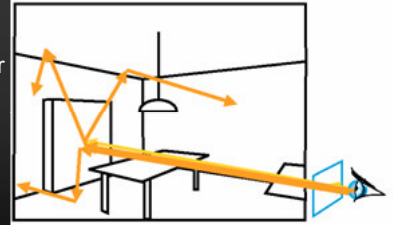
## Path Tracing

- A distribuição de luz é amostrada através do envio de raios **aleatórios** ao longo de todos os caminhos de iluminação possíveis
- Uma abordagem **Monte Carlo** para o problema de iluminação global
- A média de várias amostras provê uma estimativa da luz total que chega no pixel

7

## Monte Carlo (MC) Path Tracing

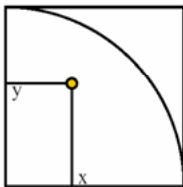
- Envia apenas um raio secundário por recursão
- Mas envia muitos raios primários por pixels



8

## Monte-Carlo computation of $\pi$

- Take a square
- Take a random point (x,y) in the square
- Test if it is inside the  $\frac{1}{4}$  disc ( $x^2+y^2 < 1$ )
- The probability is  $\pi/4$



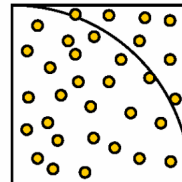
$$\frac{\# \text{ darts hitting shaded area}}{\# \text{ darts hitting inside square}} = \frac{\frac{1}{4} \pi r^2}{r^2} = \frac{1}{4} \pi$$

or

$$\pi = 4 \frac{\# \text{ darts hitting shaded area}}{\# \text{ darts hitting inside square}}$$

## Monte-Carlo computation of $\pi$

- The probability is  $\pi/4$
- Count the inside ratio  $n = \# \text{ inside} / \text{total} \# \text{ trials}$
- $\pi \approx n * 4$
- The error depends on the number of trials



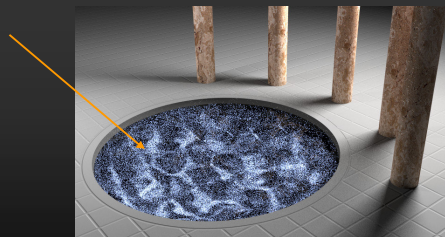
$$\frac{\# \text{ darts hitting shaded area}}{\# \text{ darts hitting inside square}} = \frac{\frac{1}{4} \pi r^2}{r^2} = \frac{1}{4} \pi$$

or

$$\pi = 4 \frac{\# \text{ darts hitting shaded area}}{\# \text{ darts hitting inside square}}$$

## Principal problema da Integração MC

- Ruído



- Diminui com número de amostras

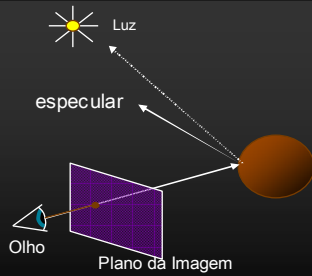
11

## Algoritmo para MC Path Tracing

- Envia o raio e encontra intersecção
- Do ponto de intersecção enviar
  - Um raio para cada fonte de luz
  - Um raio adicional (critério para esta raio mais adiante)
    - Reflexão difusa, OU
    - Reflexão especular, OU
    - Um raio transmitido
- Produz um ray "path" – não uma árvore de raios

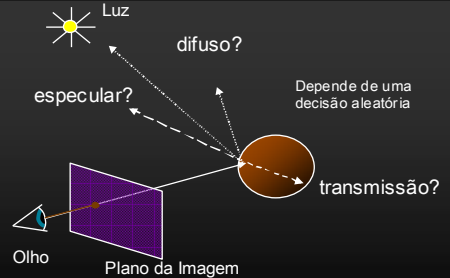
12

## Ray Tracing



13

## Path Tracing



14

## Estratégias de Amostragem

- Como escolher a distribuição dos raios aleatórios
- Duas possibilidades:
  - amostragem por regiões (*stratified sampling*)
    - Divide as direções possíveis em sub-regiões e envia uma amostra por subregião
  - *Importance sampling*
    - Amostragem de acordo com a BRDF

15

## Escolhendo o tipo de raio

- Como selecionamos qual raio enviar?
- Cada material tem um  $k_d$ ,  $k_s$ , e  $k_t$ 
  - Seja  $k_{tot} = k_d + k_s + k_t$
  - Selecionar um número aleatório  $R$  no intervalo  $(0, k_{tot})$ 
    - Se  $(R < k_d)$  então dispara difuso
    - Senão, se  $(R < k_d + k_s)$  dispara especular
    - Senão dispara transmitido

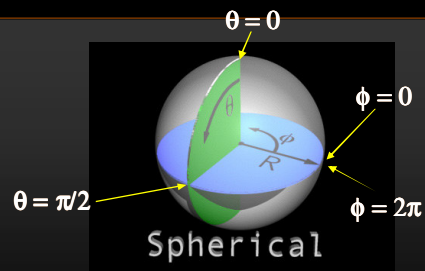
16

## Exemplo

- Sejam  $k_d=0.5$ ,  $k_s=0.3$ ,  $k_t=0.2$
- Valores aleatórios até 0.5 envia raio difuso
- Valores aleatórios maiores do 0.5 e menores do que  $0.5+0.3$  envia raio especular
- Valores maiores do que 0.8 envia raio transmitido

17

## Para cobrir o semi-hemisfério Coordenadas Esféricas



18

## Calculando a Reflexão Difusa

- Podemos calcular uma direção aleatória com o seguinte:
  - Dados dois números aleatórios  $\xi_1$  em  $[0, 1]$  e  $\xi_2$  em  $[0, 1]$ , a direção  $\omega_d$  refletida aleatoriamente é dada por

$$\omega_d = (\theta, \phi) = (\cos^{-1}(\sqrt{\xi_1}), 2\pi\xi_2)$$

vc consegue explicar o porque da sqrt?

19

## Exemplo

$$\xi_1 = 0.3 \quad \xi_2 = 0.67$$

$$\omega_d = (\cos^{-1}(\sqrt{0.3}), 2\pi \cdot 0.67)$$

$$(\theta, \phi) = (56.78^\circ, 241^\circ)$$

20

## Vantagens do Path Tracing

- Simula iluminação global
- Não desperdiça tempo em coisas não visíveis
- Custo constante e proporcional ao número de paths

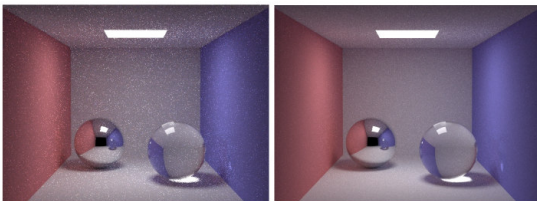
21

## Problemas

- Necessário traçar muitos raios para conseguir uma “boa” imagem
- Tipicamente 100 – 1000 raios por pixel

22

## Cornell Box: Path Tracing



10 rays per pixel

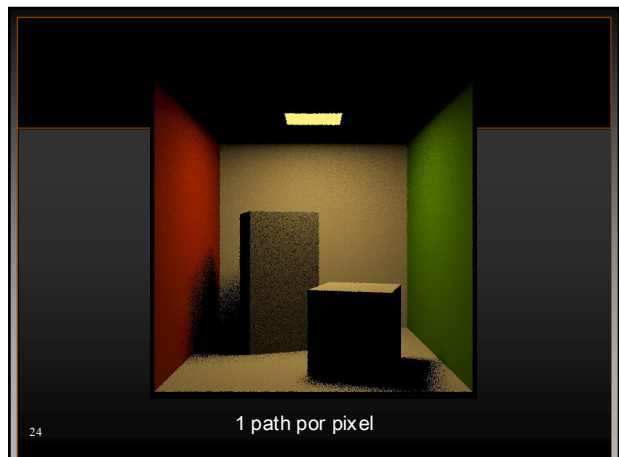
100 rays per pixel

From Jensen, Realistic Image Synthesis Using Photon Maps

23

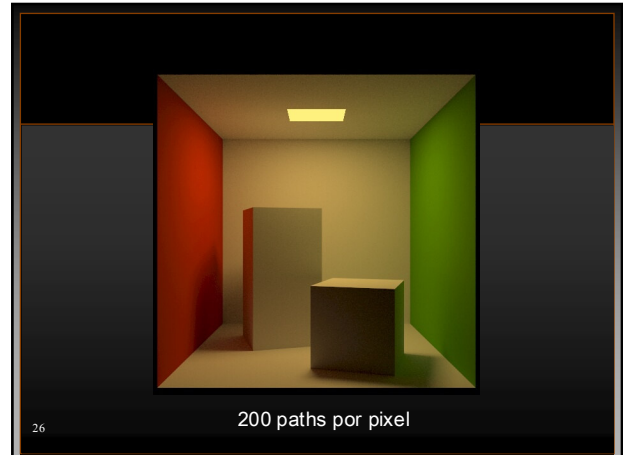
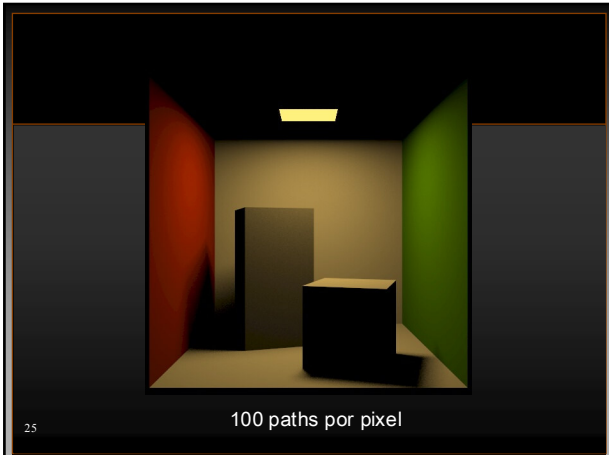
CS348B Lecture 15

Pat Hanrahan, Spring 2002



1 path por pixel

24



## Qual a situação em 1987?

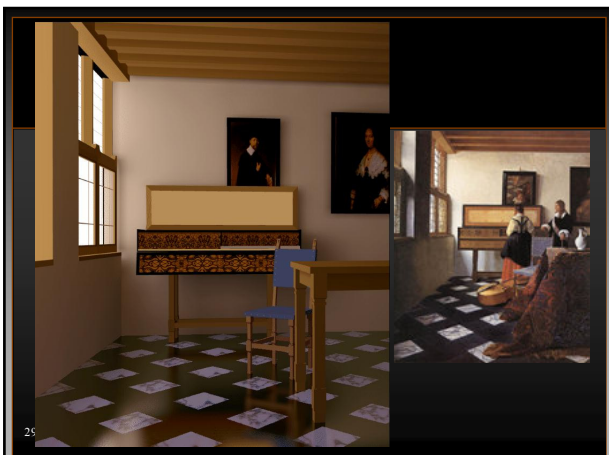
- **Path Tracing**
  - Extremamente caro
  - Imagens com excessivo ruído
- **Radiosidade estendida com capacidade direcional**
  - Exigia muito armazenamento
  - Não conseguia lidar com reflexões especulares corretamente

27

## Métodos Híbridos

- **Siggraph 87 - Wallace, Cohen & Greenberg**
- **Abordagem em dois passos**
  - Primeiro passo: Radiosidade view-independent, com extensões para lidar com efeitos de transmissão difusa e reflexão S->D
  - Segundo passo: View-dependent onde as contribuições especulares são incluídas

28



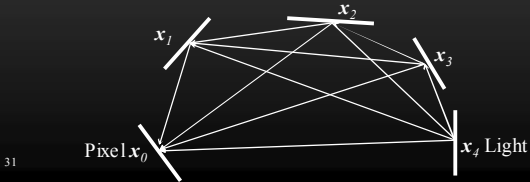
## Métodos Híbridos II

- **Siggraph 88 - Rushmeier**
- Calcula radiosidade normalmente
- Durante o RT, nas intersecções dos objetos, lança um raio adicional numa direção aleatória
- Encontra a primeira intersecção deste raio com uma superfície e utiliza a radiosidade dela no cálculo da iluminação

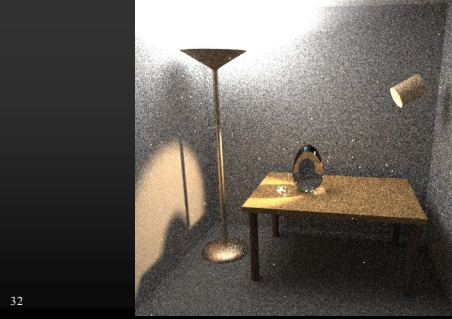
30

## Path Tracing Bidirecional (Veach 94)

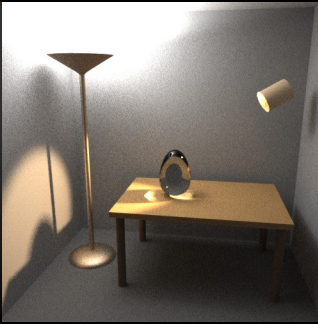
- Constrói o caminho a partir simultaneamente do olho e das fontes de luz e une no meio
- Utiliza também sub-paths derivados do path principal



## Bidirectional Path Tracing



## Bidirectional Path Tracing



<http://graphics.stanford.edu/papers/com bine/>