

IA725 – Computação Gráfica I

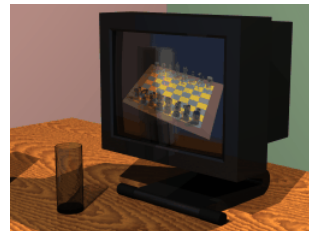
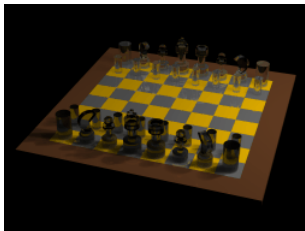
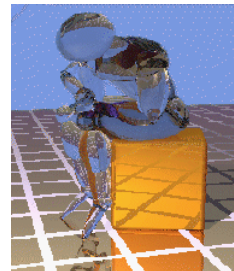
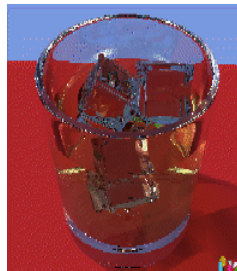
Estratégias de Traçado de Raios

Watt, capítulo 12
Foley, Seção 16.12

<http://homepages.paradise.net.nz/nickamy/simpleraytracer/simpleraytracer.htm>
<http://www.povray.org/documentation/view/3.6.1/1/ , 1.3.7, 2.3.4>

Traçado de Raios

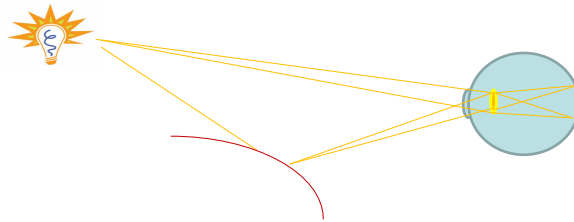
- Algoritmo de Iluminação
Global que trata
 - Remoção de superfícies escondidas
 - Tonalização por incidência direta
 - Efeitos de interações especulares (reflexão e refração)
 - sombras



IA725 - 1s2012 - Ting

Visão Geral

- Radiações luminosas são ondas eletromagnéticas da faixa espectral que se propagam no espaço em trajetórias retas.
- As ondas eletromagnéticas não se interferem quando elas se cruzam no espaço.
- O percurso de um raio partindo de um ponto da luz até um ponto da superfície é o mesmo partindo da superfície para a luz.

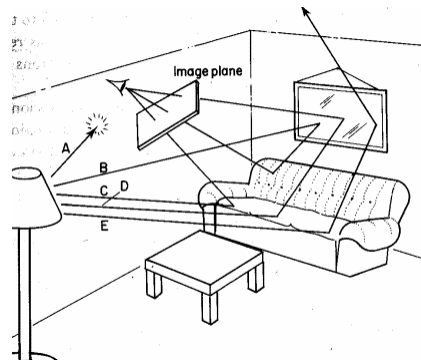


IA725 - 1s2012 - Ting

“Traçado de Raios”

Arthur Appel, 1968

- *Ray casting*: LR^*E (R = raios primários)
- Objetivo: tratar corretamente a visibilidade de arestas de sólidos.
- Lançar raios da fonte luminosa para observador?
 - Muitos raios não chegam no observador
 - Amostragem orientada ao receptor
- Raios a serem considerados:
 - Raios primários
 - Raios de incidência direta



IA725 - 1s2012 - Ting

<http://escience.anu.edu.au/lecture/cg/GlobalIllumination/printNotes.en.html>

Traçado de Raios Turner Whitted, 1980

- Traçado recursivo: $E[S^*]DL$.
- Objetivo: incluir visibilidade, incidências diretas, reflexões, refrações, sombras.
- Raios a serem considerados
 - Raios primários
 - Raios de incidência direta
 - Raios especulares (reflexões e refrações)
- Recursão sobre raios especulares.

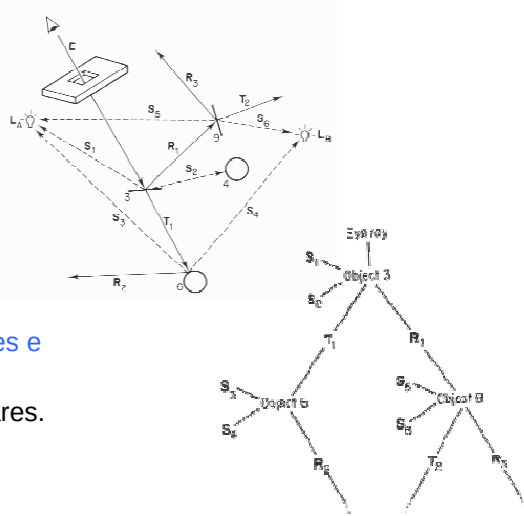


Fig. 12. The ray tree in schematic form.

IA725 - 1s2012 - Ting

Traçado de Raios Turner Whitted, 1980



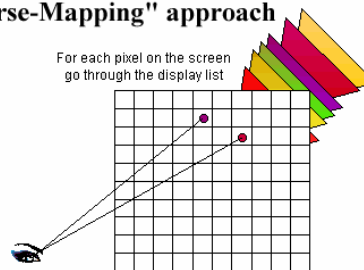
IA725 - 1s2012 - Ting

http://sophia.javeriana.edu.co/~ochavarr/computer_graphics_history/historia/

Esboço do Algoritmo

- *Pixels* no espaço da tela são mapeado em raios no espaço da câmera (um raio por *pixel*).
- Determinar interseções entre raios e objetos no espaço da câmera.
- Determinar pontos de interseção mais próximos do observador.
- Atribuir a cor destes pontos aos respectivos *pixels*.

"Inverse-Mapping" approach

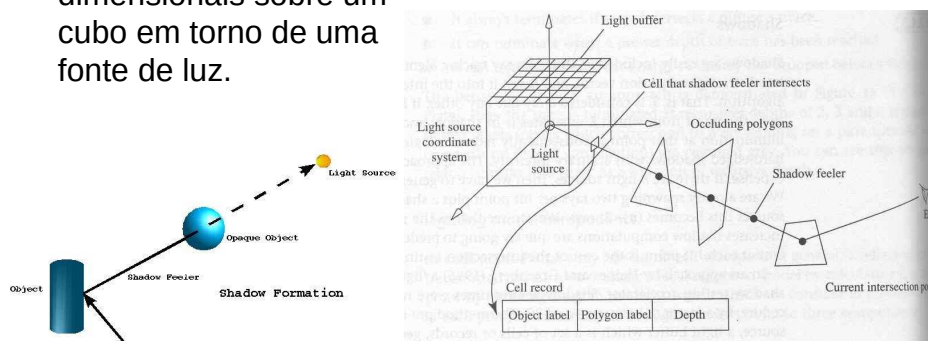


IA725 - 1s2012 - Ting

Sombras

Haines e Greenberg, 1986

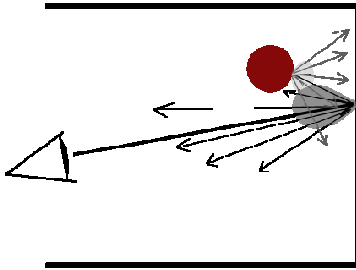
- *buffer* de luz: arranjos bi-dimensionais sobre um cubo em torno de uma fonte de luz.



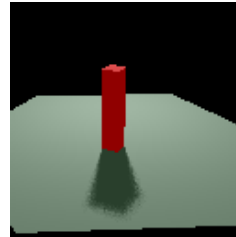
IA725 - 1s2012 - Ting

Penumbra

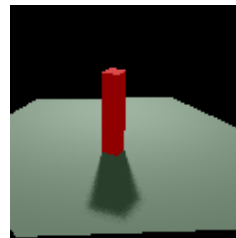
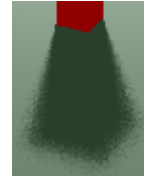
- Traçado de raios distribuídos: mais de um raio é disparado em direção da luz.



IA725 - 1s2012 - Ting



10 raios



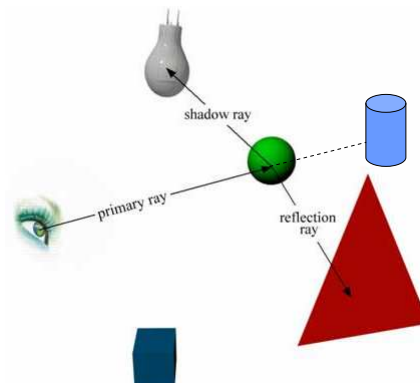
20 raios



http://web.cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/dist_ray/dist.html

Visibilidade

- Procedimento integrado no algoritmo.
- Superfícies que não estão no raio de visão podem ser "vistas".

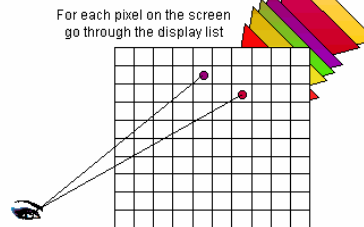


IA725 - 1s2012 - Ting

Esboço do Algoritmo

- *Pixels* no espaço da tela são mapeado em raios no espaço da câmera (um raio por *pixel*).
- Determinar interseções entre raios e objetos no espaço da câmera.
- Determinar pontos de interseção mais próximos do observador.
- Atribuir a cor destes pontos aos respectivos *pixels*.

"Inverse-Mapping" approach

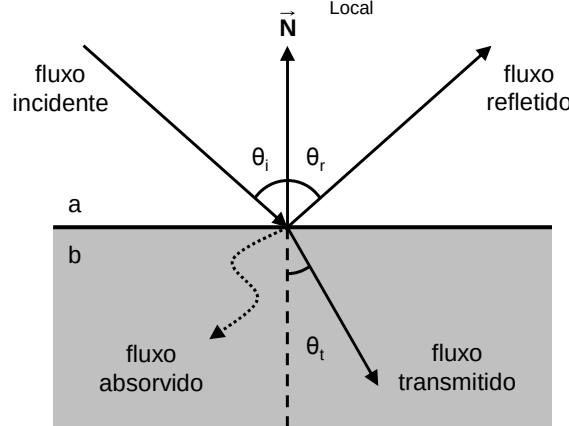


IA725 - 1s2012 - Ting

Equação de Intensidade

- Interação entre uma fonte de luz e uma superfície:

$$I_p = \underbrace{k_a I_a + k_d I_d \cos\theta + k_s I_s (\cos\phi)^\alpha}_{\text{Local}} + \underbrace{k_s I_{Ri} + k_s I_{Ti}}_{\text{Global}}$$

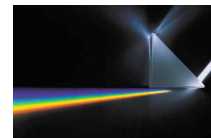


Lei de Snell

$$\theta_i = \theta_r$$

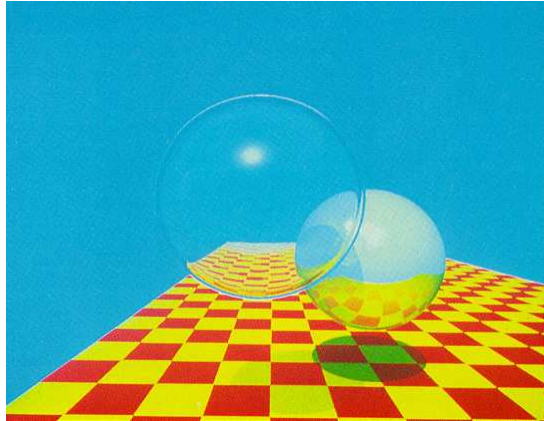
$$\frac{n_b}{n_a} = \frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_t)}$$

$$\frac{n_b}{n_a} = \frac{\sin(\theta_r)}{\sin(\theta_t)}$$



IA725 - 1s2012 - Ting

Algoritmo de Whitted



Informação necessária para o traçado:

- Origem e direção do raio.
- Ponto de interseção e seus atributos: normal, "cor", atenuação, índice de refração, distância em relação à origem do raio.
- Profundidade do nível de traçado.
- Nível de pertinência do espaço em que se encontra.

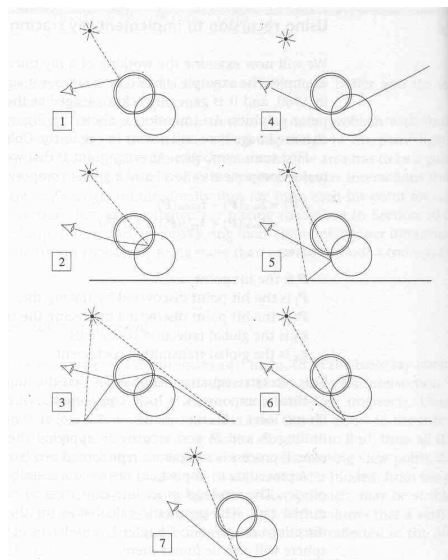
IA725 - 1s2012 - Ting

http://sophia.javeriana.edu.co/~ochavarr/computer_graphics_history/historia/

Algoritmo de Whitted

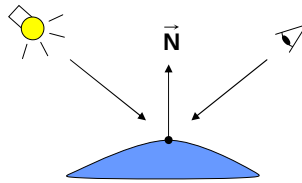


IA725 - 1s2012 - Ting



Iluminação local

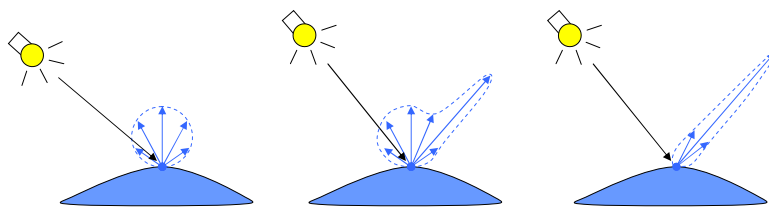
- Um modelo de iluminação local considera apenas as interações individuais entre uma fonte de luz e um objeto, e a posição do observador.



IA725 - 1s2012 - Ting

Modelo de Phong

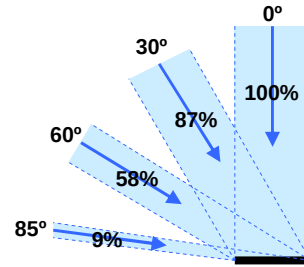
- O modelo de iluminação local de Phong adiciona a contribuição de luz especular I_{ts} ao modelo de Lambert.
 - Válido para superfícies Lambertianas e superfícies com diferentes graus de especularidade. Exemplo: Superfícies polidas.



IA725 - 1s2012 - Ting

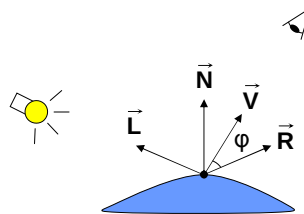
Lei de cosseno de Lambert

- A intensidade luminosa refletida em todas as direções em uma superfície perfeitamente difusa varia pelo cosseno do ângulo entre a direção da luz incidente e o vetor normal da superfície.
- Intuitivamente, percebemos que a área do fluxo luminoso sobre um elemento de área da superfície é menor para ângulos maiores com relação ao vetor normal.



IA725 - 1s2012 - Ting

Modelo de Phong



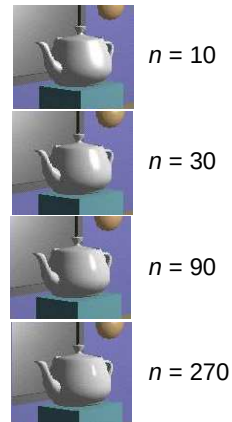
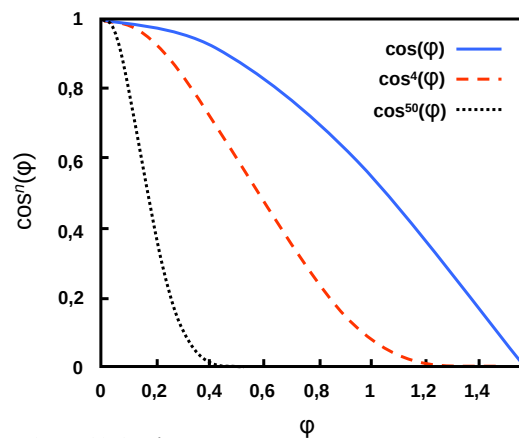
- $$I_{ts} = k_s I_i \cos^n(\varphi)$$

$$= k_s I_i (\vec{V} \cdot \vec{R})^n.$$
 - k_s é a componente de reflectância especular do material.
 - $\vec{V}$ é um vetor entre o ponto da superfície e o observador.
 - $\vec{R}$ é a direção da reflexão especular.
 - n especifica o decaimento (espalhamento) da reflexão.
 - φ deve estar entre 0 e $\pi/2$.

IA725 - 1s2012 - Ting

Modelo de Phong

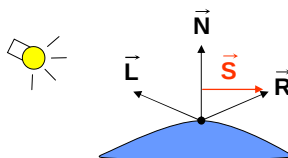
- Gráfico de $\cos^n(\varphi)$ para diferentes valores de n .



IA725 - 1s2012 - Ting

Modelo de Phong

- Como calcular $\vec{R}$?

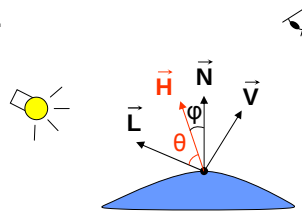


$$\begin{aligned}\vec{R} &= (\vec{N} \cdot \vec{L}) \vec{N} + \vec{S} \\ \vec{S} &= (\vec{N} \cdot \vec{L}) \vec{N} - \vec{L} \\ \vec{R} &= 2\vec{N} (\vec{N} \cdot \vec{L}) - \vec{L}\end{aligned}$$

IA725 - 1s2012 - Ting

Modelo de Blinn-Phong

- Variação do modelo de Phong.
- Utiliza o vetor *halfway* $\vec{H}$ em substituição ao vetor $\vec{R}$.



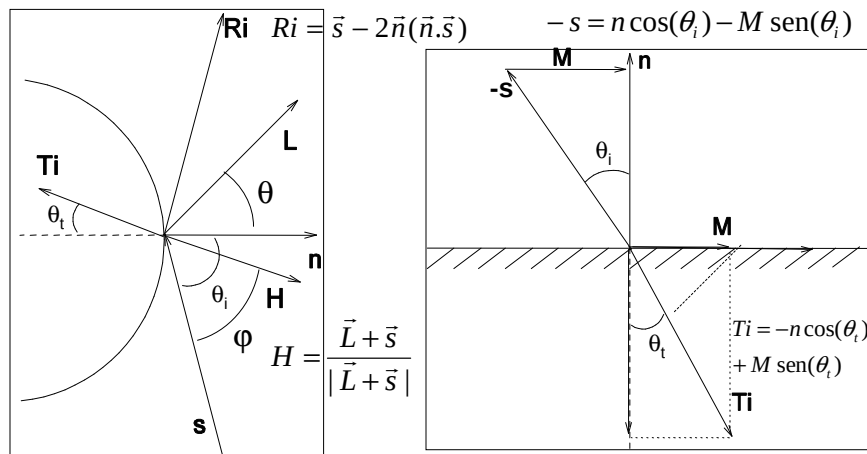
- $I_{ts} = k_s I_i (\vec{N} \cdot \vec{H})^n$.
 - $\vec{H}$ bisecta o ângulo entre $\vec{L}$ e $\vec{V}$.
- Mais eficiente para calcular $\vec{H}$ do que $\vec{R}$.
 - $\vec{H} = \vec{L} + \vec{V} / |\vec{L} + \vec{V}|$.
 - $\vec{H} = \vec{L} + \vec{V} / 2$.
- ϕ é sempre menor que $\pi/2$.

IA725 - 1s2012 - Ting

Traçado de Raios

$$I_p = k_a I_a + k_d I_d \cos \theta + k_s I_s (\cos \phi)^{\alpha'} + k_s I_{Ri} + k_s I_{Ti}$$

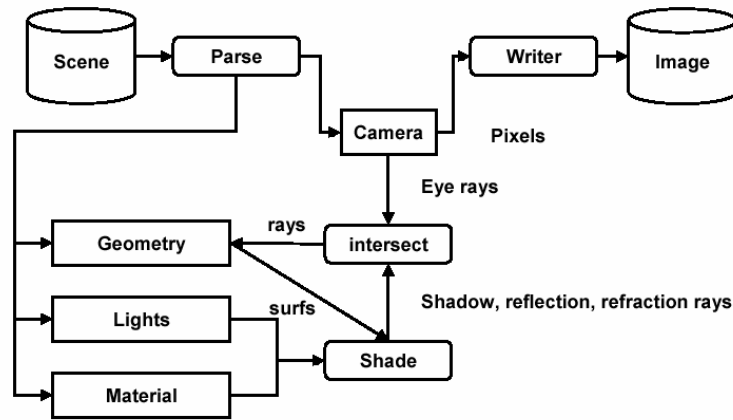
- Como obter as direções dos raios especulares? $|\vec{s}|=|\vec{n}|=|\vec{M}|=1$



IA725 - 1s2012 - Ting

$$Ti = \frac{n_i}{n_t} (-\vec{s}) - (\cos(\theta_i) - \frac{n_i}{n_t} \cos(\theta_t)) \vec{n}$$

Ray Tracing Architecture



$$I_p = \underbrace{k_a I_a + k_d I_d \cos\theta + k_s I_s (\cos\phi)^\alpha}_{\text{Componente local}} + \underbrace{k_s I_{Ri} + k_s I_{Ti}}_{\text{Componente global}}$$

IA725 - 1s2012 - Ting

Componente local

Componente global

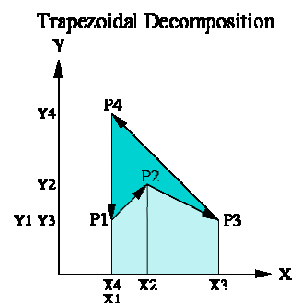
Estimativa de Vetor Normal de um Polígono Algoritmo de Newell

- As componentes n_x , n_y e n_z do vetor normal de um polígono são proporcionais às suas projeções sobre os planos YZ, XZ e XY: Projeções do polígono sobre os planos YZ, XZ e XY.
- Cômputo das áreas de cada projeção: soma das áreas (com sinal) formadas por arestas com um dos eixos.
- Estimativa do vetor normal:

$$n_x = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{i+1})(z_i + z_{i+1})$$

$$n_y = \sum_{i=1}^n (z_i - z_{i+1})(x_i + x_{i+1})$$

$$n_z = \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+1})(y_i + y_{i+1})$$

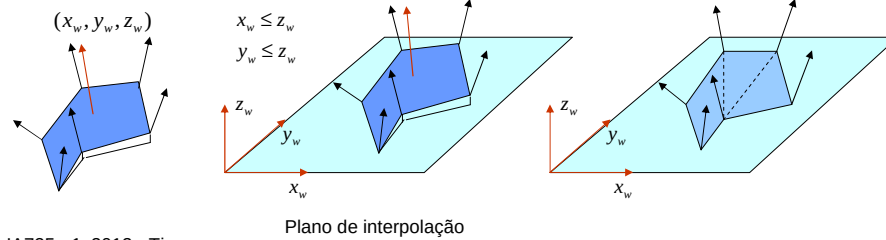


Área de cada trapézio: $\frac{(x_{i+1} - x_i)(y_i + y_{i+1})}{2}$

IA725 - 1s2012 - Ting

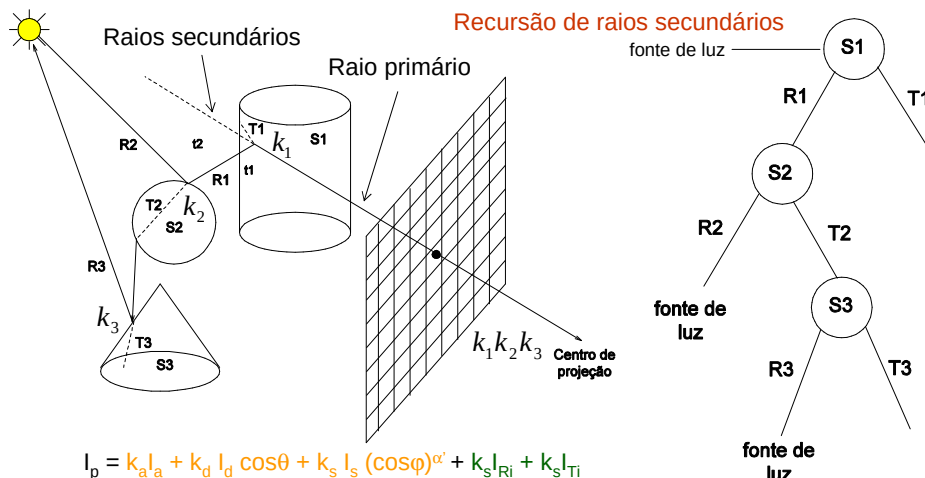
Interpolação de Normais Malhas Poligonais

- "Interpolação de Phong" no espaço da câmera: é necessário determinar o "plano da tela" sobre o qual é aplicada a interpolação.
- As componentes n_x , n_y e n_z do vetor normal de um polígono são proporcionais às suas projeções sobre os planos YZ, XZ e XY.



IA725 - 1s2012 - Ting

Nível de traçado adaptativo



Intensidade da luz é "atenuada" pelo produto dos coeficientes globais $k_1 k_2 k_3 \dots k_{n-1}$

IA725 - 1s2012 - Ting

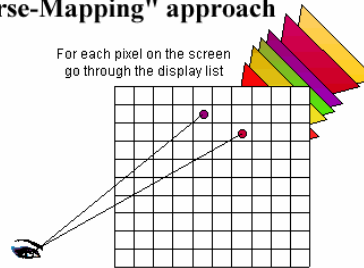
Nível n é tal que $k_1 k_2 k_3 \dots k_{n-1} > Limar$

Traçado de Raios

- *Pixels* no espaço da tela são mapeado em raios no espaço da câmera (um raio por *pixel*).

"Inverse-Mapping" approach

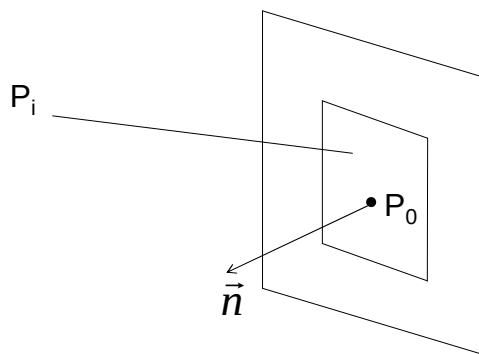
For each pixel on the screen
go through the display list



- Determinar interseções entre raios e objetos no espaço da câmera.
- Determinar pontos de interseção mais próximos do observador.
- Atribuir a cor destes pontos aos respectivos *pixels*.

IA725 - 1s2012 - Ting

Interseção Raio-face

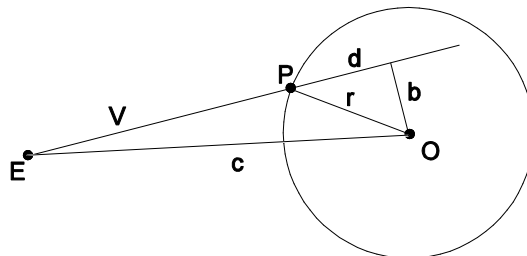


$$t = \frac{\vec{n} \cdot (\vec{P}_0 - \vec{P}_i)}{\vec{n} \cdot \vec{V}}$$

Verificar se $P(t)$ está contido no interior do polígono

IA725 - 1s2012 - Ting

Interseção Raio-esfera

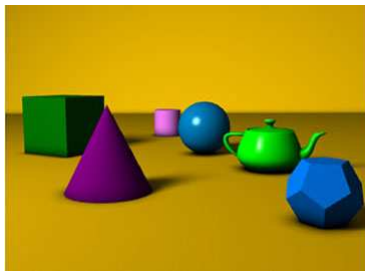


$$P = E + (v - d)\vec{V}$$

IA725 - 1s2012 - Ting

Interseção de Raios Primários

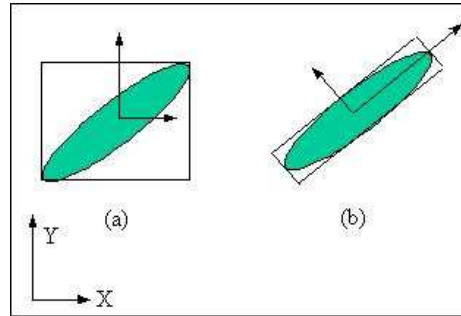
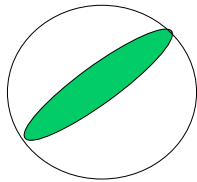
- *Weghorst et al. (1984)*: pontos de interseção entre os objetos da cena e os raios primários são as amostras contidas no *z-buffer*.



IA725 - 1s2012 - Ting

Interseção de Raios com Objetos Envolventes Weghorst et al., 1984

- Esfera
- AABBs (*axis aligned bounding boxes*)
- OBBs (*oriented bounding boxes*)

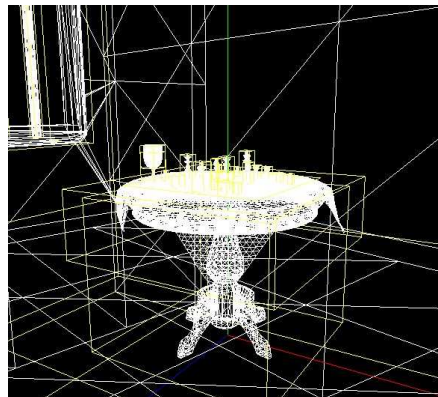
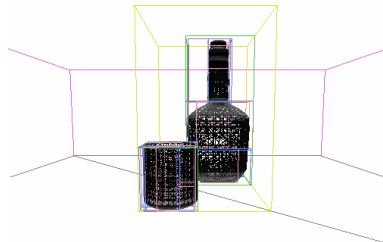


$$Custo = b * B + i * I$$

IA725 - 1s2012 - Ting

Estrutura de Dados Secundária Estrutura hierárquica de objetos envolventes

- Rubin e Whitted, 1980: BVH (*Bounding Volume Hierarchies*): determinar caixas envolventes de grupos hierárquicos de objetos para descartes "triviais".

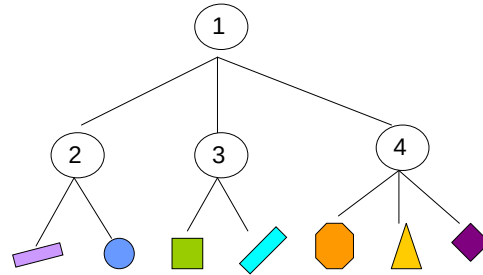
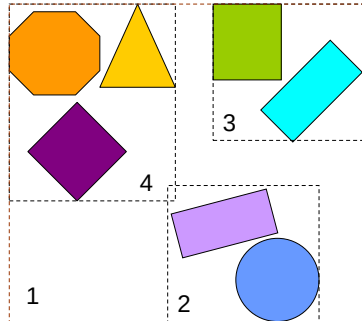


IA725 - 1s2012 - Ting

Estrutura de Dados Secundária

Estrutura hierárquica de objetos envoltentes

- Organização da estrutura é dependente da natureza da cena e da aplicação.

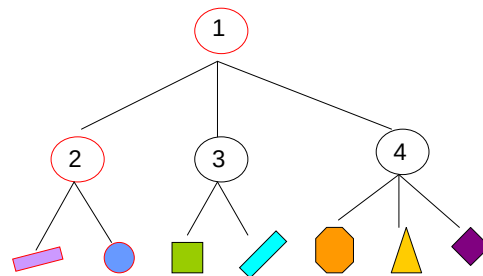
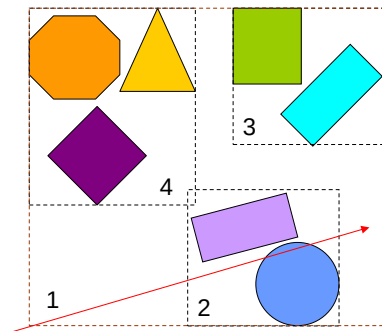


IA725 - 1s2012 - Ting

Estrutura de Dados Secundária

Estrutura hierárquica de objetos envoltentes

- Determinar interseção entre objetos e raio somente quando o raio intercepta a caixa envoltente dos objetos.



IA725 - 1s2012 - Ting

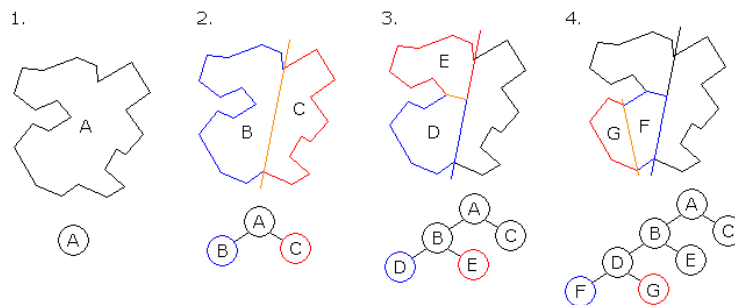
Estrutura de Dados Secundária Coerência Espacial

- Características desejáveis de um algoritmo de traçado de raios (Kaplan, 1985):
 - Complexidade temporal deve ser independente do número de objetos em uma cena.
 - Complexidade temporal para cada raio deve ser constante.
 - Processo deve ser interativo.
 - Não deve ser dependente da estrutura suplementar a ser fornecida pelo aplicativo.
 - Deve ter uma ampla cobertura de formas geométricas.
 - A inclusão de coerência não deve limitar a sua adaptação para processamentos em tecnologias mais avançadas (processamento paralelo).

IA725 - 1s2012 - Ting

Estrutura de Dados Secundária BSP

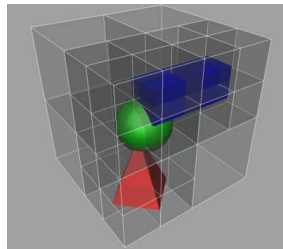
- Schumacker et al., 1968: particionamento binário do espaço. A profundidade da árvore é dependente da partição.
- Somente avaliar os objetos que estiverem ocupando o espaço pelo qual a trajetória do raio passa.



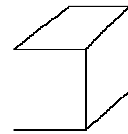
IA725 - 1s2012 - Ting

Estrutura de Dados Secundária Octree

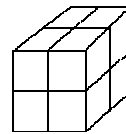
- Subdivisão recursiva de um espaço em oito sub-espacos até que cada região contenha apenas um ou dois objetos.



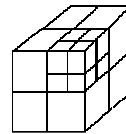
- Somente células da árvore interceptadas pelo raio são avaliadas.
- Glassner (1984): procura pelo mecanismo *hash*.



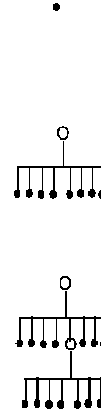
(root)



(1 level)



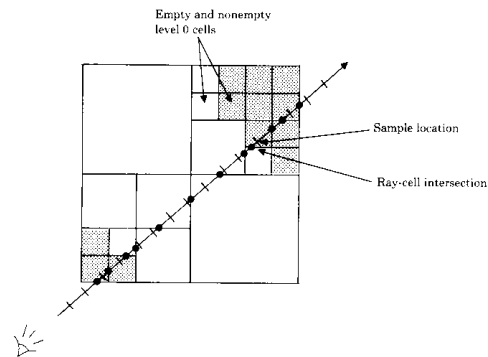
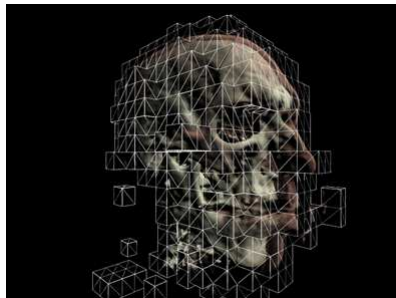
(2 levels)



IA725 - 1s2012 - Ting

Estrutura de Dados Secundária Enumeração Espacial

- Fujimoto et al., 1986: SEADS. Subdivisão uniforme do espaço, permitindo a obtenção das células interceptadas pelo raio pelo algoritmo de rasterização de linha 3D (DDA ou Bresenham)

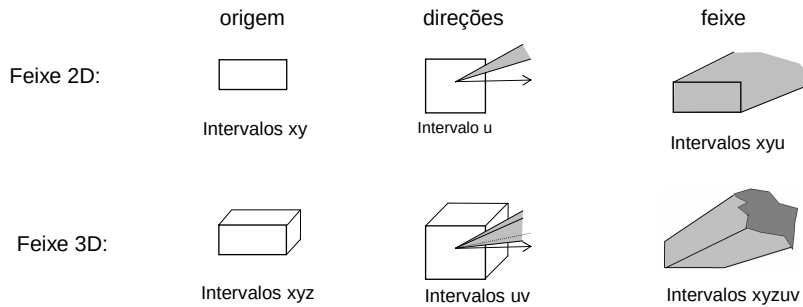


IA725 - 1s2012 - Ting

Estrutura de Dados Secundária

Classificação de Raios

- Arvo e Kirk, 1987: Raios são representados como pontos em 5D (x,y,z,u,v) , onde (x,y,z) é a origem do raio e (u,v) é a direção do feixe em "coordenadas esféricas". Um conjunto de todos os raios relevantes na cena (pontos em 5D) deve ser definido.



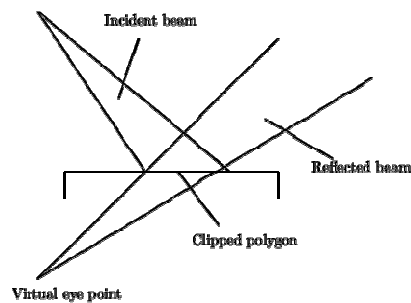
- A cada feixe de raios (um subconjunto disjunto de pontos 5D) é associada uma lista de objetos que um dos seus raios pode interceptar.

IA725 - 1s2012 - Ting

Traçado de Feixes

Heckbert e Hanrahan (1984)

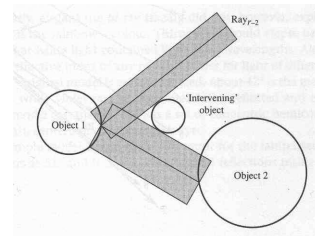
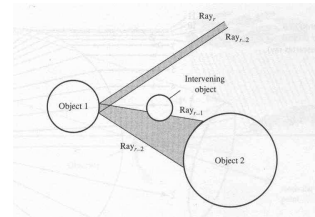
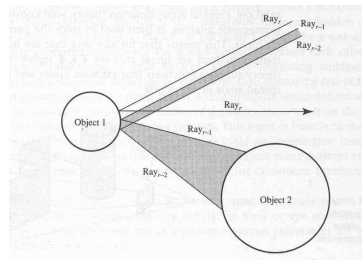
- Traçado de raios $\rightarrow$ traçado de feixes.
- Limitado a objetos poligonais para simplificar interseção feixe-objetos.
- Refrações são aproximadas em transformações lineares.



IA725 - 1s2012 - Ting

Traçado de Feixes Speer et al. (1986)

- Uso de coerência de raios para construir a árvore de trajetória de um raio corrente a partir da árvore do raio vizinho.
- Detecção de oclusores → área “segura”.
-



IA725 - 1s2012 - Ting

Traçado de Raios

<http://homepages.paradise.net.nz/nickamy/simpleraytracer/simpleraytracer.htm>

IA725 - 1s2012 - Ting