IA725 – Computação Gráfica I

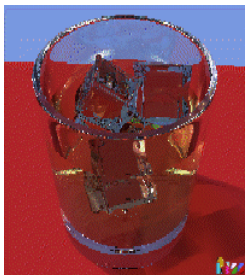
Estratégias de Traçado de Raios

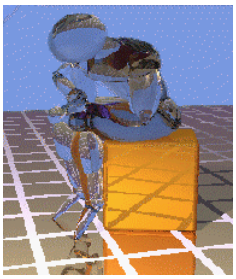
Watt, capítulo 12

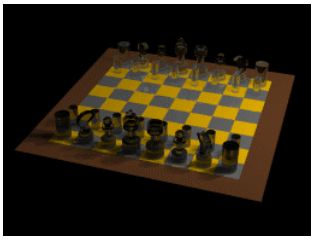
http://www.povray.org/documentation/view/3.6.1/1/ , 1.3.7, 2.3.4

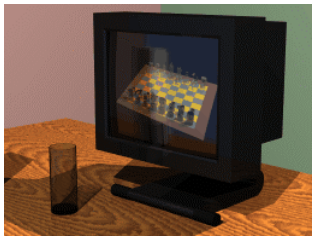
Traçado de Raios

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



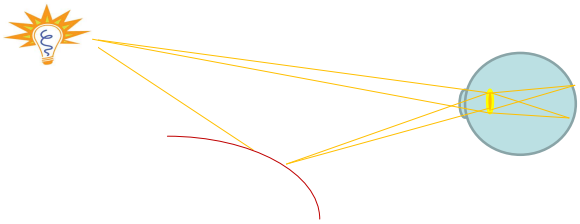






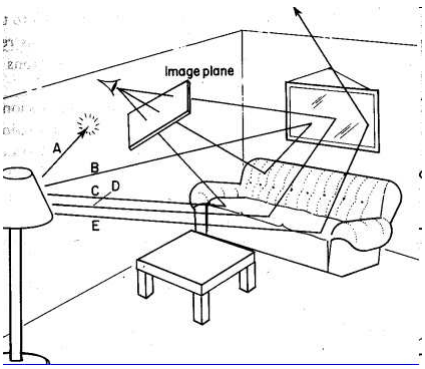
Visão Geral

- Radiações luminosas são ondas eletromagméticas 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.



"Traçado de Raios"
Arthur Appel, 1968

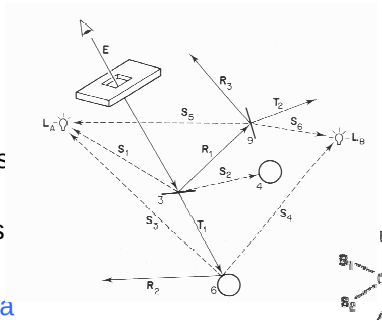
- *Ray casting*: LR*E (R = raios primários)
- Objetivo: tratar corretamente a visibilidade de arestas de sólidos.
- Lançar raios da fonte luminosa para observador?
  - Muitos raios não chegam no observador
  - Amostragem orientada ao receptor
- Raios a serem considerados:
  - Raios primários
  - Raios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



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.



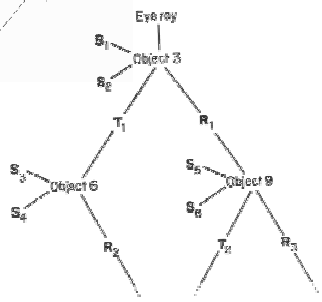
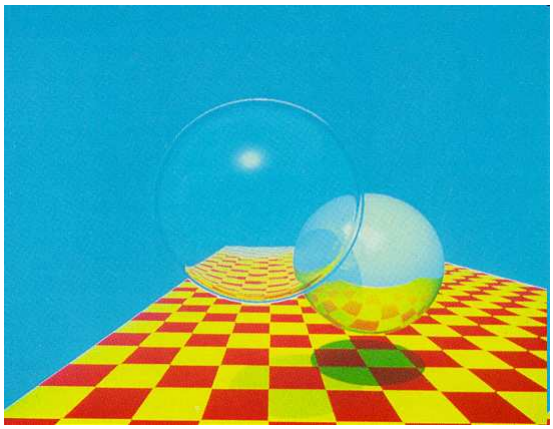


Fig. 12. The ray tree in schematic form.

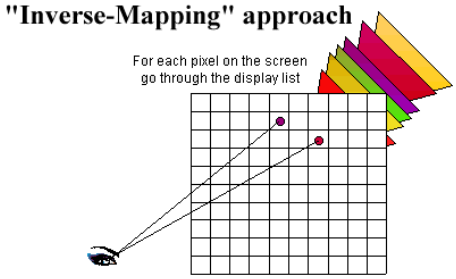
Traçado de Raios
Turner Whitted, 1980



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

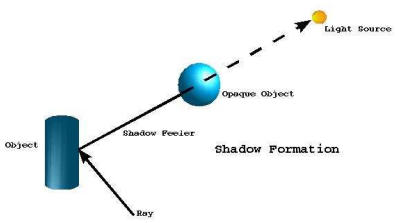
Esboço do Algoritmo

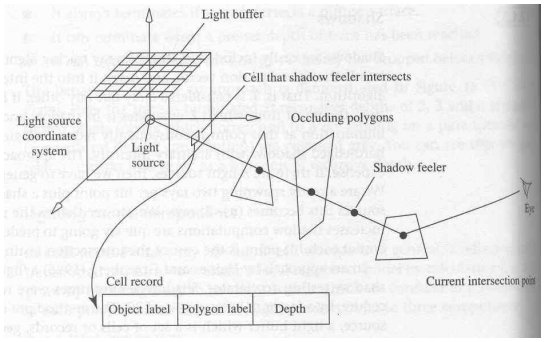
- *Pixels* no espaço da tela são mapeado em raios no espaço da câmera (um raio por *pixel*).
- Determinar interseções entre raios e objetos no espaço da câmera.
- Determinar pontos de interseção mais próximos do observador.
- Atribuir a cor destes pontos aos respectivos *pixels*.



Sombras
Haines e Greenberg, 1986

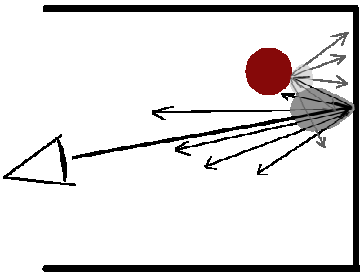
- *buffer* de luz: arranjos bi-dimensionais sobre um cubo em torno de uma fonte de luz.





Penumbra

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



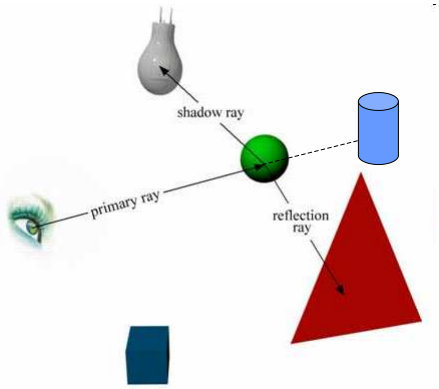
10 raios

20 raios

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

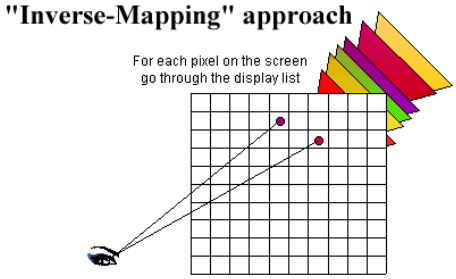
Visibilidade

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



Esboço do Algoritmo

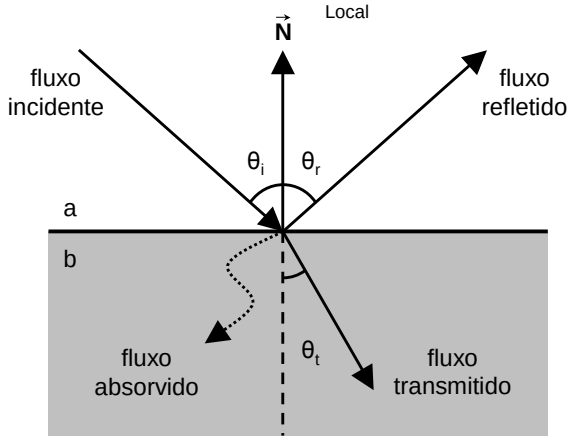
- *Pixels* no espaço da tela são mapeado em raios no espaço da câmera (um raio por *pixel*).
- Determinar interseções entre raios e objetos no espaço da câmera.
- Determinar pontos de interseção mais próximos do observador.
- Atribuir a cor destes pontos aos respectivos *pixels*.



Equação de Intensidade

- Interação entre uma fonte de luz e uma superfície:

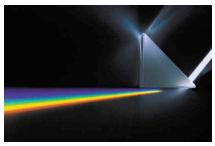
$$I_p = \underbrace{k_a I_a + k_d I_d \cos\theta + k_s I_s (\cos\varphi)^{\alpha'}}_{\text{Local}} + \underbrace{k_s I_{Ri} + k_s I_{Ti}}_{\text{Global}}$$



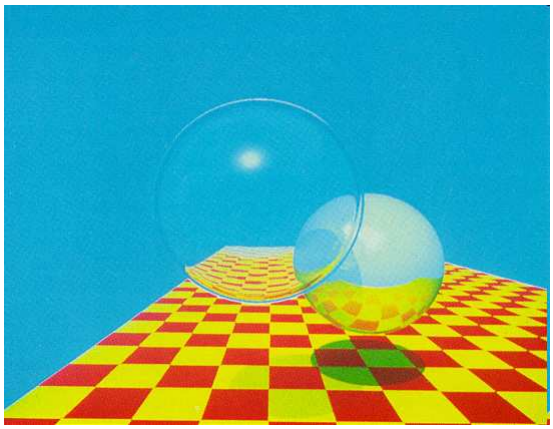
Lei de Snell

$$\theta_i = \theta_r$$

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



Algoritmo de Whitted

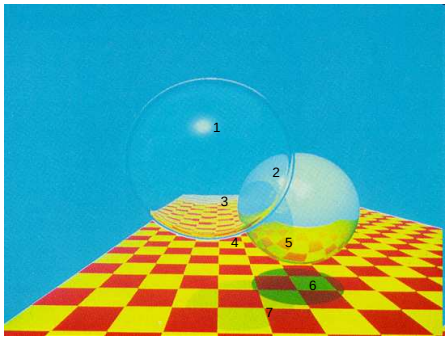


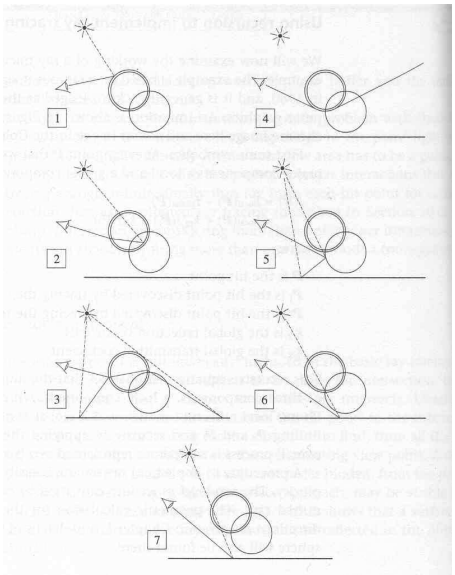
Informação necessária para o traçado:

- 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.

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

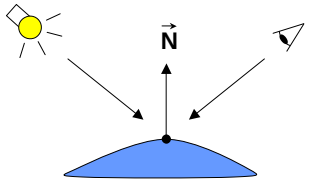
Algoritmo de Whitted





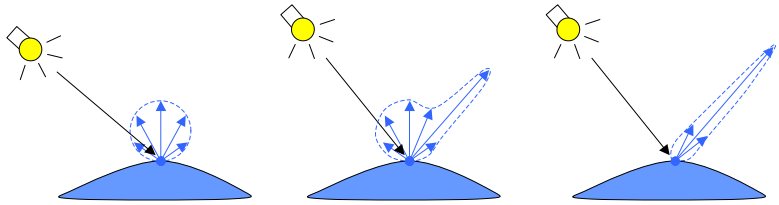
Iluminação local

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



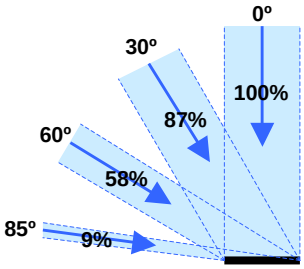
Modelo de Phong

- 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.

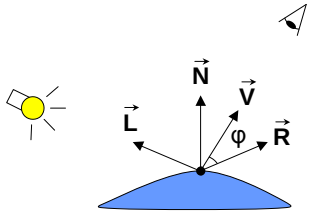


Lei de cosseno de Lambert

- 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.



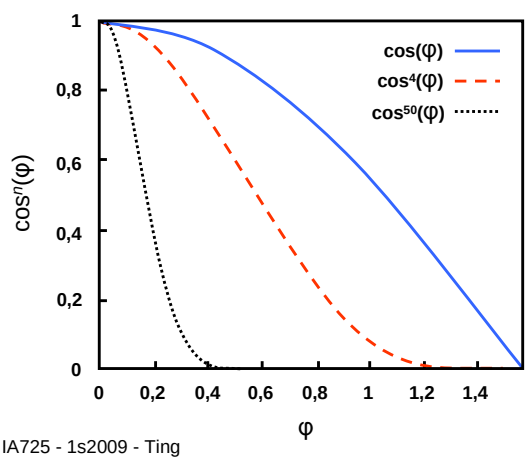
Modelo de Phong

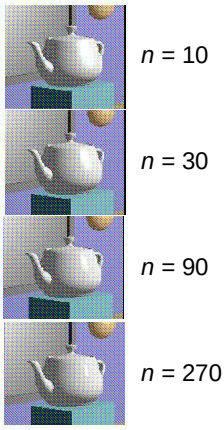


- $I_{ts} = k_s I_i \cos^n(\varphi)$
  $= k_s I_i (\vec{\mathbf{V}} \bullet \vec{\mathbf{R}})^n.$
  - k_s é a componente de reflectância especular do material.
  - $\vec{\mathbf{V}}$ é um vetor entre o ponto da superfície e o observador.
  - $\vec{\mathbf{R}}$ é a direção da reflexão especular.
  - n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

Modelo de Phong

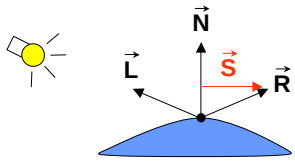
- Gráfico de $\cos^n(\varphi)$ para diferentes valores de n.





Modelo de Phong

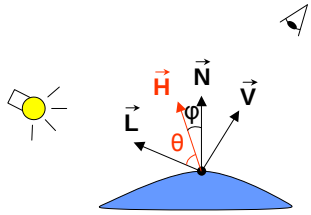
- Como calcular $\vec{R}$?



$$\vec{R} = (\vec{N} \bullet \vec{L})\,\vec{N} + \vec{S}$$
$$\vec{S} = (\vec{N} \bullet \vec{L})\,\vec{N} - \vec{L}$$
$$\vec{R} = 2\vec{N}\,(\vec{N} \bullet \vec{L}) - \vec{L}$$

Modelo de Blinn-Phong

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

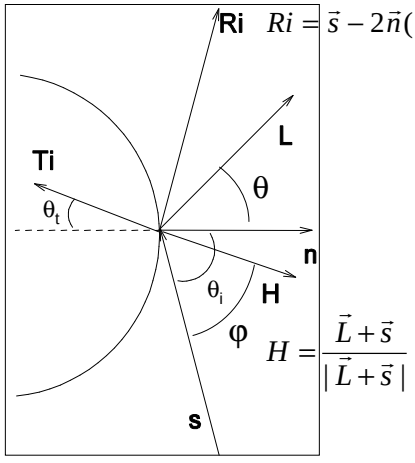


- $I_{ts} = k_s I_i (\vec{N} \bullet \vec{H})^n$.
  - $\vec{H}$ bisecta o ângulo entre $\vec{L}$ e $\vec{V}$.
- Mais eficiente para calcular $\vec{H}$ do que $\vec{R}$.
  - $\vec{H} = \vec{L}+\vec{V} / |\vec{L}+\vec{V}|$.
  - $\vec{H} = \vec{L}+\vec{V} / 2$.
- φ é sempre menor que π/2.

Traçado de Raios

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

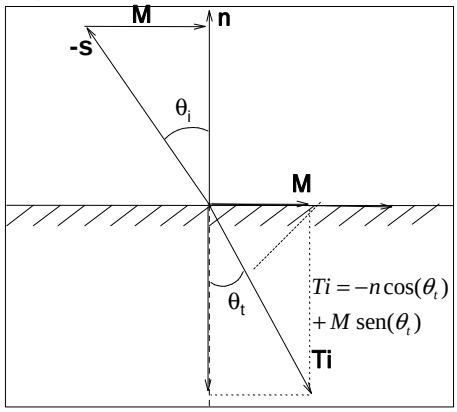
- Como obter as direções dos raios especulares? **|s|=|n|=|M|=1**



$Ri = \vec{s} - 2\vec{n}(\vec{n}.\vec{s})$

$H = \frac{\vec{L}+\vec{s}}{|\vec{L}+\vec{s}|}$

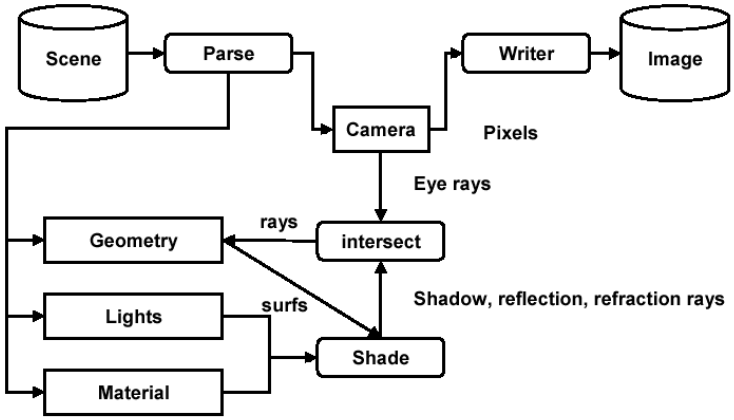
$-s = n\cos(\theta_i) - M\,\mathrm{sen}(\theta_i)$



$Ti = -n\cos(\theta_t) + M\,\mathrm{sen}(\theta_t)$

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

Ray Tracing Architecture



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

Estimativa de Vetor Normal de um Polígono

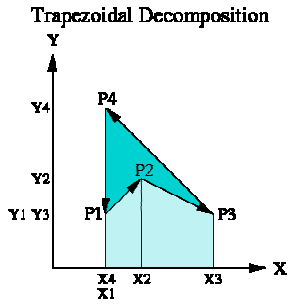
Algoritmo de Newell

- 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:

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

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

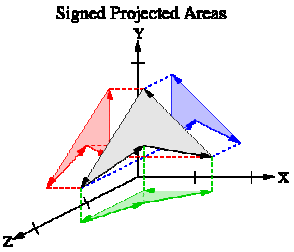
$$n_z = \sum_{i=1}^{n} (x_i - x_{i+1})(y_i + y_{i+1})$$

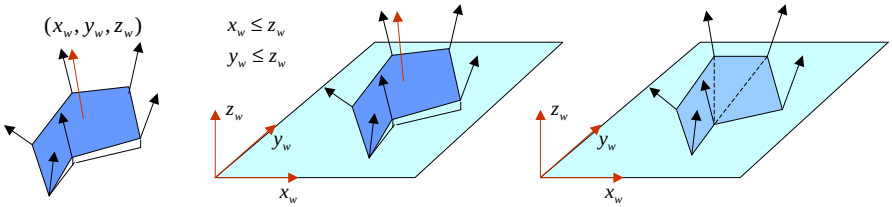


Área de cada trapézio: $\frac{(x_{i+1} - x_i)(y_i + y_{i+1})}{2}$

Interpolação de Normais
Malhas Poligonais

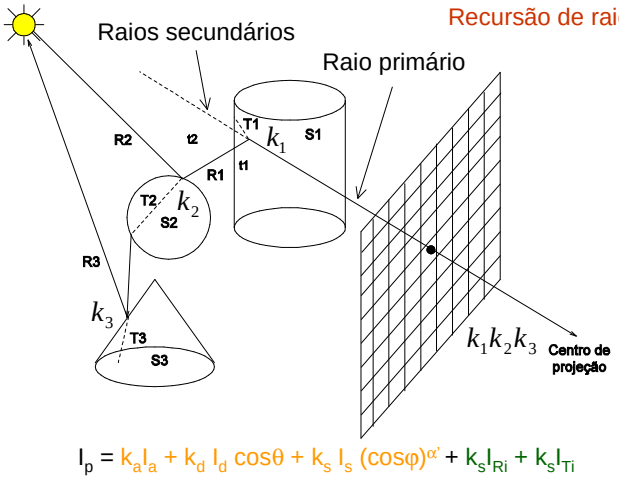
- "Interpolação de *Phong*" no espaço da câmera: é necessário determinar o "plano da tela" sobre o qual é aplicada a interpolação.
- As componentes n_x, n_y e n_z do vetor normal de um polígono são proporcionais às suas projeções sobre os planos YZ, XZ e XY.



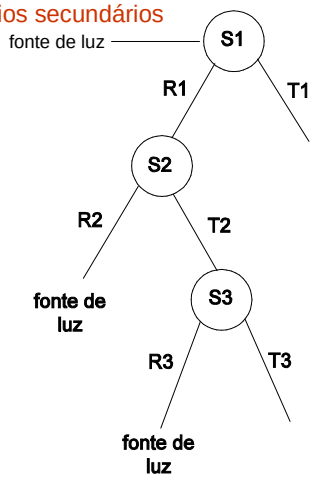


Plano de interpolação

Nível de traçado adaptativo



Recursão de raios secundários



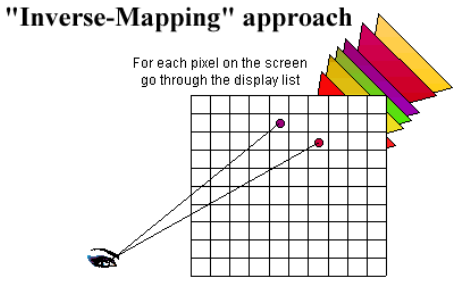
$I_p = k_a I_a + k_d I_d \cos\theta + k_s I_s (\cos\varphi)^{\alpha'} + k_s I_{Ri} + k_s I_{Ti}$

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

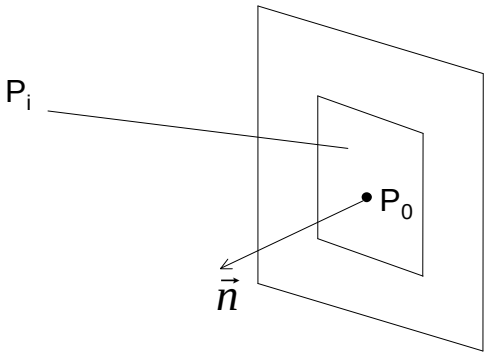
Nível *n* é tal que $k_1 k_2 k_3 \ldots k_{n-1} > Limar$

Traçado de Raios

- *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*.



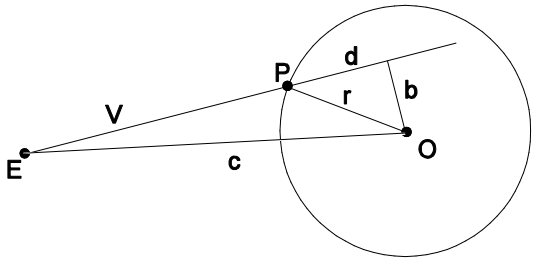
Interseção Raio-face



$$t = \frac{\vec{n}(P_0 - P_i)}{\vec{n} \cdot \vec{V}}$$

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

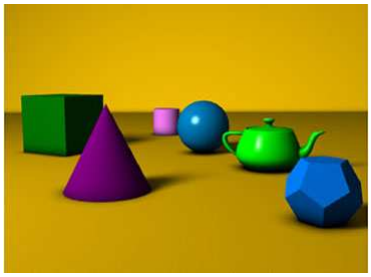
Interseção Raio-esfera



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

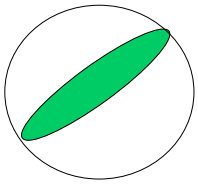
Interseção de Raios Primários

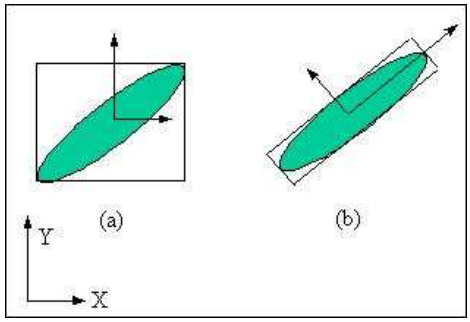
- *Weghorst et al*. (1984): pontos de interseção entre os objetos da cena e os raios primários são as amostras contidas no z-*buffer*.



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

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

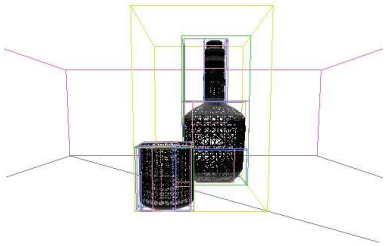


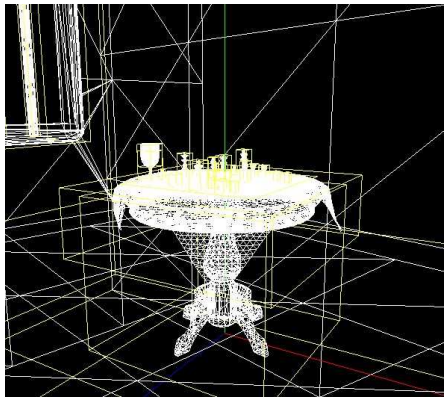


$$Custo = b * B + i * I$$

Estrutura de Dados Secundária
Estrutura hierárquica de objetos envolventes

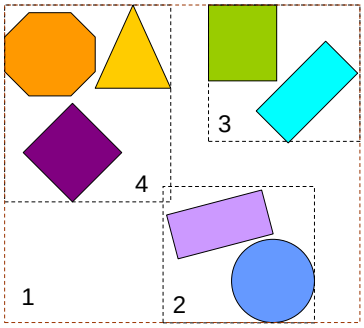
- Rubin e Whitted, 1980: BVH (*Bounding Volume Hierarchies*): determinar caixas envolventes de grupos hierárquicos de objetos para descartes “triviais”.

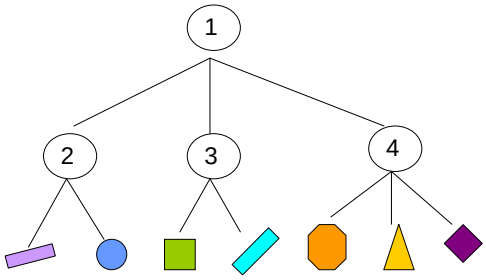




Estrutura de Dados Secundária
Estrutura hierárquica de objetos envolventes

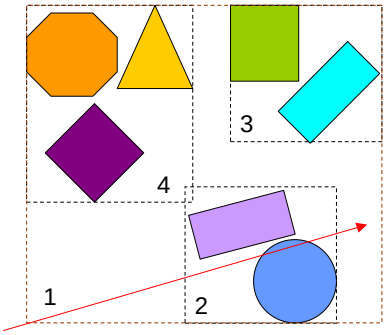
- Organização da estrutura é dependente da natureza da cena e da aplicação.

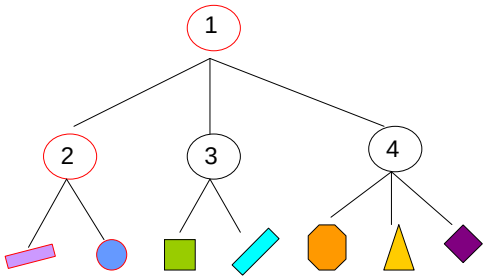




Estrutura de Dados Secundária
Estrutura hierárquica de objetos envolventes

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



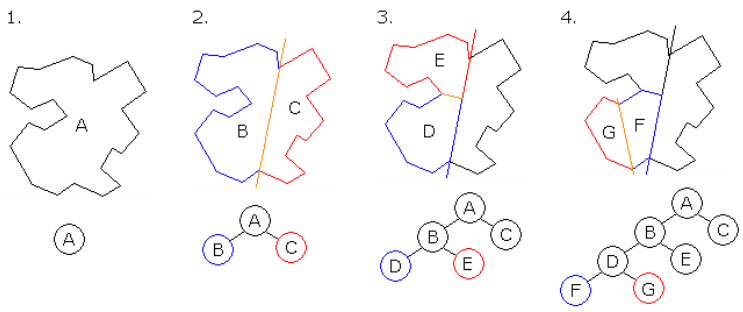


Estrutura de Dados Secundária
Coerência Espacial

- 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).

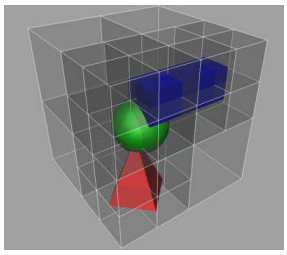
Estrutura de Dados Secundária
BSP

- 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.

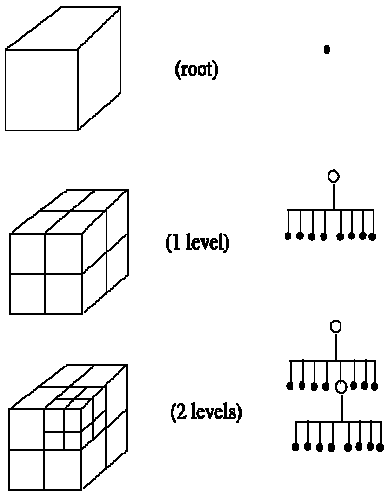


Estrutura de Dados Secundária
Octree

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

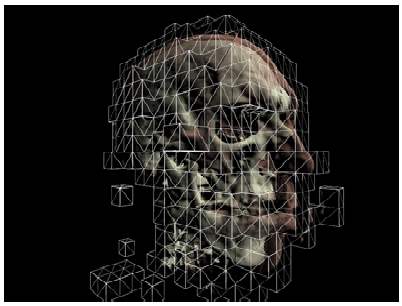


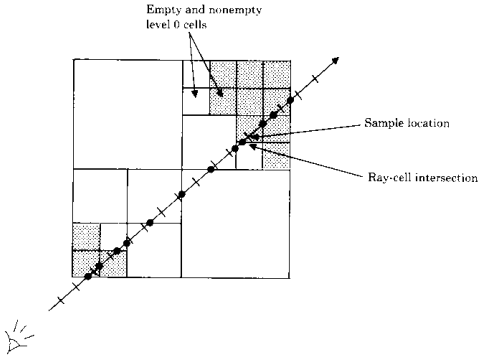
- Somente células da árvore interceptadas pelo raio são avaliadas.
- Glassner (1984): procura pelo mecanismo *hash*.



Estrutura de Dados Secundária
Enumeração Espacial

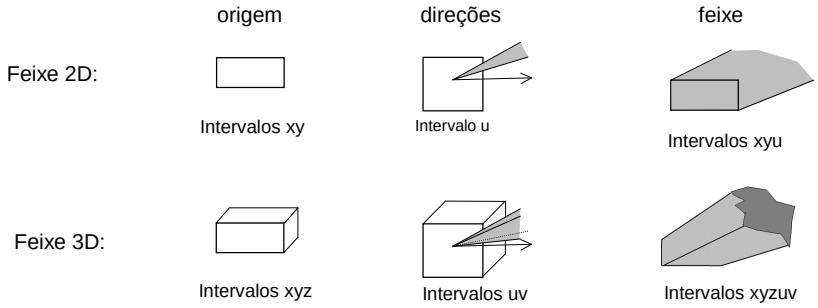
- Fujimoto et al., 1986: SEADS. Subdivisão uniforme do espaço, permitindo a obtenção das células interceptadas pelo raio pelo algoritmo de rasterização de linha 3D (DDA ou Bresenham)





Estrutura de Dados Secundária
Classificação de Raios

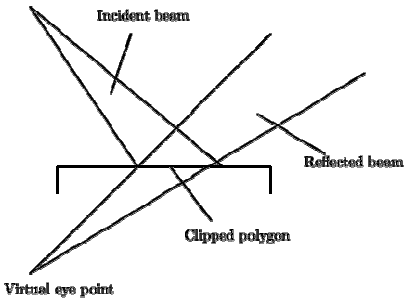
- Arvo e Kirk, 1987: Raios são representados como pontos em 5D (x,y,z,u,v), onde (x,y,z) é a origem do raio e (u,v) é a direção do feixe em "coordenadas esféricas". Um conjunto de todos os raios relevantes na cena (pontos em 5D) deve ser definido.



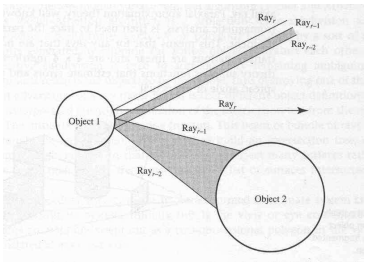
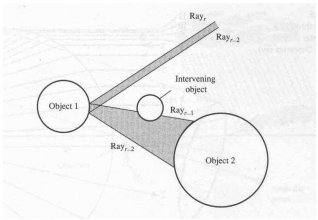
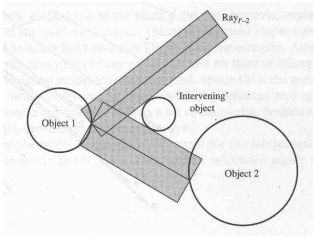
- A cada feixe de raios (um subconjunto disjunto de pontos 5D) é associada uma lista de objetos que um dos seus raios pode interceptar.

Traçado de Feixes
Heckbert e Hanrahan (1984)

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



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”.

.