

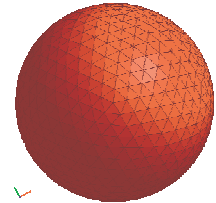
Geração de Imagens com Realismo

Isabel Harb Manssour

Porto Alegre, maio de 2010

Realismo

- Para a geração de imagens com realismo é necessário implementar várias técnicas que permitem gerar imagens que tentam reproduzir a realidade em termos de aparência
 - Cor
 - Efeitos de iluminação
 - Textura
 - Sombra
 - Outras



Realismo

- Técnicas abordadas
 1. Modelos de Cor
 2. Fontes de Luz
 3. Modelos de Iluminação/Reflexão
 4. Métodos de Tonalização
 5. Textura
 6. Sombra
 7. *Anti-Aliasing*
 8. Refração
 9. Conceitos Básicos de *Ray Tracing*
 10. Conceitos Básicos de Radiosidade

Modelos de Cor

Introdução
Conceitos
Alguns Modelos de Cor
Modelo RGB

Modelos de Cor

■ Introdução

- Modelo de cor é um método para explicar as propriedades ou comportamento da cor em algum contexto particular
- Descrição das cores
 - Muito importante
 - Existe um padrão internacional
- Existe um grande número de cores disponíveis ao programador (256 - 16 milhões)
- É necessário entender como as cores podem ser distinguidas e especificadas

Modelos de Cor

■ Conceitos

- Luz
 - Fenômeno físico que interagindo com o sistema visual humano nos dá a "sensação de cor"
- Cor
 - Fenômeno "psicofísico" que depende da presença de luz
 - Sem luz não temos a "sensação de cor"
- Percepção de cor depende
 - Física da luz (energia eletromagnética X interação com os materiais físicos)
 - Interpolação feita pelo sistema visual humano

Modelos de Cor

- Conceitos
 - Raio de luz
 - Constituído por fótons que deslocam-se a uma velocidade constante, c , e determinam uma onda eletromagnética com frequência f
 - A frequência e a velocidade determinam um certo comprimento de onda λ
 - Diferentes comprimentos de onda estão associados a diferentes cores
 - Fótons em movimento (diferente para cada comprimento de onda) atingem a retina e originam impulsos elétricos que se traduzem em percepção de cor

Modelos de Cor

- Conceitos
 - Sistema visual humano interpreta energia eletromagnética como luz visível
 - Ondas entre 380 e 780 nm ($1\text{nm} = 10^{-9}$ milimicron)



- Luz é percebida direta ou indiretamente

<http://en.wikipedia.org/wiki/Color>
<http://www.cs.fit.edu/wds/classes/cse5255/cse5255/davis/text.htm>

Modelos de Cor

- Conceitos
 - Fonte de luz gera raios
 - Mesmo comprimento de onda: monocromática
 - Comprimentos de onda diferentes: cromática
 - Cor do objeto é determinada pela:
 - Distribuição das ondas da fonte de luz
 - Características físicas do objeto (luz refletida determina a cor)
 - Cores percebidas pelo olho humano são uma mistura

Modelos de Cor

- Conceitos
 - Funcionamento do sistema visual
 - Luz atinge a retina que contém células foto-sensíveis que enviam sinais elétricos para o cérebro
 - Retina
 - Sensores ou cones
 - Sensíveis à energia e responsáveis pela visão colorida
 - Bastonetes (RODS)
 - Sensíveis à intensidade luminosa, porém não detectam cor

Modelos de Cor

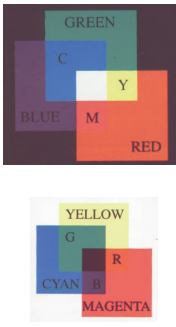
- Conceitos
 - Cones
 - Comprimento de onda no "limite inferior" visível: azul
 - Comprimento de onda "central" visível: verde
 - Comprimento de onda no "limite superior" visível: vermelho
 - Cones azuis são menos receptivos
 - Sensação de cor: combinação das respostas dos três tipos de cones
 - Daltonismo: ausência de um dos cones
 - Matiz – Hue (tonalidade)
 - Corresponde a cor; determinada pelo comprimento de onda dominante

Modelos de Cor

- Conceitos
 - Pureza
 - Existência ou não de energia em outras faixas do espectro
 - Cor é definida pela
 - Matiz (tonalidade)
 - Saturação (quantidade de branco adicionada a cor pura)
 - Brilho (intensidade da luz; energia radiante emitida)
 - Representação de cor em um computador:
 - Redução do espaço espectral (contínuo) para o espaço discreto
 - Espaço discreto depende do sistema físico em uso
 - Refletivos: não emitem energia luminosa; cor obtida a partir da luz proveniente de outra fonte
 - Emissivos: fontes radiantes, tal como o monitor

Modelos de Cor

- **Conceitos**
 - Processos de formação de cor
 - Aditivo: soma das cores=branco; raios de luz são combinados para determinar a cor; exemplo: monitores
 - Subtrativo: eliminação de componentes espectrais determina a cor (uso de filtro ou corante); exemplo: slides
 - Pigmentação: pigmentos absorvem determinados comprimentos de onda e refletem outros; exemplo: impressoras
 - Pode-se entender que os pigmentos são filtros, configurando um sistema subtrativo

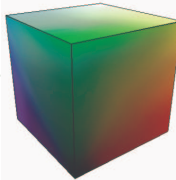


Modelos de Cor

- **Alguns Modelos de Cor**
 - Existem diversos sistemas que interpolam as cores primárias para obter outros tons
 - RGB (*Red Green Blue*)
 - CMY (*Cyan Magenta Yellow*)
 - YIQ (adotado pelo NTSC)
 - YUV (adotado pelo sistema Europeu PAL)
 - HSV (*Hue Saturation Value*)
 - HLS (*Hue Lightness Saturation*)

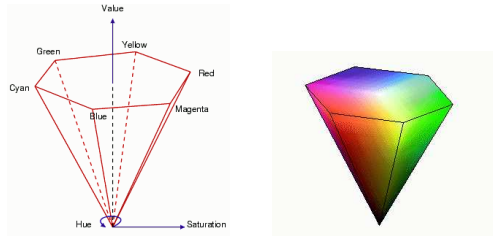
Modelos de Cor

- **Modelo RGB**
 - Padrão para monitores
 - Formação das cores: processo aditivo
 - Normalmente 256 intensidades para cada cor
 - 000=Preto, 111=Branco
 - Espaço representado por um cubo (diagonal=tons de cinza)
 - Considerações sobre o "cubo RGB"
 - Pode mudar de monitor para monitor
 - É um subconjunto das cores que o sistema visual humano pode perceber
 - Espaço de cores uniformes (mudança brusca=baixa resolução)



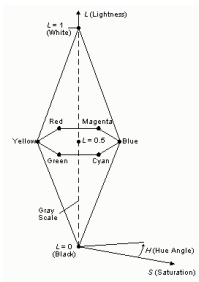
Modelos de Cor

- **Modelo HSV (*Hue Saturation Value*)**



Modelos de Cor

- **Modelo HLS (*Hue Lightness Saturation*)**



Fontes de Luz

Pontual
Direcional
Spots

Fontes de Luz

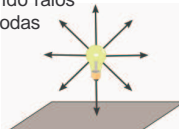
- Após determinar se um ponto do objeto é visível ou não, torna-se importante especificar a cor com que este ponto será exibido
- Até aqui todos os pontos eram exibidos com a cor da face (uma única cor para toda face)
- Noção de uma cena tridimensional está intimamente ligada a noção de iluminação
 - Os pontos de um objeto iluminado possuem diferentes tonalidades de acordo com a luz recebida

Fontes de Luz

- Para calcular as diferentes tonalidades (intensidades de uma determinada cor), utiliza-se um modelo de iluminação
- Um modelo de iluminação define a natureza da luz que emana de uma fonte e sua interação com os objetos
- Fonte de luz
 - Objeto que está emitindo energia radiante
- Alguns modelos de fonte de luz:
 - Pontual, Direcional, Spots


Fontes de Luz

- Pontual**
 - Uma fonte de luz pontual é aquela cuja os raios emanam uniformemente em todas as direções a partir de um único ponto
 - O brilho do objeto varia de uma parte para outra, dependendo da direção e da distância da fonte de luz
 - A inclusão de uma fonte pontual emitindo raios de luz com a mesma intensidade em todas as direções está ilustrada a seguir




Fontes de Luz

- Direcional**
 - Uma fonte de luz direcional é aquela cuja todos os raios vêm da mesma direção
 - A modelagem destas fontes de luz requer um trabalho adicional porque seu efeito depende da orientação da superfície
 - Se a superfície é normal (perpendicular) aos raios de luz incidentes, ela é claramente iluminada;
 - Quanto mais oblíqua a superfície estiver dos raios de luz, menor será sua iluminação.



Fontes de Luz

- Spots**
 - Luz que emana de um ponto com uma intensidade variável que diminui conforme a direção desvia de um dado eixo
 - É geralmente definida como um caso especial de uma "luminária" onde a distribuição de intensidade é implicitamente definida por uma função simples, como mostra a figura
 - A forma funcional mais comum é o co-seno do ângulo ao longo dos eixos, elevado a um expoente

$$S(\vec{w}) = \cos^n \theta$$


Modelos de Iluminação/Reflexão

- Ambiente
- Difusa
- Especular

Modelos de Iluminação/Reflexão

- Modelo de Reflexão (ou Modelo de Iluminação)
 - Descreve a interação da luz com uma superfície, em termos das propriedades da superfície e da natureza da luz incidente, permitindo que a projeção de um objeto na tela pareça real
- Objetivo
 - Exibir objetos tridimensionais no espaço de tela bidimensional que se aproximem da realidade
 - Fazer com que objetos do tipo espelho apresentem em sua superfície a imagem de outros objetos do universo
 - Simulado pelo acompanhamento dos raios refletidos para saber a informação de cor que trazem consigo de outros objetos

Modelos de Iluminação/Reflexão

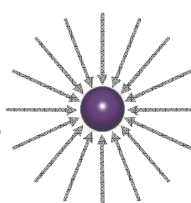
- Informações necessárias
 - Cor do objeto
 - Cor da luz
 - Posição da luz
 - Posição do ponto
 - Posição do observador
- Considerando as informações recebidas, os modelos de reflexão calculam a intensidade da cor de um ponto a ser exibido (componentes R,G e B)

Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Ambiente (Luz Ambiente)
 - Luz ambiente
 - Fonte de luz difusa, não direcional, resultante de múltiplas reflexões da luz com as superfícies
 - Incidente em uma superfície de todas as direções
 - Origina-se da interação da reflexão difusa com todas as superfícies da cena
 - Superfícies que não recebem raios de luz diretos da fonte são visíveis devido à luz ambiente, caso contrário seriam exibidas com a cor preta
 - Não é desejável que as superfícies que são visíveis de um ponto de vista, mas invisíveis para a fonte de luz, sejam desenhadas com a cor preta

Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Ambiente
 - Gera uma iluminação constante para todos os pontos do objeto
 - Depende somente da cor do objeto
 - Equação de iluminação
 - $I = I_a K_a$
 - I_a é a intensidade da luz ambiente (assumindo que esta é constante para todos os objetos)
 - K_a é a quantidade de luz ambiente refletida da superfície de um objeto (coeficiente de reflexão ambiente que varia entre 0 e 1)




Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Difusa (Luz Difusa)
 - Também conhecida como *Lambert's Cosine Law* (ou Reflexão Lambertiana)
 - Maioria dos objetos
 - Não emitem luz
 - Absorvem a luz do sol ou a luz emitida de uma fonte artificial, e refletem parte desta luz
 - Reflexão deve-se ao fato de haver uma interação molecular entre a luz incidente e o material da superfície

Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Difusa
 - Exemplo
 - Um objeto azul absorve luz branca e reflete o componente azul da luz
 - Uma superfície reflete luz colorida quando iluminada por luz branca e a luz colorida refletida deve-se a reflexão difusa



Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Difusa
 - Uma superfície que é perfeitamente difusa reflete a luz igualmente em todas as direções
 - Depende da cor do objeto e da posição da luz
 - A quantidade de luz refletida percebida pelo observador não depende da sua posição
 - Ocorre quando a superfície do objeto é opaca ou escura
 - Cria o efeito de *degradé* nos objetos

Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Difusa
 - Equação de iluminação
 - $I = I_p * K_d * \cos(\alpha)$ ou $I = I_p * K_d * \vec{N} \cdot \vec{L}$ (se \vec{N} e \vec{L} forem unitários)
 - I_p é a intensidade da fonte de luz pontual
 - K_d é o coeficiente de reflexão difusa do material (valor constante entre 0 e 1 que varia de uma material para o outro)

Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Especular (Luz Especular)
 - A maioria das superfícies na vida real não é totalmente opaca
 - Não comportam-se como perfeitas "difusoras" de luz
 - Geralmente, possuem algum grau de brilho
 - Superfície perfeitamente brilhosa: espelho
 - É a componente da luz que produz o ponto de brilho mais acentuado
 - Depende da cor do objeto, da posição da luz e da posição do observador
 - Gera um brilho com a cor da luz e não com a cor do objeto

Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Especular
 - A luz refletida de uma superfície brilhosa deixa a superfície com um ângulo θ , onde θ é o ângulo que o raio de luz incidente forma com o vetor normal à superfície
 - O grau da reflexão especular visto por um observador depende da direção do observador

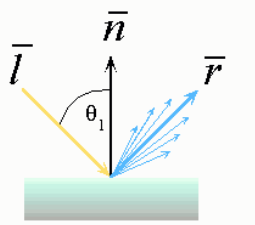
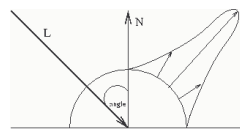
Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Especular
 - No caso de uma superfície perfeitamente brilhosa iluminada por uma única fonte
 - Toda a luz da fonte é refletida ao longo de uma direção particular, e somente será vista quando a superfície é visualizada desta direção
 - A superfície somente parecerá brilhante para uma única direção do observador e parecerá escura para todas as outras

Modelos de Iluminação/Reflexão

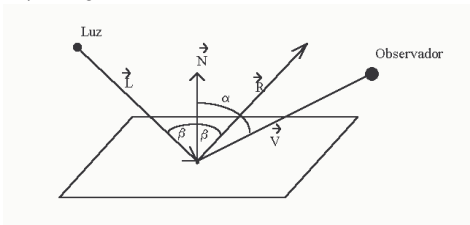
- Reflexão Especular
 - Na prática, a reflexão especular não é perfeita
 - A luz refletida pode ser vista por direções do observador próximas da direção do raio de luz refletido
 - A área acima de onde a reflexão especular é vista é usualmente referida como *highlight*
 - Área de *highlight* pode descrever um segundo aspecto importante deste tipo de reflexão
 - A cor da luz especular refletida é diferente da cor da luz difusa refletida
 - Em modelos simples de reflexão especular a componente especular é assumida como tendo a cor da fonte de luz
 - Se uma superfície verde é iluminada com luz branca então a componente de reflexão difusa é verde mas a *highlight* é branca

Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Especular
 - 
 - 

Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Especular
 - Depende da diferença entre dois ângulos α e β , onde:
 - α é o ângulo entre \vec{N} e \vec{V}
 - β é o ângulo entre \vec{N} e \vec{L}



Modelos de Iluminação/Reflexão

- Reflexão Especular
 - Equação de iluminação
 - $I = I_0 * (2 * (\vec{N} \cdot \vec{L}) * (\vec{N} \cdot \vec{V}) - (\vec{V} \cdot \vec{L}))^x$
 - Assume-se que todos os vetores são unitários
 - Os valores do expoente x definem o grau de especularidade da superfície
 - $x=10$: superfícies rugosas, pouco brilho
 - $x=100$: superfícies polidas, muito brilho

Modelos de Iluminação/Reflexão

- Ambiente X Difusa X Especular
 - 
 - Ambiente Difusa Especular

<http://www.math.montana.edu/frankw/ccp/multiworld/twothree/lighting/learn4.htm>

Métodos de Tonalização

Flat
Gouraud
Phong

Métodos de Tonalização

- Métodos de tonalização (ou colorização) são responsáveis pelo realismo de uma imagem
- Técnicas de tonalização não precisam simular o comportamento da luz e das superfícies da vida real, mas somente aproximar das condições reais
- Um modelo de tonalização possui dois "ingredientes" principais
 - Propriedades da superfície
 - Propriedades do modelo de iluminação que está sendo aplicado sobre a superfície

http://en.wikipedia.org/wiki/Flat_shading

Métodos de Tonalização

- Principais propriedades da superfície
 - Reflexão
 - Transparência.
- Técnicas de tonalização mais conhecidas
 - Flat
 - Gouraud
 - Phong

Métodos de Tonalização

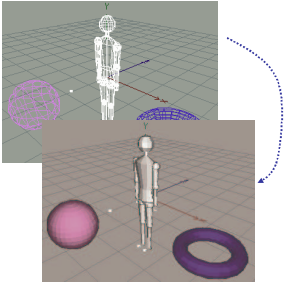
- Flat Shading**
 - Também conhecido como “colorização constante” ou “tonalização facetada”
 - Modelo mais simples de tonalização para um polígono ou face
 - Um modelo de iluminação é usado para determinar um único valor de intensidade que é então utilizado para colorir uma face inteira

Métodos de Tonalização

- Flat Shading**
 - Resumidamente:
 - Calcula-se o valor da equação de iluminação uma vez para cada face e aplica-se este valor ao longo da mesma
 - Como esta técnica não produz variações de tonalização ao longo da face, ocasiona um problema de descontinuidade de intensidade
 - É rápido, porém elimina todos os efeitos dos modelos de iluminação

Métodos de Tonalização

- Flat Shading**
 - Exemplos



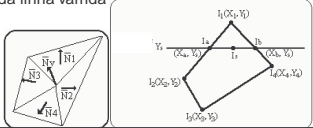
<http://raphaello.univ-fcomte.fr/IG/Physique/ExemplesGLU/ModeliseSphere.htm>

Métodos de Tonalização

- Gouraud Shading**
 - Esta técnica de tonalização leva o nome do seu projetista
 - Trabalha com a interpolação de intensidades em um polígono ou face
 - Busca obter suavidade na exibição de objetos com superfícies curvas quando representados por polígonos, eliminando parcialmente o problema da descontinuidade

Métodos de Tonalização

- Gouraud Shading**
 - De forma simplificada, consiste em quatro passos:
 - Cálculo dos vetores normais às superfícies
 - Cálculo dos vetores normais aos vértices (média das normais das faces que compartilham o vértice)
 - Processamento da intensidade em cada vértice através da utilização do vetor normal ao vértice, com qualquer modelo de iluminação
 - Cada face é colorida através da interpolação linear das intensidades dos vértices ao longo de cada aresta e então entre as arestas ao longo de cada linha varrida



Métodos de Tonalização

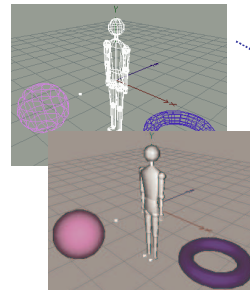
■ *Gouraud Shading*

- A interpolação ao longo das arestas pode ser facilmente integrada com um algoritmo *scan-line* de remoção de superfícies ocultas
- Problema:
 - Pontos de brilho especular são atenuados

Métodos de Tonalização

■ *Gouraud Shading*

- Exemplos



<http://raphaello.univ-fcomte.fr/IG/Physique/ExemplesGLUt/ModeliseSphere.htm>

Métodos de Tonalização

■ *Phong Shading*

- Desenvolvido por *Bui-Tuong Phong*
- Busca obter suavidade na exibição de objetos com superfícies curvas quando representados por polígonos mantendo o brilho especular
- Supera algumas desvantagens da técnica de *Gouraud* e a reflexão especular pode ser incorporada no esquema, produzindo resultados superiores
- Intensidade é avaliada para cada ponto do polígono ou face

Métodos de Tonalização

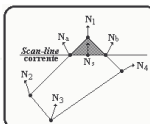
■ *Phong Shading*

- Características
 - Interpolação linear é utilizada de maneira que os pontos do interior dos polígonos possam ser calculados de forma incremental
 - Os atributos interpolados são as normais aos vértices, ao invés das intensidades dos vértices
 - Uma intensidade diferente é avaliada para cada ponto a partir das normais interpoladas
 - Assume-se que a fonte de luz e o observador estão no infinito, e então a intensidade em um ponto é uma função somente da normal interpolada

Métodos de Tonalização

■ *Phong Shading*

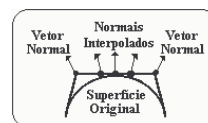
- Os dois primeiros passos deste algoritmo são iguais ao método de *Gouraud*
 1. Cálculo dos vetores normais às superfícies
 2. Cálculo dos vetores normais aos vértices (média das normais das faces que compartilham o vértice)
- Os próximos passos são:
 3. Para cada linha varrida do polígono: processar através de interpolação linear os vetores normais do início e do final da linha
 4. Estes 2 vetores (N_a e N_b) são usados para interpolar N_s (assim, um vetor normal para cada ponto da face é uma aproximação do vetor normal real da superfície curva aproximada pelo polígono)
 5. N_s , o vetor normal interpolado, é então usado no cálculo da intensidade




Métodos de Tonalização

■ *Phong Shading*

- A próxima figura mostra que esta interpolação do vetor tende a reconstruir a curvatura da superfície original que foi aproximada por uma malha de polígonos






Métodos de Tonalização

- *Phong Shading*
 - Exemplo

<http://raphaello.univ-fcomte.fr/IG/Physique/ExemplesGLUT/ModeliseSphere.htm>

Flat x Gouraud x Phong
(Olhar figura do *teapot* no livro do Alan Watt: "3D Computer graphics")




Exemplos da Utilização de Modelos de Iluminação e Métodos de Tonalização

Pixar Shutterbug Image Series


"Computer Graphics: Principles and Practice"
Foley et al.
(Color Plate II – 23 a 37)

<http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/shutbug.htm>




Textura

Mapeada
Sólida
Bump-Mapping




Textura

- Cada tipo de material tem características próprias, que permitem sua identificação visual ou tátil
 - Microestruturas que produzem rugosidade na superfície dos objetos
 - Exemplos: plástico, madeira, areia e mármore
- Em Computação Gráfica, estes detalhes da superfície de um objeto são chamados de textura



Textura


- Mapeamento de textura
 - Desenvolvidos para a elaboração de imagens de objetos tridimensionais mais interessantes
 - Motivação inicial era diminuir o efeito "de plástico brilhoso" produzido pelo método de tonalização de *Phong* e permitir que objetos diferentes exibam diferentes propriedades da superfície (além da trivial distinção de cores)
- Algumas técnicas de mapeamento de texturas são:
 - Mapeada
 - Sólida
 - *Bump mapping*



Textura

- Mapeada
 - Consiste simplesmente no mapeamento de uma textura para a superfície do objeto, tanto no espaço do objeto como no espaço da tela.
 - Aplicação de uma imagem (mapa de textura/padrão de textura) sobre um objeto
 - A cor de cada ponto dependerá da cor de algum ponto do mapa de textura
 - Após a obtenção da cor pode-se aplicar um modelo de iluminação

http://en.wikipedia.org/wiki/Texture_mapping



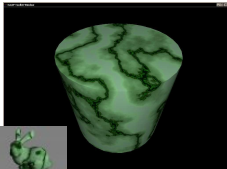
Textura

- **Sólida**
 - O mapa de textura passa a ser um cubo (um volume de textura)
 - Para cada ponto da superfície, um ponto da textura é processado (através da média dos valores que circundam este ponto), e o valor da textura resultante é atribuído ao ponto da superfície
 - São criadas funções que definem a cor de um ponto dentro do volume de textura
 - Para cada ponto do objeto que receberá a textura, é associado algum ponto no volume de textura
 - o valor da textura neste ponto é também associado com o ponto da superfície

Textura

- **Sólida**
 - É como se o objeto exibido estivesse sendo “esculpido” no volume de textura
 - Tarefas: geração de texturas e mapeamento dos objetos para o espaço de textura
 - A textura sólida é aplicada quando se deseja simular a textura de um material tal como concreto, madeira ou mármore
 - Estrutura interna do material determina a aparência resultante do objeto

Textura

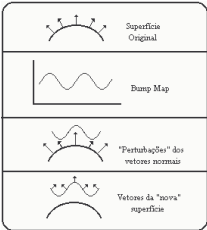
- **Sólida**
 - Exemplos:


http://www-csl.csres.utexas.edu/users/billmark/teach/cs384g-05-fall/projects/ray/ray_examples/solid_wood.jpg

<http://www.cs.uoregon.edu/~apfei/solidtexture.html>

Textura

- **Bump mapping**
 - Simula uma superfície enrugada ou com ondulações
 - O efeito das “rugosidades” na intensidade percebida deve-se a uma alteração na direção do vetor normal (e assim na luz refletida)



<http://www.tweak3d.net/articles/bumpmapping/>

Textura

- **Bump mapping**
 - Portanto, o mapa de textura não define a cor dos pontos do objeto, mas sim a alteração sobre o vetor normal ao objeto no ponto em questão
 - A alteração da normal provoca pequenas mudanças nos valores calculados pelos modelos de iluminação
 - Sua única desvantagem é que as perturbações da superfície não aparecem na silhueta da aresta

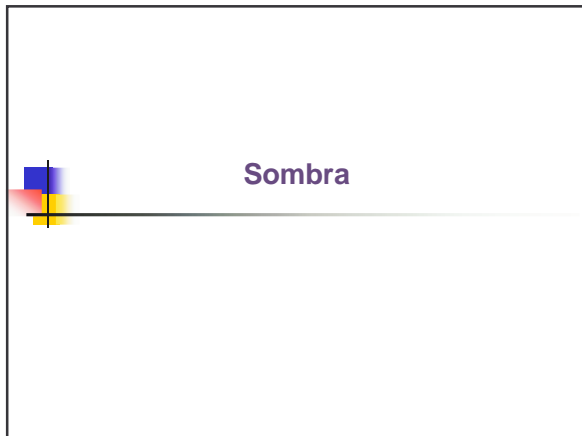
Textura

- **Bump mapping**
 - Exemplos:

<http://www.neilwallis.com/java/index.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Bump_mapping

http://www.cc.gatech.edu/classes/AY2001/cs4451_spring/projects/Eight/



Sombra

- Projeção de sombras consiste em um processo de simulação da obstrução da passagem de luz por objetos opacos, escurecendo parcial ou totalmente outros objetos
- Funções:
 - Eliminar a sensação de que os objetos estão flutuando no espaço
 - Enfatizar a mudança de direção da fonte de luz

Sombra

- Sombras
 - Variam em função da iluminação do ambiente
 - Podem ter contornos marcantes ou suaves
 - Podem conter uma área de umbra e penumbra
 - Umbra: parte da sombra que é completamente isolada da fonte de luz
 - Penumbra: área que recebe alguma luz da fonte
 - A penumbra circunda a umbra e há uma mudança gradual e suave na intensidade da penumbra para a umbra entre zonas que estão com e sem iluminação
 - O tamanho relativo da umbra-penumbra depende do tamanho e da forma da fonte de luz e da sua distância do objeto

Sombra

- Quando existem múltiplas fontes de luz, com diferentes intensidades, e superfícies refletivas (que podem ser tratadas como fontes secundárias), a sombra torna-se parte do problema de iluminação global
 - Neste caso um método eficiente para geração de sombras, mas com alto custo computacional, é dado como parte de um algoritmo simples de *Ray-Tracing*
- Devido ao custo, a sombra é utilizada como adição de qualidade

Sombra

- Pode-se usar um método de eliminação de superfícies escondidas: *Shadow Buffer*
 - Aplicado a partir da posição da fonte de luz
 - Para sombras mais "suaves", deve-se fazer o *rendering* de várias cenas com pequenas variações da posição da fonte de luz
 - Depois é feita uma composição da imagem resultante dos *buffers*
 - Execução do algoritmo de *z-buffer*, mapeando cada ponto nas coordenadas da fonte de luz e comparando o valor com o *shadow-buffer*



Anti-Aliasing

- Anti-aliasing são os métodos desenvolvidos para combater os efeitos de *aliasing*

<http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-aliasing>

http://www.cc.gatech.edu/classes/AY2001/cs4451_spring/projects/Five/

<http://www-2.cs.cmu.edu/afs/andrew/scs/cs/15-463/pub/pix/a3/>

Anti-Aliasing

- Causa do *aliasing*
 - Criação de imagens por um processo de amostragem regular no espaço de domínio (matriz finita de *pixels*)

Silhueta da aresta em um espaço de imagem bidimensional contínuo

Matriz de pixel e grade de amostra

Aresta amostrada

Objetos finos podem desaparecer completamente

Anti-Aliasing

- Não se percebe tanto o *aliasing* quando a aresta e o fundo possuem a mesma intensidade/brilho mas cores diferentes
 - O olho humano é mais sensível aos contrastes de intensidade/brilho do que aos contrastes de cores

Anti-Aliasing

- Uma solução
 - Unweighted area sampling* (filtro)
 - Representa a linha como um retângulo
 - Pinta cada pixel que a linha intersecciona proporcionalmente à "quantidade de intersecção"

[Fig. 3.56 - Foley 1990]

Refração

Refração

- A refração ocorre quando objetos transparentes permitem ver através de si outros objetos com alguma distorção de forma e cor
- Exemplo:
 - Se a refração é considerada: o objeto A é visível através de um objeto transparente ao longo da linha de visão mostrada
 - Se a refração é ignorada: o objeto B é visível

Refração

- A relação entre o ângulo de incidência ϕ_i e o ângulo de refração ϕ_t
 - Dada pela lei de *Snell*
 - Considera o índice de refração do material através do qual a luz passa
 - Proporção da velocidade da luz no vácuo à velocidade da luz no material

http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro_physics/refraction/LightRefract.html

<http://en.wikipedia.org/wiki/Refraction>

Conceitos Básicos de Ray Tracing

Conceitos Básicos de Ray Tracing

- *Ray Tracing* é um modelo de iluminação global baseado em um método de *rendering*
- O algoritmo de *Ray Tracing* é popular para a produção de cenas realistas
- Inicialmente foi introduzido por *APPLE* (1968) como um método para a eliminação de superfícies escondidas
- Em 1980 foi revisado por *WHITTED* para trabalhar com modelos globais de iluminação, e assim permitir a geração de imagens realistas

Conceitos Básicos de Ray Tracing

- *Ray tracing* é uma técnica que simula o percurso dos raios luminosos desde o observador até os objetos que os refletem/transmitem (percurso inverso ao verificado na natureza)
- Característica
 - Método de iluminação global que trabalha com a reflexão especular e a refração
 - Usado com superfícies que possuem alto grau de especularidade (reflexos e transparências)
- Exemplos:

<http://www.povray.org>

Conceitos Básicos de Ray Tracing

- Idéia principal:
 - Observador vê um ponto em uma superfície como um resultado da interação da superfície neste ponto com os raios de luz (diretos da fonte ou refletidos)
 - Um raio é lançado a partir do observador e passa através de cada *pixel* no plano da imagem

Conceitos Básicos de Ray Tracing

- Se for usado apenas como uma solução para o problema de eliminação de superfícies escondidas
 - Algoritmo pára na primeira intersecção do raio com uma superfície
- Implementação simples deste algoritmo
 - Procura por uma intersecção entre o raio e todas as superfícies da cena (intersecção mais próxima ao observador é a desejada)
 - Para uma cena contendo objetos altamente refletivos as superfícies de um objeto podem ser refletidas nas superfícies de um objeto adjacente

Conceitos Básicos de Ray Tracing

- Funcionamento do algoritmo de *ray casting* básico:
 - Seleciona centro de projeção e janela no plano de visualização
 - Para cada *scan-line* na imagem
 - Para cada pixel na *scan-line*
 - Determina o raio com origem no centro de projeção que passa pelo pixel
 - Para cada objeto na cena
 - Se o objeto é interceptado e está suficientemente próximo para ser considerado
 - armazena interseção e nome do objeto
 - Set a cor do pixel para aquela do objeto mais próximo
 - Fim

Conceitos Básicos de Ray Tracing

- Vantagem:
 - Produz resultados excelentes
 - Solução para o problema da iluminação global combinando elegantemente em um único modelo:
 - Remoção de superfícies escondidas
 - Tonalização a partir de uma iluminação direta e/ou global
 - Processamentos de sombras
 - Como o cálculo de cada raio é independente de todos os outros, a implementação com processamento paralelo torna-se trivial
- Desvantagem:
 - Alto custo computacional devido aos inúmeros cálculos de interseção entre raios e objetos

Conceitos Básicos de Radiosidade

Conceitos Básicos de Radiosidade

- Técnica desenvolvida na Universidade de Cornell em 1984
 - Processa a interação da reflexão difusa entre elementos em uma cena
 - Gera imagens com realismo
 - Excelente para gerar cenas de interiores
 - Modelo independente da posição da câmera
 - Conjunto de objetos não-especulares (superfícies perfeitamente difusas)
 - Produz interiores parecidos com a realidade

<http://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity>

Conceitos Básicos de Radiosidade

- Exemplo de uma cena simples:
 - Todas as superfícies são perfeitamente difusas
 - Considerando uma fonte de luz distante, cada superfície terá uma cor constante
 - Considerando uma cena real, onde uma parede é branca e a outra é vermelha
 - Alguns reflexos da parede vermelha serão lançados na parede branca, gerando alguns reflexos vermelhos em algumas partes na mesma
 - O inverso também deve acontecer - reflexos brancos sobre a parede vermelha...

S.Gibson, University of Manchester: http://www.cs.man.ac.uk/~gibsons/gallery_hr.html

Conceitos Básicos de Radiosidade

- Quantidade de processamento:
 - Menor e menos pesada do que no *ray tracing*
- Baseia-se em leis da termodinâmica
 - Algoritmos baseados em modelos termais de emissão e reflexão de radiação
 - Determina as trocas de energia entre os objetos em cena para calcular sombras e reflexões
 - Radiosidade: taxa com que a energia deixa a superfície de um objeto
 - Soma das taxas com que ela emite energia e reflete ou transmite energia originada nela ou em outras superfícies do ambiente
 - Utiliza equacionamentos que descrevem a conservação de energia num ambiente



Conceitos Básicos de Radiosidade

- Combinar *ray tracing* e radiosidade é uma maneira de obter uma melhor modelagem do fenômeno especular e da interação difusa
 - É possível processar tanto a difusa quanto a especular
 - Requer duas passagens sobre a cena
 - Na primeira, independente da posição do observador, as radiosidades são calculadas levando em conta, também, o fato de que "*patches*" podem refletir luz especularmente
 - Na segunda passagem, dependente do observador, para cada pixel a ser exibido é emitido um raio que combina as radiosidades dos "*patches*" especulares

<http://www.cg.tuwien.ac.at/research/rendering/rays-radio/>



Referências

- FOLEY, James D., et al. **Computer Graphics: Principles and Practice**. 2nd Ed., New York, Addison Wesley, 1990.
- HEARN, Donald; BAKER, M. Pauline. **Computer Graphics - C Version**. 2nd Ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1997, 652 p.
- WATT, Alan. **3D Computer graphics**. 3th Ed. Harlow: Addison-Wesley, 2000. 570 p. il.
- PINHO, Márcio. S. **Síntese de Imagens Realística**. Disponível em <http://www.inf.pucrs.br/~pinho/CG/Aulas/Iluminacao/Ilumina.html>. Esta página também está disponível em <http://www.inf.pucrs.br/~flash/cg/Aulas/Iluminacao/Ilumina.html>.