

Aulas: 7 - 12

Objetivos:

- Radiometria, Fotometria e Colorimetria
- Modelos de fontes de luz: omni (pontual), spot, texturizadas, ueberlight.
- BRDF: difusa, especular, Fresnel, microfacets (*shadowing, masking, retro-reflexões, NDF*).
- Modelos de BRDF: Phong, Blinn-Phong, Kajiya-Kay, Ward, Cook-Torrance, Oren-Nayar.
- Métodos de síntese de BRDF: ajustes aos modelos analíticos conhecidos, representação em bases ortonormais, fatoração das funções
- Implementações eficientes: texturização, múltiplas fontes de luz, *deferred shading*.

Exercícios de Fixação:

1. A rápida evolução tecnológica dos processadores gráficos programáveis impulsionou a busca por modelos de iluminação alternativos ao modelo de Phong para descrever fenômenos ondulatórios e energéticos mais complexos da luz. Radiometria, Fotometria e a Colorimetria são então aplicadas para estudos mais avançados do comportamento luminoso. Energia radiante, fluxo radiante, irradiância/radiosidade ou densidade do fluxo radiante, intensidade radiante e radiância são grandezas físicas envolvidas em Radiometria. Como elas são definidas para uma fonte de luz pontual e em quais medidas métricas do SI elas são expressas? Como elas são relacionadas com a energia luminosa, fluxo luminoso, iluminância, intensidade luminosa e luminância da Fotometria?
2. Como é a relação da iluminância ou luminância com uma cor especificada de acordo com o espaço de cores CIE-XYZ do modelo tricromático?
3. O que você entende por gama de cores (*gamut*) de um dispositivo colorido? Como ele pode afetar a reprodução de uma imagem?
4. Utilizando os conceitos da Radiometria e Fotometria, como se descreve, para uma dada posição no espaço, a irradiância  $E_L$  de uma fonte direcional ( $\mathbf{d}$ ) de intensidade  $I_L$ , de uma fonte pontual de intensidade constante  $I_L$  (*omni lights*) e de uma fonte *spot* de intensidade máxima  $I_L$  na direção  $\mathbf{d}$  (*spotlight*)?
5. O que você entende por uma fonte *überlight*?
6. As tonalidades (*shade*) que se percebe numa superfície resultam da interação dos raios luminosos com a superfície: a irradiância da fonte luminosa e a radiância da superfície. Uma forma para descrever esta interação é através das funções de distribuição de reflectância bidirecional (*bidirectional reflectance distribution function* BRDF), assumindo a natureza ondulatória da luz e aplicando os princípios de Óptica Geométrica. Representando a interface entre um volume e o meio que o circunda por um conjunto de microfacetas, pode-se derivar a seguinte função BRDF:

$$f(l, v) = \frac{dL_o(v)}{dE(l)} = \frac{p(h) G(l, v) R_F(\alpha_h)}{4 k_p \overline{\cos \theta_i} \overline{\cos \theta_o}}$$

- a) O termo  $p(h)$  pode ser baseado em *half-vector* ou *reflection-vector*. Qual dos dois paradigmas apresenta resultados especulares mais realísticos? Como  $p(h)$  está relacionado com a função de distribuição de normais (*normal distribution function, NDF*)?
- b) O fator de geometria, ou o fator de atenuação de geometria  $G(\mathbf{l}, \mathbf{v})$ , modela *masking* e *shadowing* através de . Em que consistem os efeitos de *masking* e *shadowing*?
- c) A reflectância de Fresnel  $R_F$  modela a variação da reflectância em relação ao ângulo de visão. Explique a causa desta variação. Quais são os valores típicos de reflectância de Fresnel? Como ela pode ser estimada com a aproximação de Schlick? Em quais tipos de materiais, o efeito de Fresnel é mais visível?
- d) Qual é a função de  $k_p$ ?
- e) Quais ângulos representam  $\theta_i$  e  $\theta_o$  ?
7. Explique os seguintes efeitos e exemplifique: especularidade, retro-reflexão, Fresnel, reflectância interna total (*total internal reflectance*), borramento direcional de reflectâncias (*directional blurring of reflectances*).
8. A teoria sobre as interações de um feixe (ou pincel) de luz com os meios é bem complexa. Ela envolve conceitos de óptica geométrica, óptica ondulatória e óptica quântica. Felizmente, para propósito de síntese de imagens em tempo real (interativo) modelos analíticos simplificados de BRDF tem se mostrado efetivos para geração de imagens convincentes em diferentes situações.
- a) Como as funções de distribuição de normais são integradas nestes modelos para representar a especularidade das superfícies? O que você entende por NDF isotrópica e NDF anisotrópica?
- b) Na prática qual é a ordem de relevância dos seguintes fatores na síntese de efeitos luminosos: reflectância de Fresnel, NDF e termo de visibilidade (*visibility term*)?
- c) Qual é a simplificação adotada no modelo de Phong? Como os seus parâmetros controlam a difusividade, a reflectância de Fresnel e a rugosidade da superfície iluminada (termo de visibilidade, *visibility term*). Qual é o potencial artefato?
- d) Qual é a simplificação usada no modelo de Blinn-Phong? Como os seus parâmetros controlam a difusividade, a reflectância de Fresnel e a rugosidade da superfície iluminada (termo de visibilidade, *visibility term*). Qual é o potencial artefato?
- e) Como os parâmetros do modelo de Kajiya-Kay controlam a difusividade, a reflectância de Fresnel e a rugosidade da superfície iluminada (termo de visibilidade, *visibility term*)? Qual é o potencial artefato?
- f) Como os parâmetros do modelo Ward controlam a difusividade, a reflectância de Fresnel e a rugosidade da superfície iluminada (termo de visibilidade)? Qual é o potencial artefato?
- g) Como os parâmetros do modelo Cook-Torrance controlam a difusividade, a reflectância de Fresnel e a rugosidade da superfície iluminada (termo de visibilidade, *visibility term*)? Qual é o potencial artefato?
- h) Como os parâmetros do modelo Oren-Nayar controlam a difusividade, a reflectância de Fresnel e a rugosidade da superfícies iluminada (termo de visibilidade, *visibility term*)? Qual é o potencial artefato?
9. Vimos que os modelos analíticos ignoram muitos fenômenos de luz e os resultados, embora convincentes para muitos, estão muito aquém dos efeitos físicos. Dispositivos, como goniômetros e reflectômetros, e técnicas baseadas em imagens tem sido utilizadas para medir a

relação entre o feixe incidente e o feixe irradiado, com a finalidade de sintetizar modelos BRDF mais realistas. Quais são os três paradigmas descritos no livro-texto para sintetizar estes modelos?

10. Como podemos aplicar um modelo BRDF no fluxo de renderização de imagens da arquitetura de OpenGL? A nível de vértices ou a nível de fragmentos? Para aumentar a eficiência no processamento, pondere as vantagens e as desvantagens de usar texturas para armazenar valores pré-computados, levando em conta das facilidades de *mipmap* e interpolações lineares que as unidades de mapeamento de textura (*texture mapping units* TMU) dispõem.
11. A computação de efeitos luminosos pode ser dividida em duas fases: a fase da luz e a fase do material. Na fase da luz computa-se a radiância da luz e na fase do material, a irradiância do material. Neste contexto, o que você entende por iluminação multipassos (*multipass lighting*) e renderização adiada (*deferring shading*)? Como estas técnicas podem melhorar o tempo da computação dos efeitos luminosos?
12. Revise o tipo de fonte de luz e o modelo de iluminação implementados [neste exemplo](#). De acordo com as discussões do livro-texto, identifique os problemas observados nas imagens com o modelo de iluminação implementado. Substitua a fonte implementada por três fontes de luz tipo spot de cor vermelho (no eixo x), de cor verde (no eixo y) e de cor azul (no eixo z) direcionadas para o cubo centrado na origem. Indique as posições das fontes como [neste link](#). Com base nas ideias apresentadas [neste link](#), introduza o efeito de Fresnel na imagem, considerando que o cubo seja de material plástico.
13. Adapte o que você implementou no item 12 para [este exemplo](#).
14. Com base nas ideias apresentadas [neste link](#), melhore o desempenho da renderização da cena do item 13 com uso da técnica de *deferred shading*.