

6 Renderização Diferencial

Neste capítulo é descrita a técnica de composição de imagens denominada de Composição por Renderização Diferencial. Através desta técnica não há a necessidade de recalculer a solução de iluminação global da cena inteira ao se adicionar os objetos sintéticos, bastando recalculer a solução apenas para a região da cena que sofre alguma influência dos objetos sintéticos. Assim, a seção 6.1 enfoca a necessidade de se utilizar a técnica. A seção 6.2 apresenta os cálculos realizados para renderizar a cena. Por fim, a seção 6.3 descreve um método para estimar as propriedades de reflectância da cena local.

6.1. A necessidade de utilizar a técnica

De acordo com a técnica apresentada no capítulo anterior, é necessário que o modelo baseado em material (*material-based model*) da cena local seja definido corretamente com relação a sua geometria e suas propriedades de material.

Caso esse modelo não seja bem definido, a aparência da cena local não será consistente com a aparência da cena distante adjacente, o que fará com que a cena não possua a qualidade e o realismo esperados ao realizar a sua renderização. Este fato pode ser observado na figura 41, na qual a cena local foi definida com uma propriedade de material totalmente diferente da propriedade de material da cena distante ao fundo.



Figura 41 – A cena local, disposta abaixo dos objetos sintéticos (a bola espelhada e o bracelete dourado), aparece visível na composição em virtude de possuir propriedade de material diferente da propriedade do material da cena distante (mesa de madeira).

Para reduzir esse efeito errôneo gerado pela estimativa incorreta do material da cena local, Debevec (1998) apresenta em seu estudo a técnica denominada de Composição por Renderização Diferencial (ou, em sua nomenclatura original, *Differential Rendering*).

A vantagem da utilização desta técnica é que, calculada pela primeira vez a estimativa das propriedades de material e de geometria da cena local, não é necessário recalculá-la para toda a extensão da cena ao adicionar os objetos sintéticos sobre ela; o cálculo da estimativa será realizado apenas em cima da alteração ocorrida na aparência da cena local.

6.2. Os cálculos introduzidos pela técnica

De acordo com as regras da técnica de Composição por Renderização Diferencial, ao ser computada a solução de iluminação global para o modelo da cena local, sem objetos sintéticos adicionados, e o modelo da cena distante, o resultado esperado é que a aparência da cena local renderizada seja consistente com o modelo baseado em luz de toda a cena renderizada. Ou seja, ambos os modelos são renderizados como um só modelo de toda a cena representada.

Assim, para a realização dos cálculos introduzidos pela técnica, a aparência da cena local real, observada a partir da posição da câmera, é denotada por LS_b (*local scene background*). LS_b corresponde à imagem de fundo sobre a qual os objetos sintéticos serão, posteriormente, adicionados. A figura 42 apresenta a imagem denotada por LS_b .

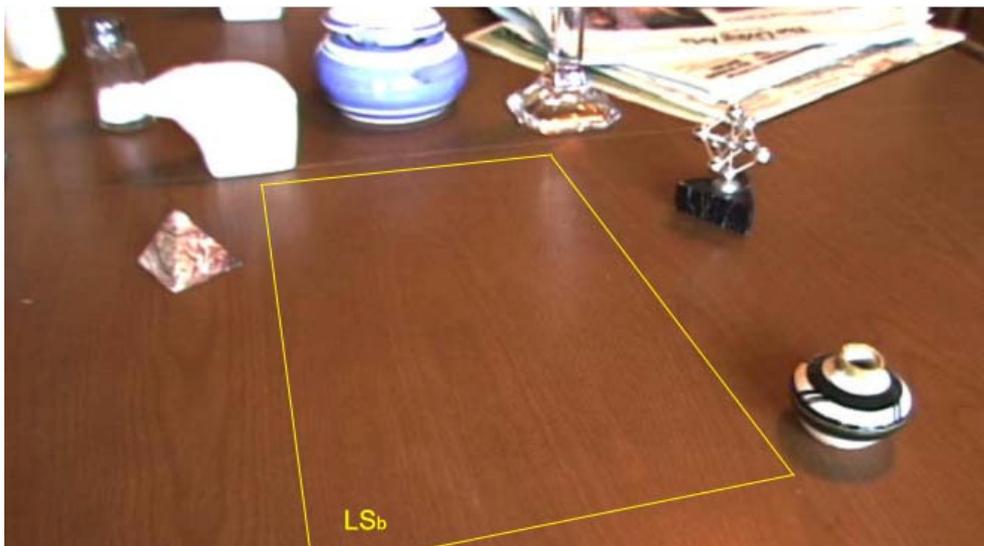


Figura 42 – Imagem de *background* da cena (Debevec 1998).

A aparência da cena local iluminada pela solução de iluminação global, sem a presença dos objetos sintéticos, é denotada por LS_{noobj} (*local scene with no objects*) (figura 43).

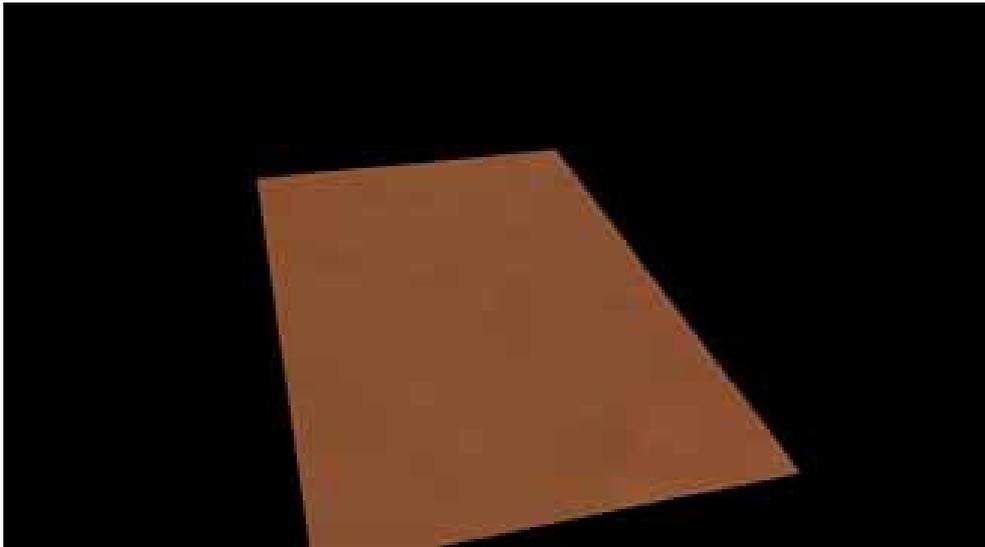


Figura 43 – Imagem da cena local, sem os objetos, iluminada pelo modelo baseado em luz (Debevec 1998).

A partir da aparência da cena local real (LS_b) e da aparência da cena local iluminada sem objetos (LS_{noobj}) é possível calcular o erro presente na cena local que será renderizada através da equação (3):

$$\mathbf{Erro} = \mathbf{LS}_{noobj} - \mathbf{LS}_b \quad (3)$$

Esse erro é decorrente da diferença existente entre as propriedades de material da cena local real e o modelo da cena local iluminado sem os objetos. Este cálculo do erro é o que atribui o nome “Renderização Diferencial” à técnica.

Para denotar o modelo da cena local, iluminado pela solução de iluminação global, contendo os objetos sintéticos, é utilizada a variável LS_{obj} (*local scene with objects*). Esse modelo é apresentado na figura 44.



Figura 44 – Objetos sintéticos e cena local dispostos sobre a imagem de *background* (Debevec 1998).

Com esta última informação, é possível calcular a aparência final da cena local, denotada por LS_{final} (*final local scene*), compensando aquele erro calculado, através da equação (4):

$$LS_{final} = LS_{obj} - \text{Erro} \quad (4)$$

A aparência final da cena local, calculada através da equação (4), está representada na figura 45.



Figura 45 – Aparência final da cena local (LS_{final}) calculada pela equação (4).

Após calcular a representação final da cena local (LS_{final}), esta representação é sobreposta à imagem de *background* (LS_b). Em seguida, os objetos sintéticos são copiados sobre esta sobreposição a partir da representação da cena local com objetos (LS_{obj}).

A cena final calculada está representada na figura 46:



Figura 46 – Cena final resultante da aplicação da técnica de Renderização Diferencial (Debevec 1998).

Examinando-se a imagem final produzida, é possível verificar a grande capacidade que a técnica de Renderização Diferencial possui em produzir composição de imagens bastante realistas. Na imagem final, os objetos sintéticos possuem uma aparência totalmente consistente e integrada aos objetos reais presentes na imagem de fundo (*background image*). A aplicação da técnica também é capaz de eliminar a borda existente entre o modelo da cena local e a imagem de fundo, apresentada na figura 44. Além disso, as propriedades de material da mesa, correspondente à cena real, são preservadas e as reflexões especulares dos objetos reais sobre esta mesa foram corretamente representadas na renderização final.

Porém, mesmo sendo capaz de produzir um resultado considerado realista, esta técnica não é totalmente à prova de falhas, podendo gerar alguns resultados incorretos provenientes da quantidade de erro calculado. Fatores como as propriedades de material estimadas para a cena local e imperfeições no modelo baseado em luz da cena distante podem influenciar negativamente o cálculo desse

erro. Esses fatores podem, inclusive, fazer com que aquele **Erro** seja maior do que o valor de LS_{obj} , o que faria com que o valor de LS_{final} fosse negativo na equação (4).

Uma alternativa para evitar esse tipo de comportamento é alterar a equação (4) de forma que seja compensado o erro relativo na aparência da cena local. Este resultado pode ser alcançado através da utilização da equação (5) a seguir, proposta por Debevec (1998), para calcular LS_{final} :

$$LS_{final} = LS_b (LS_{obj} / LS_{noobj}) \quad (5)$$

A figura 47 apresenta graficamente os cálculos realizados pela equação (5) ao computar LS_{final} , corroborando a equivalência desta equação em relação à equação (4).

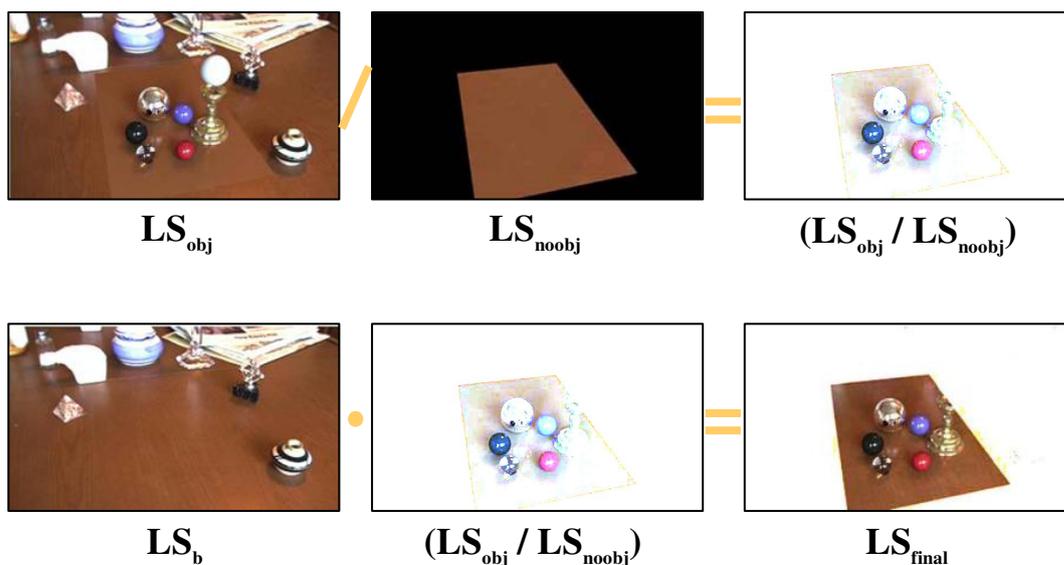


Figura 47 – Representação gráfica dos cálculos realizados pela equação (5).

6.3.

Estimando as propriedades de reflectância da cena local

Conforme apresentado anteriormente, para que a cena final gerada possua um realismo convincente, é necessário que a interação de luz entre os objetos sintéticos e a cena local seja computada de maneira correta. Isso só é possível

através de um modelo da cena local cujas propriedades de reflectância sejam as mais próximas possíveis das propriedades de reflectância da cena local real.

Em seu estudo, Debevec (1998) sugere um método capaz de estimar de maneira eficiente as propriedades refletivas da cena local observando-se a renderização desta. Já que o modelo baseado em luz da cena local, computado pela solução de iluminação global, contém informações tanto sobre a radiância quanto sobre a irradiância dessa cena, ele contém informações sobre a reflectância da cena.

Assim, Debevec (1998) afirma que se for possível estimar as características de reflectância da cena local, será possível iluminá-la através de sua irradiância, obtida a partir do modelo baseado em luz. Além disso, se a estimativa das características de reflectância da cena local for correta, a aparência final desta cena local será consistente com a aparência da cena local real.

De posse dessas informações, o seguinte método iterativo é sugerido por Debevec (1998) para obter as propriedades de reflectância da cena local:

1. Considerar um modelo de reflectância qualquer para a cena local (por exemplo: somente difuso, difuso e especular, metálico, modelo arbitrário);
2. Escolher valores iniciais para os parâmetros do modelo de reflectância, listados no passo anterior;
3. Calcular a iluminação global para a cena local com os parâmetros escolhidos no passo anterior, utilizando as configurações de luz que deverão ser observadas na cena final composta;
4. Comparar a aparência da cena local renderizada com a aparência do *background* (cena local real) através de observações qualitativas das duas imagens;
5. Se a renderização da cena local não estiver qualitativamente consistente com a do *background*, ajustar os parâmetros do modelo de reflectância e retornar ao passo 3.

Em seu estudo, Debevec (1998) apresenta como pode ser realizado o ajuste nas propriedades de material, sugerido pelo passo 5. Considerando um modelo da cena local apenas com propriedades difusas, Debevec (1998) apresenta a equação (6), referente à reflectância desta cena local. Esta equação é executada

internamente pelo pacote de iluminação global *Radiance* ao calcular a iluminação da cena.

$$\begin{aligned} L_{r1}(\theta_r, \phi_r) &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \rho_d L_i(\theta_i, \phi_i) \cos\theta_i \sin\theta_i d\theta_i d\phi_i = \\ &= \rho_d \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_i(\theta_i, \phi_i) \cos\theta_i \sin\theta_i d\theta_i d\phi_i \end{aligned} \quad (6)$$

Na equação (6), $L_{r1}(\theta_r, \phi_r)$ corresponde à radiância no ponto pertencente ao ângulo sólido θ_r e cuja direção é ϕ_r . $L_i(\theta_i, \phi_i)$ corresponde à irradiância no ponto pertencente ao ângulo sólido θ_i e cuja direção é ϕ_i . Por fim, ρ_d corresponde ao coeficiente de reflectância difusa.

Assim, inicializando a cena local com uma propriedade de material perfeitamente difusa ($\rho_d = 1$) em toda sua extensão, a equação (6) pode ser reescrita conforme a equação (7).

$$L_{r2}(\theta_r, \phi_r) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_i(\theta_i, \phi_i) \cos\theta_i \sin\theta_i d\theta_i d\phi_i \quad (7)$$

A partir das equações (6) e (7), é possível calcular a atualização no coeficiente de reflectância difusa, para cada pedaço da cena local, de acordo com a equação (8).

$$\rho'_d = \frac{L_{r1}(\theta_r, \phi_r)}{L_{r2}(\theta_r, \phi_r)} \quad (8)$$

Dividindo os dois termos, obtém-se a próxima estimativa para o coeficiente de reflectância difusa (ρ'_d).

Logo, após renderizar a cena local com uma propriedade de material perfeitamente difusa, esta cena local é comparada ao *background* (cena real). Se não houver inter-reflexão no modelo da cena local renderizado, então a estimativa para (ρ'_d) faz com que este modelo renderizado seja consistente ao *background*. Por outro lado, se houver inter-reflexão, o método é iterado novamente, até convergir para um modelo da cena local que seja consistente.