

M2-Images

Rendu Réaliste - éclairage direct et Monte Carlo

J.C. Iehl

February 6, 2013

Résumé des épisodes précédents...

résumé :

- ▶ lancer de rayons, intersection de primitives,
- ▶ accélération du lancer de rayons,
- ▶ éclairage direct,
- ▶ éclairage indirect,
- ▶ intégration numérique avec la méthode de Monte Carlo,
- ▶ ...

application à un cas concret : l'éclairage direct.

Rappels :

interaction lumière - matière :

- ▶ 0 rebond : source de lumière directement visible,
- ▶ 1 rebond : éclairage direct,
- ▶ 2 rebonds et plus : éclairage indirect.

Rappels :

on veut calculer :

$$L(p, \vec{\omega}_r) = \int_{\vec{\omega} \in \Omega^+} L_i(p, \vec{\omega}) f_r(p, \vec{\omega} \rightarrow \vec{\omega}_r) |\cos \theta| d\omega$$

on sait calculer : l'espérance d'une fonction d'une variable aléatoire

$$L(p, \vec{\omega}_r) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N L_i(p, \vec{\omega}_k) f_r(p, \vec{\omega}_k \rightarrow \vec{\omega}_r) |\cos \theta_k| \frac{1}{pdf(\vec{\omega}_k)}$$

avec N directions $\vec{\omega}_k \in \Omega^+$ distribuées en fonction de $pdf(\vec{\omega}_k)$,
 la densité de probabilité de la variable aléatoire...

Rappels :

N directions distribuées...

- ▶ en fonction d'une densité de probabilité ?
- ▶ quelle densité de probabilité ?
- ▶ comment construire les N directions ?

Rappels :

densité de probabilité :

- ▶ on a le choix, en général :
- ▶ $pdf(\vec{\omega}_k) \propto \frac{1}{|\Omega^+|}$, une constante,
- ▶ $pdf(\vec{\omega}_k) \propto |\cos \theta|$,
- ▶ $pdf(\vec{\omega}_k) \propto f_r(p)$, $\propto f_r(p) |\cos \theta|$
- ▶ $pdf(\vec{\omega}_k) \propto L_i(p)$,
- ▶ ...

une variable aléatoire ? laquelle ? quelle relation entre une variable aléatoire et une densité de probabilité ?

Rappels :

construire N directions distribuées selon une $pdf()$:

- ▶ dépend bien sûr du choix de la $pdf()$,
- ▶ cf recueil de formules :
“Global Illumination Compendium”, eq. 30, 34, 35, 36...

Rappels :

densité de probabilité :

- ▶ le choix de la $pdf()$ influence la qualité du résultat...
(le bruit présent dans l'image)
- ▶ commencer avec $pdf(\vec{\omega}_k) = \frac{1}{|\Omega^+|}$, une constante,
- ▶ et ensuite essayer une solution plus maline.

Eclairage direct : sources sphériques

schema.

Eclairage direct : sources sphériques

application directe :

- ▶ quel domaine d'intégration ?
- ▶ toutes les sources ou une seule source ?
- ▶ quelle $pdf()$?
- ▶ comment générer les directions en fonction de la $pdf()$?

Eclairage direct : sources sphériques

$$L(p, \vec{\omega}_r) = \sum_{s=1}^S L_s(p, \vec{\omega}_r) \quad \text{l'énergie réfléchie par chaque source}$$

$$L_s(p, \vec{\omega}_r) = \int_{\vec{\omega} \in \Omega^s} L_i(p, \vec{\omega}) f_r(p, \vec{\omega} \rightarrow \vec{\omega}_r) |\cos \theta| d\omega$$

on sait calculer :

$$L_s(p, \vec{\omega}_r) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N L_i(p, \vec{\omega}_k) f_r(p, \vec{\omega}_k \rightarrow \vec{\omega}_r) |\cos \theta_k| \frac{1}{pdf(\vec{\omega}_k)}$$

$$\text{avec } pdf(\vec{\omega}_k) = \frac{1}{|\Omega^s|}$$

Eclairage direct : sources sphériques

c'est fini ?

- ▶ combien d'échantillons / directions sont utilisées ? $N \times S$,
- ▶ quelle valeur pour $L_i(p, \vec{\omega}_k)$?
- ▶ rappel : $L_i(p, \vec{\omega}_k) = L_e(q_k, -\vec{\omega}_k) V(p, q_k)$
- ▶ comment générer les directions $\vec{\omega}_k(p, q_k)$?
- ▶ quelle $pdf()$?

Eclairage direct: sources sphériques

générer des directions vers la source s :

générer uniformément des directions dans le cone d'angle θ_{max}
dans lequel la source de lumière est visible.

cf. “Global Illumination Compendium”, eq 34, 35.

et la $pdf()$? elle est constante, et dépend du cone d'angle θ_{max} .

Eclairage direct : source rectangulaire

application directe :

- ▶ découper le domaine Ω_S ,
- ▶ choisir une densité de probabilité,
- ▶ générer des directions vers la source,
- ▶ évaluer l'énergie réfléchie,
- ▶ calculer la moyenne des estimateurs.

même démarche, mais les “*détails*” changent...

Eclairage direct : source rectangulaire

découper le domaine Ω_S :

- ▶ existe-t-il un cône de directions pour lesquelles la source est visible ?
- ▶ solution naïve :
- ▶ générer des directions uniformément sur Ω et rejeter celles qui ne correspondent pas à la source...

Eclairage direct : source rectangulaire

faire mieux :

- ▶ travailler dans un domaine plus adapté...
- ▶ parcourir la surface de la source,
- ▶ déterminer la direction associée au point sur la source,
- ▶ vérifier que le point sur la source est visible,
- ▶ évaluer l'énergie réfléchie.

changement de domaine d'intégration : sur des points et plus sur des directions.

Eclairage direct : changer de domaine d'intégration

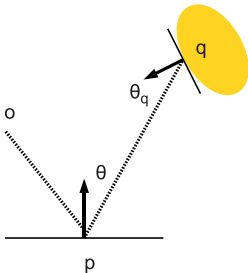
on veut calculer :

- ▶ $L_r(p, \vec{\omega}_r) = \int_{q \in A_s} L_i(p, \vec{\omega}_q) f_r(p, \vec{\omega}_q \rightarrow \vec{\omega}_r) |\cos \theta| \dots dq,$
- ▶ avec $q \in A_s$, l'ensemble de points de la surface de la source s ,
- ▶ et $\vec{\omega}_q$, la direction de p vers q .

quelle relation entre dq et $d\omega$?

Eclairage direct : changer de domaine d'intégration

- ▶ $d\omega = \frac{\cos \theta_q}{||pq||^2} dq$
- ▶ angle solide d'un élément de surface dq vu de p .



finir la substitution ...

Eclairage direct : changer de domaine d'intégration

$$L_r(p, \vec{\omega}_r) = \int_{q \in A_s} L_i(p, \vec{\omega}_q) f_r(p, \vec{\omega}_q \rightarrow \vec{\omega}_r) V(p, q) \cos \theta \frac{\cos \theta_q}{||pq||^2} dq$$

reformulation :

- ▶ avec $q \in A_s$, l'ensemble de points de la surface de la source s ,
- ▶ $\vec{\omega}_q$, la direction de p vers q ,
- ▶ $V(p, q) = 1$ si p et q sont visibles, 0 sinon.

et alors ?

algorithme :

- ▶ pour chaque source de lumière,
- ▶ choisir N points à la surface de la source,
- ▶ vérifier que les p et q sont visibles,
- ▶ évaluer l'énergie réfléchie par chaque q ,
- ▶ finir le calcul.

choisir des points uniformement dans un triangle ?

cf. “Global Illumination Compendium”, eq 18.

on sait calculer :

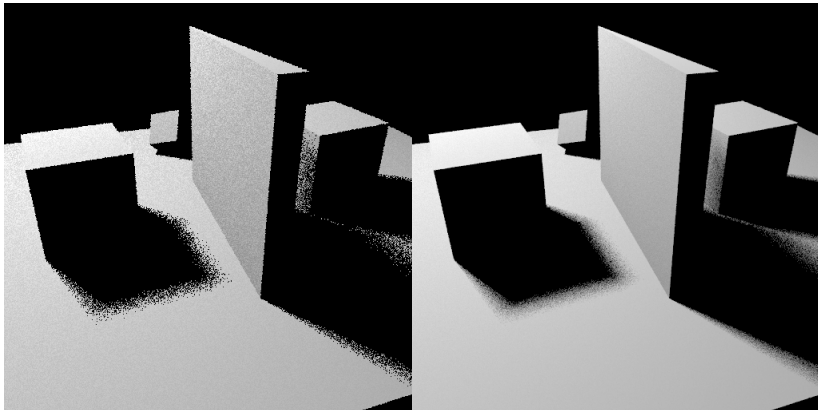
$$L_s(p, \vec{\omega}_r) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N L_i(p, \vec{\omega}_k) f_r(p, \vec{\omega}_k \rightarrow \vec{\omega}_r) G(p, q_k) \frac{1}{pdf(q_k)}$$

avec $G(p, q_k) = |\cos \theta_k| \frac{|\cos \theta_{qk}|}{||pq_k||^2}$
et $L_i(p, \vec{\omega}_k) = L_e(q_k, -\vec{\omega}_k) V(p, q_k)$

$$pdf(q_k) = \frac{1}{A_s}$$

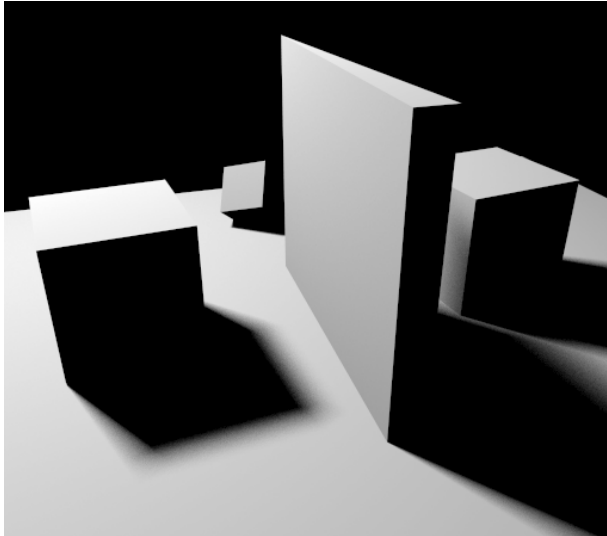
générer les points en fonction de $pdf()$ à la surface de la source :
cf. "Global Illumination Compendium", eq 18.

exemples :



(à gauche) 1 échantillon par pixel, (à droite) 10 échantillons.

exemples :



et alors ?

chaque étape est :

- ▶ simple,
- ▶ mais la moindre erreur donne du bruit ou des résultats très bizarres,
- ▶ et il y a de nombreuses étapes / transformations à réaliser...