

9. Illumination globale

9.1 Introduction

- modèle d'éclairage local
 - lumière incidente d'une ou plusieurs sources
 - orientation de la surface
- modèle d'éclairage global
 - lumière incidente d'une ou plusieurs sources
 - orientation de la surface
 - réflexion et transmission de la lumière par les autres objets

➡ suivi de rayon (ray tracing)

- effets du modèle
 - forte réflexion spéculaire : effet miroir

Modèle d'éclairage global

- Cas d'objets opaques avec forte réflexion spéculaire

regarde 1

- voit 1 + 2

regarde 3

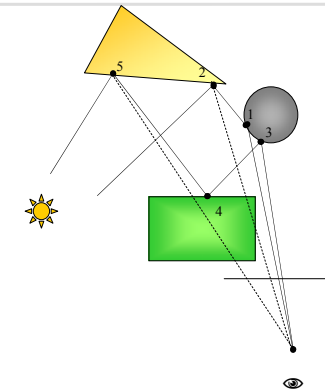
- voit 3 + 4 + 5
- 2, 4, 5 normalement invisibles

image après 1 réflexion : à l'envers

image après 2 réflexion : à l'endroit

2 images du triangle sur la sphère

1 image de la face du rectangle non visible et non éclairé



Utilisation du suivi de rayon

- Parties cachées
- Ombres portées
- Réflexions diverses
- Réfraction (transparence)
- Interaction spéculaire
- pas d'élimination de faces arrières
- pas de tri de faces

9. 2 Principe du suivi de rayon

- idéalement :

- tracer et suivre tous les rayons qui partent des sources lumineuses
- après interaction avec la scène, voir ceux qui arrivent à l'observateur

Impossible à implémenter




pas facile à optimiser

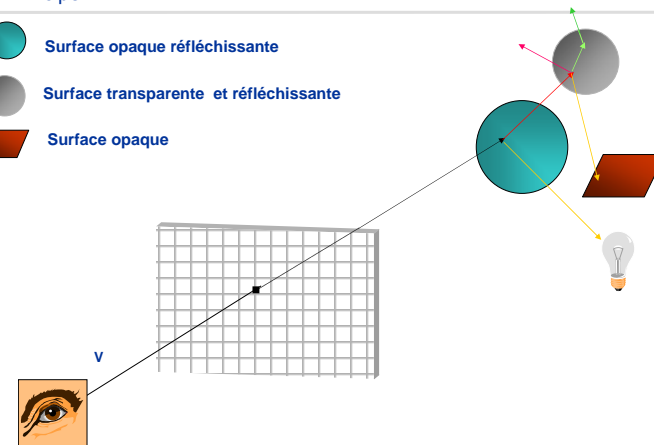
Principe du suivi de rayon

■ en réalité :

- partir de l'observateur
- tracer le rayon qui passe par le centre d'un pixel
- suivre les interactions du rayon avec la scène
- en déduire la couleur du pixel

Principe

-  Surface opaque réfléchissante
-  Surface transparente et réfléchissante
-  Surface opaque



Modèle de Whitted

V rayon incident (vision)

r rayon réfléchi

p rayon réfracté

n normale

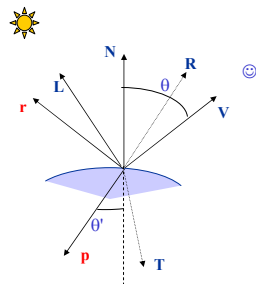
L direction de la source lumineuse

R réflexion locale de la lumière

T réfraction locale de la lumière

I_s intensité de la lumière réfléchie par réflexion spéculaire venant de - r

I_t intensité de la lumière pénétrant la surface suivant - p

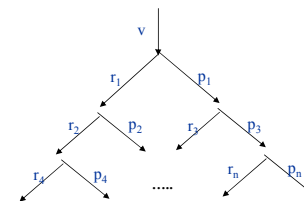


$$I = k_a I_a + k_d \sum_j I_{p,j} (N \cdot L_j) + k_s \sum_j I_{p,j} (R_j \cdot V)^n + k_s I_s + k_t I_t$$

9.3 Algorithme récursif

■ Principe pour un rayon V

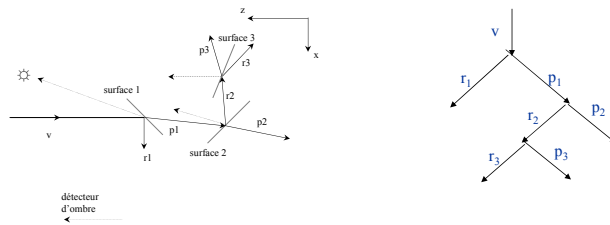
- calculer de façon récursive I_s en suivant le rayon r
- calculer de façon récursive I_t en suivant le rayon p
- appliquer la formule de Whitted.



■ arrêt de l'algorithme

- rayon sort de la scène
- surface opaque non réfléchissante
- profondeur de récursivité atteinte
- pile pleine

Exemple



- Atténuation de l'intensité à chaque nœud en fonction de la distance
- détecteur d'ombre : appliquer les modèles vus précédemment

Algorithme (1)

```

traceRayon(départ, direction, nb, intensité)
{si (nb = 0 )
  alors intensité = 0
  sinon si (!intersection(départ, direction, pointI, facette))
    alors intensité = 0
    sinon { si (facette.ks = 0 )
      alors Is=0
      sinon { calculRéfléchi(direction, facette.N, r)
        traceRayon(pointI, r, nb-1, Is)
      }
    }
    si (facette.kt = 0 )
      alors It=0
      sinon { calculTransmis(direction, facette.N, facette.kη, p)
        traceRayon(pointI, p, nb-1, It)
      }
    }
  }
  ...

```

Algorithme (2)

```

...
I=Ia*ka
pour j=1 à nbsource {
  si (!ombre (pointI, facette.N, direction, j)) alors
    I = I + Idj [facette.kd(facette.N.Lj) + facette.ks(R.(-direction))facette.n]
  }
I = I + facette.ks * Is + facette.kt*It
si (depart ≠ observateur)
  alors { calculDistance(départ, pointI, d)
    I=I/d
  }
intensite = I
}
}

```

9.4 Calculs d'intersection

- Principales actions de l'algorithme : calculs d'intersections entre le rayon et les objets de la scène.
- Equation paramétrique du rayon primaire :
 - $x = x_0 + t(x_1 - x_0)$
 - $y = y_0 + t(y_1 - y_0)$
 - $z = z_0 + t(z_1 - z_0)$

calculs d'intersection avec les objets

Calculs d'intersection

- techniques pour accélérer
 - accélération du traitement des intersections
 - objets spécifiques (sphères, quadriques, CSG...)
 - diminue les calculs d'intersections
 - diminue le nombre de rayons
 - contrôle adaptatif de la profondeur de récursivité
 - utilisation de techniques plus larges
 - lancer de cônes
 - lancer de faisceaux

Intersection avec certaines surfaces

- **Sphère**
 - $(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (z - z_c)^2 = r^2$
 - **on obtient une équation du second degré**

$$At^2 + Bt + C = 0$$
 - pas de racines : pas d'intersection
 - 1 racine : rayon tangent
 - 2 racines : valeur de t inférieure

Intersection avec certaines surfaces

- **Plan**
 - $Ax + By + Cz + D = 0$
 - **on obtient une équation du type** $t = -U/V$
 - $V = 0$ rayon parallèle, pas d'intersection
 - sinon calcul de t
- **Polygone**
 - **intersection avec le plan**
 - **vérification que l'intersection est à l'intérieur du polygone**

optimisation

- Rayon sur l'axe des z
- Volumes englobants
- Décomposition de l'espace avec un octree

Conclusion

- Algorithme très performant
- Temps de calcul + long
 Coût : $x.y.2^a(m+1)(2^n-1)^p$
 - $x.y$ = nb de pixels
 - a = anti-aliasing (facteur de sur-échantillonnage)
 - m = nb de sources
 - n = profondeur de récursion
 - p = nb de primitives testées pour le calcul d'intersections
- Réalisme effectif
- Freeware le + connu : POV (Persistence of Vision)

Exemples d'images : site POV

- Réflexions multiples



Exemples d'images

- Réflexions multiples



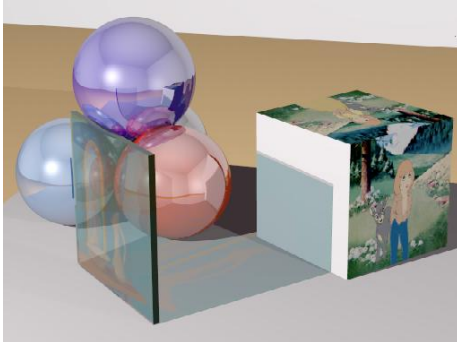
Images

- Traitements des ombres



Images

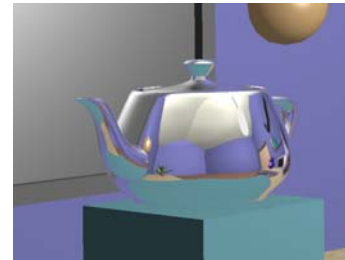
■ transparence



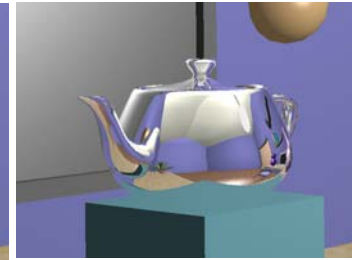
Images

■ Comparaison avec le mapping (A. Watt)

Mapping



Ray tracing



9.5 Autre modèle : la radiosité

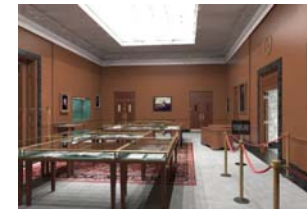
- Eclairage global
- Cornell University (85-86)
- Méthode très coûteuse en temps de calcul
- Indépendante de la position de l'observateur (réalité virtuelle)

la radiosité

■ Principe

- processus d'émission et réflexion basés sur des réflecteurs parfaits
- on ne considère plus de modèles ponctuels mais basés sur une surface

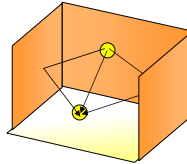
■ images d'intérieur réalistes



La radiosité

■ Calcul de la lumière qui arrive sur une surface

- Chemin direct
- Par réflexions sur d'autres surfaces



■ Améliore les effets simulés par la composante ambiante

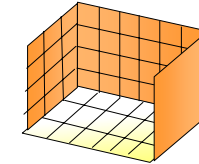
- Pas de terme ambiant
- Simule les ombres douces, les surfaces éclairantes, la lumière naturelle

Définitions

■ Radiosité : taux avec lequel l'énergie quitte une surface par unité de temps et de surface

■ énergie  mise ( metteur)

■ énergie réfléchie (réflecteur)



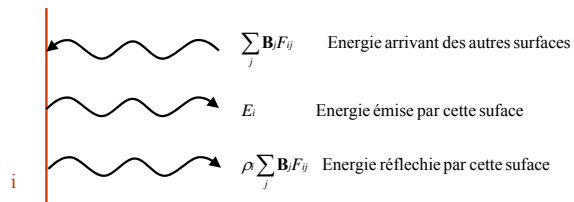
■ En synthèse d'images :

- application à l'énergie visible (illumination)
- Rend les calculs possibles
- La radiosité qui arrive sur un patch est utilisée pour calculer son ombrage

Les  quations

$$B_i = E_i + \rho \sum_j B_j F_{ij}$$

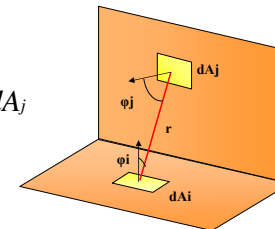
B_i, B_j radiosité des surfaces i et j
 E_i émissivité de la surface i
 ρ réflectivité de la surface i
 F_{ij} facteur de forme de la surface j relativement à la surface i



Le facteur de forme

■ Fraction d'énergie qui,  mise par une surface (i) sera réceptionnée par une autre (j) suivant un chemin direct.

$$F_{ij} = \iint_{A_i A_j} \frac{\cos \phi_i \cos \phi_j}{\pi |r|^2} dA_i dA_j$$

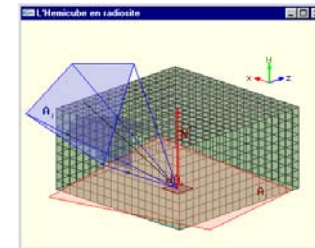


Le facteur de forme

- Problème: Réaliser cette intégration qui est en fait une intégrale quadruple (surface-surface).
- Comme il n'existe pas de méthode analytique pour cette intégration, on emploie des solutions approximées.
- Exemple : projection sur un hémicube

Le facteur de forme

- Problème: Réaliser cette intégration qui est en fait une intégrale quadruple (surface-surface).
- Comme il n'existe pas de méthode analytique pour cette intégration, on emploie des solutions approximées.
- Exemple : projection sur un hémicube



Nicolas JANÉY/ univ Franche Comté

Le facteur de forme

- A chacune de ces cellules est associé un facteur de forme approximé

$$\Delta F_p = \frac{\cos \varphi_p \cos \varphi_p}{\pi |r|^2} \Delta A$$

où φ_p est l'angle entre la normale à la cellule p (cellule carrée de taille constante) et le vecteur entre dAi et p, r est la distance entre dAi et p, et ΔA est la surface d'une cellule.

- La somme de ces facteurs de forme donne le facteur de forme total de la surface de départ.
- Exemple : (université de Franche-Comté)



Matrice de radiosité

- Constitution d'un système d'équations linéaires $B_i = E_i + \rho_i \sum_j B_j F_{ij}$
- matrice de radiosité

$$\begin{bmatrix} 1 - \rho_1 F_{11} & -\rho_1 F_{12} & \dots & -\rho_1 F_{1n} \\ -\rho_2 F_{21} & 1 - \rho_2 F_{22} & \dots & -\rho_2 F_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\rho_n F_{n1} & -\rho_n F_{n2} & \dots & 1 - \rho_n F_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_n \end{bmatrix}$$

Matrice de radiosité

- n peut être très grand:
 - calculer les F_{ij} (généralement $F_{ii} = 0$)
 - Pour n patches : n^2 facteurs formes. Il faut donc rendre la résolution de ce systèmes d'équations efficace.
- On calcule rarement toute la matrice. On applique alors des méthodes progressives ou incrémentales
 - On considère les surfaces ayant une forte radiosité initiale : émettrice de lumière.
 - Puis les surfaces à forte réflexion...
- En rgb : on calcule la radiosité pour chaque composante (facteur de forme constant!)

Exemples (Cornell University)



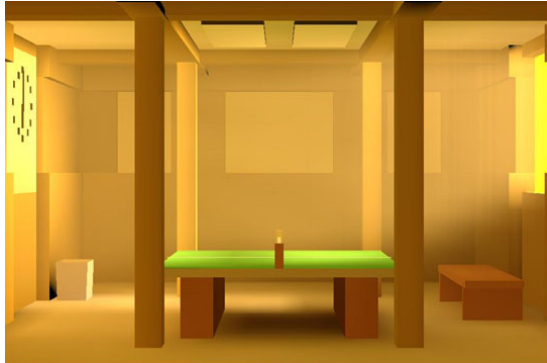
la radiosité



la radiosité



la radiosité



la radiosité



9.6 Ray-tracing et Radiosité

- La radiosité est indépendante de la position observateur.
- Le suivi de rayon est dépendant de l'observateur
- La radiosité rend compte de la composante de la lumière ambiante
- Le suivi de rayon rend très bien compte de la spécularité
- On doit ajouter un test d'occultation dans le calcul du facteur de forme pour gérer les ombres

Ray-tracing et Radiosité

- La radiosité peut être calculée en une 1 re passe
- Le suivi de rayon calculée en seconde passe
- Les 2 calculs de sont ni vraiment ordonnés ni vraiment indépendants!

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

