Techniques de rendu en synthèse d'image

Le rendu (rendering) : techniques nécessaires en vue de créer des images colorées reproduisant le comportement de la lumière dans le monde réel.

- **Interactions de la lumière avec les objets**
- **Modèles d'illumination**
- **Modèles de réflexion**
- **Modèles d'ombrage ("shading")**
- **Textures**
- **Génération d'ombres**
- **Réflexions interobjets**

Interactions de la lumière avec les objets
Généralités

L'énergie lumineuse tombant sur une surface est :
absorbée,
- réfléchie,
- transmise.

La quantité d'énergie lumineuse absorbée, réfléchie dépend de la longueur d'onde de la lumière incident

Un objet est rendu visible par la lumière réfléchie ou

La couleur d'un objet dépend des longueurs d'ondes

modèles d'illumination
Généralités

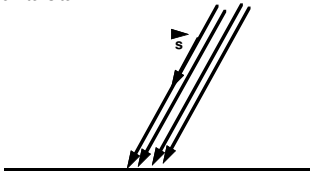
simulation des sources lumineuses : compromis entre temps de rendu et réalisme.

Modèles d'illumination
Sources directionnelles

située à l'infini emet la lumière de manière uniforme dans une même direction (exemple le soleil)

définie par :

- **une direction l'espace (WCS)**
  s = (s_x, s_y ,s_z)
- **une couleur (définie par l'intensité de ses composantes RVB)**
- **une intensité**



Modèles d'illumination
Sources directionnelles

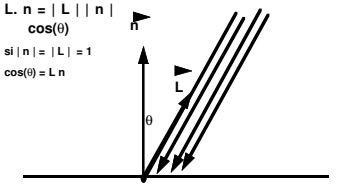
intensité d'énergie lumineuse incidente par unité de surface proportionnelle au cos de l'angle entre la normale à la surface et le rayon incident

L = -s = (-s_x, -s_y ,-s_z)

L. n = | L | | n | cos(θ)

si | n | = | L | = 1

cos(θ) = L n



Modèles d'illumination
Sources ponctuelles

située en un point emet la lumière de manière uniforme dans toutes les directions.

définie par :

- **une position dans l'espace (WCS)**
- **une couleur (définie par l'intensité de ses composantes RVB)**
  s = (s_x, s_y ,s_z)
- **une intensité**

Modèles d'illumination

Sources ponctuelles

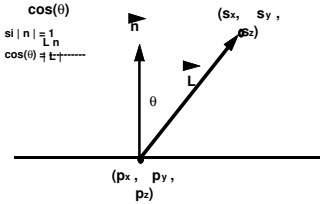
intensité d'énergie lumineuse incidente par unité de surface proportionnelle au cos de l'angle entre la normale à la surface et le rayon incident

$\vec{L} = (s_x - p_x, s_y - p_y, s_z - p_z)$

$\vec{L} \cdot \vec{n} = |\vec{L}| \, |\vec{n}| \cos(\theta)$

si $|\vec{n}| = 1$

$\cos(\theta) = \frac{\vec{L} \cdot \vec{n}}{|\vec{L}|}$



Modèles d'illumination

Sources ponctuelles

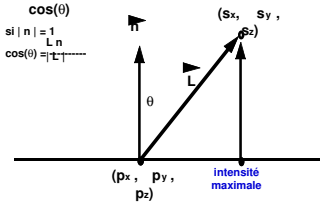
intensité d'énergie lumineuse incidente par unité de surface proportionnelle au cos de l'angle entre la normale à la surface et le rayon incident

$\vec{L} = (s_x - p_x, s_y - p_y, s_z - p_z)$

$\vec{L} \cdot \vec{n} = |\vec{L}| \, |\vec{n}| \cos(\theta)$

si $|\vec{n}| = 1$

$\cos(\theta) = \frac{\vec{L} \cdot \vec{n}}{|\vec{L}|}$



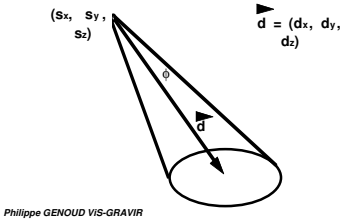
Modèles d'illumination

Spots (sources orientées)

simule un spot qui emet un faisceau lumineux de forme conique

définie par :

- une position et une direction dans l'espace (WCS)
- une couleur (définies par l'intensité de ses composantes RVB)
- un angle d'ouverture
- une intensité



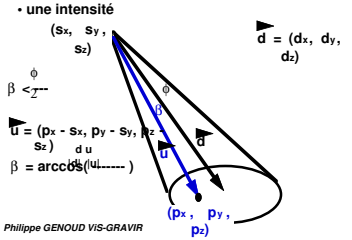
Modèles d'illumination

Spots (sources orientées)

simule un spot qui emet un faisceau lumineux de forme conique

définie par :

- une position et une direction dans l'espace (WCS)
- une couleur (définies par l'intensité de ses composantes RVB)
- un angle d'ouverture
- une intensité



$\beta < \frac{\phi}{2}$

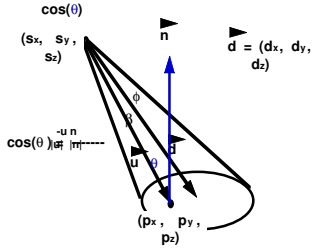
$\vec{u} = (p_x - S_x, p_y - S_y, p_z - S_z)$

$\beta = \arccos\left(\frac{\vec{d} \cdot \vec{u}}{|\vec{d}| \, |\vec{u}|}\right)$

Modèles d'illumination

Spots (sources orientées)

- energie lumineuse en P proportionnelle à $\cos(\theta)$



$\cos(\theta) = \frac{-\vec{u} \cdot \vec{n}}{|\vec{u}| \, |\vec{n}|}$

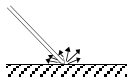
- fonction d'aténuation de l'intensité lumineuse sur les bords du faisceau.

Interactions de la lumière avec les objets

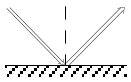
Réflexion de la lumière

Caractéristiques de la lumière réfléchie par un objet dé
- la composition, la direction et la géométrie de la sour
- de l'orientation de la surface de l'objet et des propriét
surface.

Réflexion diffuse



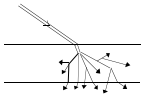
Réflexion spéculaire



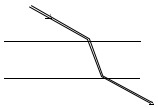
Interactions de la lumière avec les objets

Transmission de la lumière

Transmission diffuse (objets tranlucides)



Transmission spéculaire (objets transparents)



Modèle de réflexion

Modèles infographiques

Modèle de réflexion ou d'éclairement :

méthode algorithmique permettant de simuler les interactions de la lumière avec une surface. Exprime les différents facteurs déterminant a couleur de la surface en un point.

Modèles locaux : modèles empiriques ne tenant compte que de la lumière en provenance de sources lumineuses bien définies. (modèles de Phong, de Cook et Torrance).

Modèles de réflexion

Modèles locaux

Sources lumineuses ponctuelles.

Décomposition de manière empirique de la lumière réfléchie en un point d'une surface en trois composantes:

- **ambiante,**
- **diffuse,**
- **spéculaire.**

$$I(x) = I_a(x) + I_d(x) + I_s(x)$$

Modèle de réflexion

Modèles infographiques

Modèle de réflexion ou d'éclairement :

méthode algorithmique permettant de simuler les interactions de la lumière avec une surface. Exprime les différents facteurs déterminant la couleur de la surface en un point.

Modèle de réflexion

Modèles infographiques

Modèle de réflexion ou d'éclairement :

méthode algorithmique permettant de simuler les interactions de la lumière avec une surface. Exprime les différents facteurs déterminant a couleur de la surface en un point.

Modèles locaux : modèles empiriques ne tenant compteque de la lumière en provenance de sources lumineuses bien définies. (modèles de Phong, de Cook et Torrance).

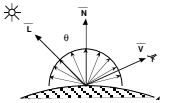
Modèles globaux : prennent en compte la réflexion de la lumière en provenance de toutes les surfaces composant la scène (lancer de rayons, radiosité).

Modèles de réflexion

Réflexion diffuse

Loi de Lambert décrit la réflexion d'une lumière ponc un diffuseur parfait :

$$I = I_i \, k_d \cos\theta$$

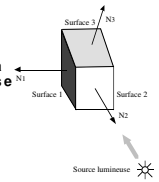


I : intensité de la lumière réfléchie en un point de la s
I_i : intensité de la lumière incidente
θ : angle entre la direction de la lumière et la normale
k_d : coefficient de diffusion

Modèles de réflexion

Réflexion diffuse (suite...)

Avec le modèle de Lambert les objets qui ne sont pas éclairés directement par la source lumineuse paraissent noirs.



Dans une scène réelle, les objets reçoivent aussi de l diffusée vers eux par l'environnement : la lumière am

Modèles de réflexion

Lumière ambiante

Représentée par une source de lumière distribuée.

Dans les modèles informatiques élémentaires la lumière ambiante approximée par un terme constant.

$$I = I_a k_a + I_i k_d \cos\theta$$

I_a : intensité de la lumière ambiante
k_a : constante de diffusion de la lumière ambiante, 0

Modèles de réflexion

Atténuation des sources lumineuses ponctuelles

Deux objets orientés identiquement par rapport à une source lumineuse ponctuelle doivent pouvoir être distingués.

Dans la réalité les objets les plus éloignés semblent plus pâles, l'intensité de la lumière décroit selon la distance à la source.

$$I = I_a k_a + f_{att} I_i k_d \cos\theta$$

$$f_{att} = \max(1, 1 / (c_1 + c_2 d_L + c_3 d_L))$$

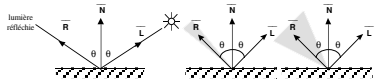
Modèles de réflexion

Réflexion spéculaire

L'intensité de la lumière réfléchie spéculaire dépend :

- de la longueur d'onde de la lumière incidente,
- de l'angle d'incidence,
- des caractéristiques du matériau.

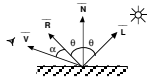
Surface parfaitement réfléchissante | Surface brillante | Surface mate



Modèles de réflexion

Réflexion spéculaire modèle de Phong

$$I_s = I_i w(\theta, \lambda) \cos^n \alpha$$



α : angle entre ligne de vision (V) et direction de réfl

n : coefficient qui donne approximativement la distr la lumière réfléchie spéculaire.

$w(\theta, \lambda)$: fonction de réflectance

Modèles de réflexion

Modèle de Phong (suite...)

$w(\theta, \lambda)$: fonction de réflectance, rapport de la lumière réfléchie spéculaire à la lumière incidente en fonction de l'angle d'incidence et de la longueur d'onde de la lumière incidente.

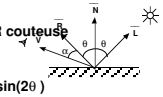
En général $w(\theta, \lambda)$ est remplacée par une constan

Modèles de réflexion

Modèle de Phong (suite...)

calcul de $\cos(\alpha)$

$\cos(\alpha) = R \cdot V$
mais détermination de R couteuse



$V \cdot L = \cos(2\theta + \alpha)$
$= \cos(2\theta)\cos(\alpha) - \sin(2\theta)$
$\sin(\alpha)$
$= \cos(\alpha)\,(\cos(2\theta) - \sin(\theta)) -$
$\sin(2\theta)\sin(\alpha)$

$n \cdot V = \cos(\theta + \alpha)$
$= \cos(\theta)\cos(\alpha) - \sin(\theta)$
$\sin(\alpha)$

$R \cdot V = 2 (n \cdot L) (n \cdot V) - V \cdot L$

Modèles de réflexion

Modèle de Phong (suite...)

Le modèle complet

$$I = I_a K_a + \sum [I_i K_d (L \cdot n) + I_i^n K_s (R \cdot V)]$$

$R \cdot V = 2 (n \cdot L) (n \cdot V) - V \cdot L$

Modèles d'ombrage

Généralités

Modèle d'ombrage ("shading model") :
détermine quand le modèle de réflexion est appliqué et quels sont les arguments qu'il reçoit.

Modèle de réflexion --> lumière en un point de la surface

Modèle d'ombrage --> calcul de la lumière en tous les points de la surface

Modèles d'ombrage

Intensité constante

Pour chaque face polygonale :

- une normale constante et unique est utilisée
- une intensité est calculée pour un point intérieur à la face et appliquée à tous les points de cette face.

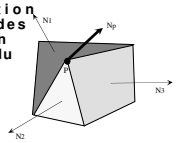
Modèles d'ombrage

Ombrage de Gouraud

Une intensité est calculée pour chaque pixel en fonction du modèle d'éclairement.

1) Détermination approximative des normales à la surface en chaque sommet du polygone.

$$N_p = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}$$



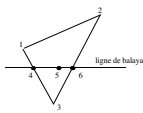
2) Calcul de l'intensité au niveau de chaque sommet.

3) Détermination de l'intensité en chaque pixel par interpolation bilinéaire.

Modèles d'ombrage

mbrage de Gouraud (suite...)

Interpolation bilinéaire des intensités sur une ligne d



$$I_4 = I_1 \frac{y_4 - y_3}{y_1 - y_3} + I_3 \frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_3}$$

$$I_5 = I_3 \frac{y_6 - y_2}{y_3 - y_2} + I_2 \frac{y_3 - y_6}{y_3 - y_2}$$

$$I_4 = I_4 \frac{x_5 - x_6}{x_4 - x_6} + I_6 \frac{x_4 - x_5}{x_4 - x_6}$$

Modèles d'ombrage

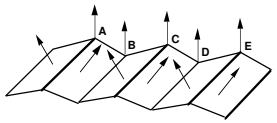
Ombrage de Gouraud (suite...

- Amélioration du réalisme,
- Relativement peu coûteux en temps de calcul.

- Legers effets de bandes de Mach,
- Contours des silouhettes sont polygonaux,
- Calcul des normales peut gommer l'effet de relief,
- La forme des reflets spéculaires très influencée par la géométrie des polygones représentant la surface,
- Les polygones doivent être convexes.

Modèles d'ombrage

Anomalies de l'ombrage de Gouraud



Les normales en A, B, C, D et E sont indentiques,

la surface est rendue comme étant plane.

Modèles d'ombrage

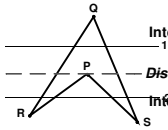
Ombrage de Phong (suite...)

- Meilleure approximation locale de la courbure à la surface,
- Meilleur rendu des reflets spéculaires,
- Diminution de l'effet de bandes de Mach.

- Plus coûteux en temps de calcul,
- Les polygones doivent être convexes.

Modèles d'ombrage

Anomalies de l'ombrage de Gouraud



Interpolation des données de Q, R et S.

Discontinuité

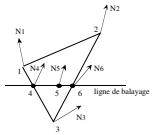
Interpolation des données de P, R et S.

Modèles d'ombrage

Ombrage de Phong

1) Détermination approximative des normales à la surface en chaque sommet du polygone.

2) Interpolation des normales le long d'une ligne de balayage.



3) Détermination de l'intensité en chaque pixel en utilisant les normales interpolées.