M2-Images

Energie

J.C. Iehl

November 3, 2009

Résumé des épisodes précédents

- transformations,
- intersections + accélérations,
- matières,
- algorithme générique,
- ?

énergie, propagation et calculs ...

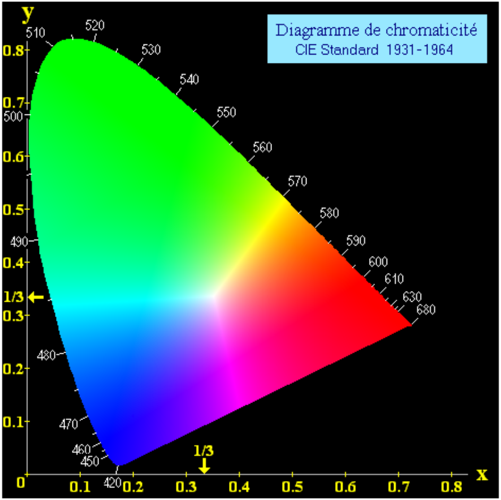
Spectre d'énergie

lumière :

- ensemble d'ondes electro-magnétiques,
- ou ensemble de photons ?

on s'interesse à l'ensemble de longueurs d'ondes percues par l'oeil : le domaine visible $[380nm\ 780nm]$.

Domaine visible et couleurs



Radiométrie

plusieurs grandeurs physiques :

- le flux, noté Φ, unité J/s ou W,
- l'éclairement, noté E, unité W/m^2,
- l'intensité, noté I, unité W/sr,
- la luminance, noté L, unité $W/m^2/sr$

Radiométrie : Flux

définition :
Φ, quantité d'énergie traversant une surface / région par unité de temps.

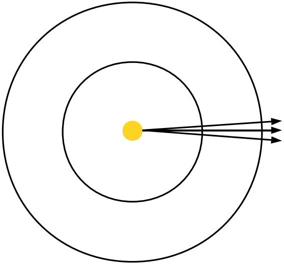
unité :
W, Watt.

utilisé pour décrire la puissance d'une source de lumière (en Watt).

Radiométrie : Flux

remarque :

le flux mesure la quantité d'énergie émise, plus on s'éloigne d'une source de lumière, plus le flux "local" diminue, (le flux émis est constant).



Radiométrie : Eclairement

définition :

$E = \frac{d\Phi}{dA}$, densité de flux par unité d'aire.

unité :

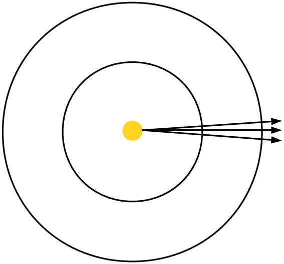
W/m^2, Watt par mètre carré.

Radiométrie : Eclairement

exemple :

aire d'une sphère de rayon $r = 4\pi r^2$,

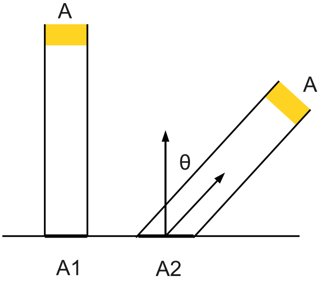
$$E = \frac{\Phi}{4\pi r^2}$$



Radiométrie : Eclairement

exemple :

2 surfaces orientées différement n'ont pas le même éclairement.



$E_1 = \frac{\Phi}{A1}$ avec $A1 = A$, donc $E_1 = \frac{\Phi}{A}$
$E_2 = \frac{\Phi}{A2}$ avec $A2 = A \,/ \cos\theta$, donc $E_2 = \frac{\Phi \cos\theta}{A} = E_1 \cos\theta$

Radiométrie : Intensité

définition :
$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$, densité de flux par unité d'angle solide.

unité :
W/sr, Watt par stéradian.

Angle solide

angle solide :

- équivalent 3d d'un angle 2d, projection d'un objet sur une sphère unitaire,
- ensemble de directions sur la sphère (noté $d\omega$),
- unité : le stéradian, $\Omega = \frac{A}{r^2}$, soit 4π stéradians sur la sphère.

rappel : angle

- projection d'un objet sur un cercle unitaire,
- ensemble de points sur le cercle,
- unité : le radian, $\theta = \frac{l}{r}$, soit 2π radians sur le cercle.

Radiométrie : Luminance

définition :

$L = \frac{dI}{dA} = \frac{dE}{d\omega} = \frac{d^2\Phi}{d\omega dA \cos\theta}$, densité de flux par unité d'aire, par unité d'angle solide.

unité :

$W/m^2/sr$, Watt par mètre carré, par stéradian.

Radiométrie : Luminance

remarques :

- la luminance est constante le long d'un rayon (dans le vide),
- les autres quantités peuvent être calculées en intégrant la luminance, par direction et/ou par aire.

exemple :

$$E(p) = \int_{\vec{\omega} \in \Omega} L_i(p, \vec{\omega}) \cos\theta \, d\omega$$

Radiométrie : Remarques

source ponctuelle :

on ne peut pas déterminer la luminance au point p émise par une source ponctuelle.

- pas d'angle solide associé.

source "simple" :

une "petite" sphère (cf. ampoule).

et alors ?

on connait :

- l'émission d'une source de lumière, son flux, Φ,
- sa forme,
- un point p, sa normale $\vec{n}$, sa matière $f_r(\vec{l}, p, \vec{o})$.

on veut calculer :

- l'énergie réfléchie par p vers l'observateur, $L(p, \vec{o})$,
- sachant que p est éclairé par la source.

??

et alors ?

plusieurs étapes :

- déterminer l'ensemble des directions $d\omega$ pour lesquelles la source est visible,
- calculer l'énergie incidente au point p pour chaque direction : $L_i(p, \vec{\omega})$,
- calculer l'interaction avec la matière du point p : $f_r(\vec{\omega}, p, \vec{o})$,
- calculer l'énergie réfléchie vers l'observateur : $L_o(p, \vec{o})$.

$$dL_o(p, \vec{o}) = L_i(p, \vec{\omega}) f_r(\vec{\omega}, p, \vec{o}) \cos\theta d\omega$$

Transport

on connait :

l'énergie émise par un point q sur une source de lumière vers le point p,

au point p :

le point p "voit" le point q dans la direction $\vec{l}$,

$$L_i(p, \vec{l}) = L_o(q, -\vec{l})$$

Interaction

énergie incidente et réfléchie :

$$f_r(\vec{l}, p, \vec{o}) = \frac{dL_o(p, \vec{o})}{L_i(p, \vec{l}) \cos\theta_l d\vec{l}}$$

$$L_o(p, \vec{o}) = \int_{\vec{\omega} \in \Omega} L_i(p, \vec{\omega}) f_r(\vec{\omega}, p, \vec{o}) \cos\theta d\omega$$

Eclairage direct (directions)

calculer l'énergie réfléchie :

$$L_o(p, \vec{o}) = \int_{\vec{\omega} \in \Omega} L_i(p, \vec{\omega}) f_r(\vec{\omega}, p, \vec{o}) \cos\theta d\omega$$

intégration numérique sur Ω :

- ensemble de directions pour lesquelles les sources sont visibles,
- c'est à dire : déterminer l'angle solide des sources (vue par p).

Eclairage direct (directions)

angle de solide d'une source :

- déterminer la projection, notée Ω_L, d'une source sur une sphère unitaire, centrée en p,
- intégrer la luminance incidente pour chaque direction $\vec{\omega}$ ...

... si la source est visible dans la direction $\vec{\omega}$.

$$L_o(p, \vec{o}) = \int_{\vec{\omega} \in \Omega_L} L_i(p, \vec{\omega}) V(p, trace(p, \vec{\omega})) f_r(\vec{\omega}, p, \vec{o}) \cos\theta d\omega$$

$trace(p, \vec{\omega})$: point visible par p dans la direction $\vec{\omega}$,
$V(p, q) = 1$, si q est sur la source, 0 sinon.

Eclairage direct (directions)

forme simple :

une sphere.

facile de choisir une direction appartenant au cone de directions pour lequel la source est visible.

Eclairage direct (directions)

pas très pratique :

calculer la projection sur la sphère d'une forme quelconque ?

et avec plusieurs sources ? $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup ...\Omega_n$

construire les directions autrement ?

Eclairage direct (surfaces)

transformer l'intégrale :

travailler sur des points à la surface des sources,
déterminer les directions associées.

mais :

changement de variable d'intégration ...

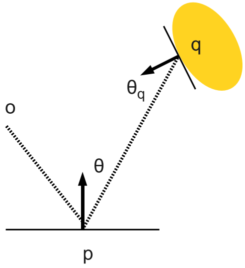
$$d\omega = \frac{dA \cos\theta_q}{r^2}$$

angle solide d'un élément de surface à une distance r.

Eclairage direct (surfaces)

$$L_o(p,o) = \int_{q \in A_L} L_i(p,q) V(p,q) f_r(q,p,o) \cos\theta \frac{\cos\theta_q}{r^2} dA$$

$V(p,q) = 1$, si p et q sont visibles, 0 sinon.



Eclairage direct (surfaces)

forme simple :

un rectangle.

facile de choisir un point q à la surface d'un rectangle $abcd$:
$q = a + u_1\overrightarrow{ab} + u_2\overrightarrow{ad}$ avec $c = a + \overrightarrow{ab} + \overrightarrow{ad}$.

Intégration numérique (notions)

2 types de méthodes :

- régulière : choisir N points espacés régulièrement sur la source,
- stochastique (aléatoire) : choisir N points aléatoirement sur la source (cf. u_1 et u_2).

Intégration numérique (notions)

intégration régulière :

les échantillons q_k forment une grille régulière à la surface de la source :

$$L_o(p,o) = \sum_{k=1}^{N} L_i(p,q_k) V(p,q_k) f_r(q_k,p,o) \cos\theta \frac{\cos\theta_{q_k}}{r_k^2} \Delta q_k$$

avec $\Delta q_k = \frac{A}{N}$ et $r_k = |\overrightarrow{q_k - p}|$

somme des valeurs de la fonction intégrée pour les N cellules de la grille.

Intégration numérique (notions)

intégration stochastique :

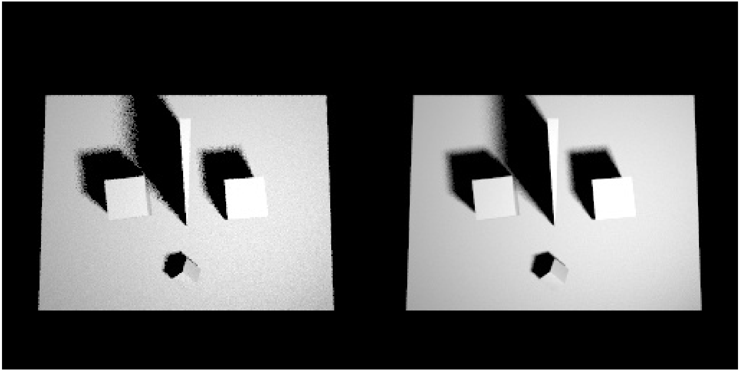
les échantillons q_k sont choisis aléatoirement à la surface de la source :

$$L_o(p,o) = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} L_i(p,q_k)V(p,q_k)f_r(q_k,p,o)\cos\theta\frac{\cos\theta_{q_k}}{r_k^2}A$$

avec $r_k = |\overrightarrow{q_k - p}|$

moyenne des valeurs de la fonction intégrée pour les N échantillons aléatoires (uniformes, $pdf(q) = \frac{1}{A}$).

Eclairage direct : Exemples



Eclairage direct : Exemples