

Simulateur pour l'étude de la visibilité dans les environnements enfumés.

Mickaël Ribardière

Dirigée par Kadi Bouatouch
Encadrée par Samuel Carré

16 Décembre 2010



Le contexte

La demande initiale

Réaliser un outil de simulation d'éclairage pour l'étude de la visibilité dans les environnements enfumés.

Thèse réalisée au CSTB

⇒ Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

- Département Acoustique et Éclairage ⇒ DAE
 - Réalise des études d'éclairage (simulation physique)
 - Logiciel de photo-simulation *Phanie* (méthode de *Radiosité*)

En collaboration avec l'équipe BUNRAKU de l'IRISA

Objectif principal

Développer une méthode de résolution de l'illumination globale

- Dans des scènes contenant
 - Une géométrie complexe
 - De nombreuses sources artificielles et/ou naturelles
- physiquement réaliste
 - Pas de limitations sur le nombre de réflexions lumineuses
 - Grandeurs physiques photométriques définies par des spectres (40 longueurs d'ondes minimum)
- Scènes contenant des fumées
 - évoluant dans l'espace et le temps
- Calculs devant prendre en compte le déplacement de l'observateur

Organisation du travail de thèse

3 parties complémentaires

- Développement d'une nouvelle méthode de simulation d'éclairage
- Extension de cette méthode aux environnements enfumés
- Considérations des aspects dynamiques

Notes

Notes

Notes

Notes

- 1 L'illumination globale surfacique
- 2 Les milieux participatifs
- 3 Considérations sur les aspects dynamiques
- 4 Conclusion générale

Notes

3 méthodes majeures

- Méthode de type **tracé de chemins**
⇒ variance difficile à réduire
- Méthode de type **Photon Mapping**
⇒ phase de *final gathering* très longue
- Méthode de **cache d'éclairage**
⇒ Le direct n'est pas stocké au niveau des enregistrements
 - Recalcul complet du direct durant la phase de rendu
 - très coûteux en simulation d'éclairage
 - très coûteux dans le cadre d'une animation
 ⇒ Mauvaise distribution des enregistrements
 - concentration sur les « bords » de la scène
 - due aux formes sphériques des zones d'influence

⇒ **Choix de la méthode de cache d'éclairage**

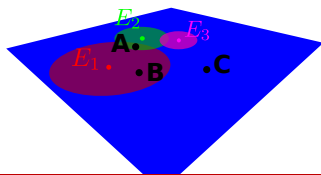
Notes

Développé par Ward *et al.* en 1988
 [G. J. Ward, F. M. Rubinstein, et R. D. Clear : A ray tracing solution for diffuse interreflektion. 1988]

La méthode exploite la cohérence spatiale :

- en échantillonnant
- et
- en interpolant

l'éclairage indirect à l'aide d'enregistrements



Notes

Un enregistrement R

- x_R ⇒ position de l'enregistrement R
- \vec{n}_R ⇒ normale à la surface en x_R
- $E(R)$ ⇒ éclairage indirect évalué en x_r
- d_R ⇒ rayon de la zone d'influence
 - moyenne harmonique des distances
 - ou
 - distance minimum aux objets visibles depuis x_R

Notes

Les gradients de translation

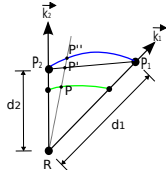
Interpolation linéaire entre 2 axes k_1 et k_2

$$E(P) = w_R(P) \cdot [\vec{E}_{k_1}(P) \cdot (1 - \tau) + \tau \cdot \vec{E}_{k_2}(P)]$$

avec $\tau = \frac{\|\vec{P}_1 \vec{P}'\|}{\|\vec{P}_1 \vec{P}_2\|}$

Extrapolation d'éclairciment due aux gradients translationnels

$$\vec{E}^{Tr}(P) = [\vec{E}_{k_1}(P) \cdot (1 - \tau) + \tau \cdot \vec{E}_{k_2}(P)]$$



Notes

Les gradients de rotation...

... déterminent les variations dues aux perturbations de normales

Cas des fortes variations

⇒ les gradients du 1^{er} ordre donnent de mauvais résultats

Gradients de rotation du 2^e ordre

Formulation de Taylor

$$\vec{E}(\alpha) = E(R) + G_k^{rot1} \Delta_\theta + \frac{1}{2} G_k^{rot2} \Delta_\theta^2$$

Notes

Les gradients de rotation : l'interpolation

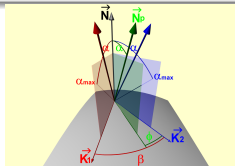
Extrapolation d'éclairciment due aux gradients de rotation

$$\vec{E}^{Rot}(P) = \left[\frac{\phi}{\beta} \cdot \vec{E}_{k_1}(\alpha) + \left(1 - \frac{\phi}{\beta}\right) \cdot \vec{E}_{k_2}(\alpha) \right]$$

L'apport au point P d'un enregistrement R avec Tr et Rot

$$E_R(P) = w_R(P) \cdot (\vec{E}^{Tr}(P) + \vec{E}^{Rot}(P))$$

$$w_R(P) = \left(\frac{|\vec{R} \vec{P}'|}{|\vec{R} \vec{P}|} - 1 \right) \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_{max}} \right)$$



Notes

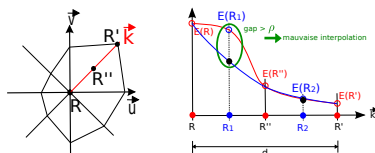
Adaptation aux variations de l'éclairciment

Des conditions d'éclairage difficiles à restituer (les ombres par exemple)

⇒ Ajuster la longueur des axes en fonction de la validité des gradients

comparaison entre une valeur interpolée et une valeur calculée à l'aide des sources ponctuelles équivalentes

⇒ Contrôle de la pertinence de l'interpolation à l'aide d'un critère de précision défini par un seuil ρ



Notes

De nombreuses méthodes existantes

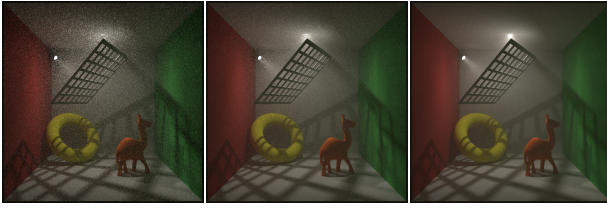
Méthodes à base de tracé de chemins
⇒ réduction de la variance très coûteuse



10 échantillons

100 échantillons

1000 échantillons



Notes

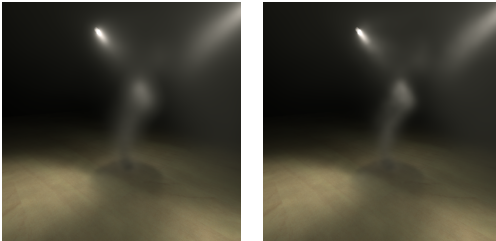
De nombreuses méthodes existantes

Méthodes à base de *Photon Mapping*

Nécessité d'un très grand nombre de photons (plusieurs millions)
L'intégration des photons est très coûteuse

Volumé Photon Mapping (1998)

Beam Radiance Estimate (2008)



Jensen et Christensen

Jarosz et al.

Notes

De nombreuses méthodes existantes

Méthodes de type *Cache de Luminance*

[W. Jarosz et al. : Radiance caching for participating media. ACM Trans. Graph. 2008]

Manipulation de tout type de milieux participatifs

- homogène et hétérogène
- isotrope et anisotrope

Problèmes

- Difficile à mettre en œuvre
⇒ 4 caches de luminances à maintenir
- La diffusion multiple est incomplète
⇒ seulement 3 réflexions lumineuses dans la fumée
- Comment les enregistrements sont-ils créés dans le volume ?

Notes

Le cache d'éclairage volumique

Première contribution

Stocker l'ensemble des contributions dans la structure enregistrement
- diffusion multiple
- diffusion simple : sources primaires et secondaires

⇒ Enregistrements adaptatifs volumiques

- Adaptation de la zone d'influence
 - à la proximité des objets environnants
 - aux variations d'éclairage
- Gradients du second ordre

Notes

Notes

Mêmes gradients de translation que pour les surfaces
⇒ Réutilisation du concept de sources ponctuelles équivalentes

$$E(P) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{I_i^{eq}(\vec{\omega}_i)}{d_i^2} V_{tr}(x_i, P)$$

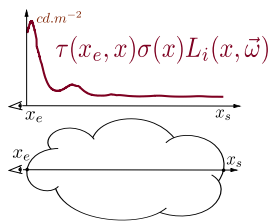
avec

$$V_{Tr}(x_i, P) = V(x_i, P)\tau(x_i, P)$$

Gradients de rotation ne sont plus nécessaires

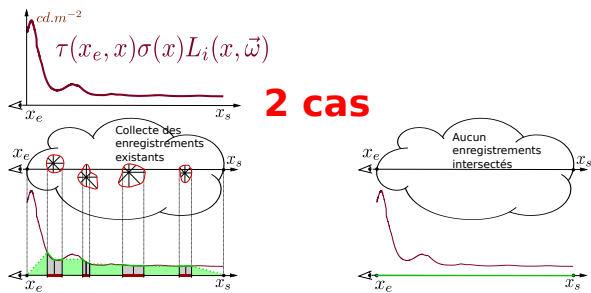
Notes

Vue générale du processus d'ajout



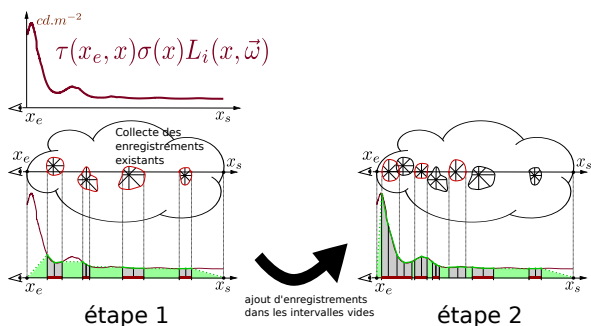
Notes

Vue générale du processus d'ajout



Notes

Vue générale du processus d'ajout

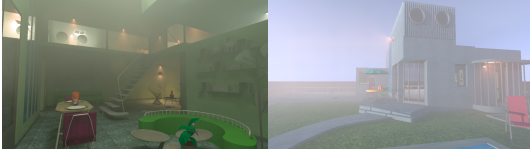


Si $\frac{|L_{\text{etape2}}(x_e, \vec{\omega}) - L_{\text{etape1}}(x_e, \vec{\omega})|}{L_{\text{etape1}}(x_e, \vec{\omega})} \geq \chi$ le processus continue

D'autres résultats

Notes

Scène de la Villa Arpel



Conclusion

Notes

Adaptation du cache d'éclairage aux milieux participatifs

Cache d'éclairage volumique à enregistrements adaptatifs

- Prise en compte des diffusions simple et multiple
- Redéfinition des zones d'influence pour le volume

Contrôle de la création des enregistrements volumiques

- En fonction de l'éclairage
- En fonction des caractéristiques photométriques du milieu

Problématique d'une simulation dynamique

Notes

Simulation d'éclairage en présence de milieux participatifs dynamiques

Évolution de la fumée

- ⇒ implique un changement d'éclairage
- ⇒ nécessite de recalculer les informations photométriques

Déplacement de l'observateur

- ⇒ Nouvelles parties de la scène deviennent visibles

Les effets de flickering

Notes

1^{re} idée

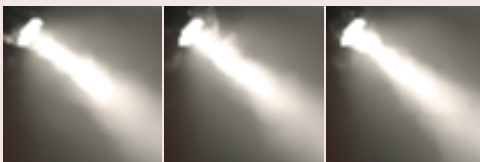
Recalculer l'éclairage pour chaque nouvelle image

- ⇒ Très coûteux en temps de calcul
- ⇒ effets de scintillement (*flickering*)

instant 1

instant 2

instant 3



Contributions

Illumination globale + Milieux participatifs dynamiques

Très peu d'études.

Cache d'éclairage adaptatif temporel

⇒ Exploiter la cohérence temporelle

Enregistrements adaptatifs spatio-temporels

- Nouvelle dimension : le temps
- Chaque enregistrement a une **durée de vie** dépendante des variations d'éclairage
- La forme de la zone d'influence évolue au cours de la durée de vie en fonction des variations temporelles d'éclairage

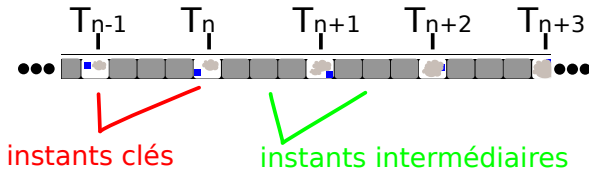
Notes

Décomposition de l'espace temps

Le temps est décomposé

- en instants clés : la distribution de la fumée est connue
la simulation est fournie par le Département Sécurité, Structure et Feu (DSSF) du CSTB
- en instants intermédiaires : la distribution de la fumée est interpolée

⇒ Calculer l'éclairage en tout instant



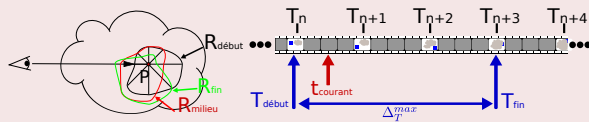
Notes

Vue générale de la méthode

Méthode en 2 passes

1^{re} passe : la création du cache temporel

- parcours chronologique de tous les instants (clés et intermédiaires)
- pour un instant $t_{courant} \in [T_n, T_{n+1}[$
pour un point P (sur une surface ou dans le volume)
Si aucun enregistrement n'est valide
⇒ Création d'un nouvel enregistrement spatio-temporel au point p tel que sa durée de vie = Δt^{max}
 $T_{debut} = T_n$
 $T_{fin} = T_{debut} + \Delta t^{max}$
 R_{debut} , R_{milieu} et R_{fin} sont des enregistrements primaires



Notes

Vue générale de la méthode

Méthode en 2 passes

2^e passe : le rendu

- parcours chronologique de tous les instants (clés et intermédiaires)
- pour un instant $t_{courant} \in [T_n, T_{n+1}[$
Création de l'image
en utilisant les enregistrements spatio-temporels

Notes

Adaptation de la durée de vie

Notes

Problème

Une durée de vie fixe ΔT^{max} ?

- Quelle valeur fixer ?
- Risque de mal restituer les fortes variations temporelles

Solution

Adaptation de la durée de vie :

- à la visibilité de l'enregistrement par l'observateur
- à la photométrie

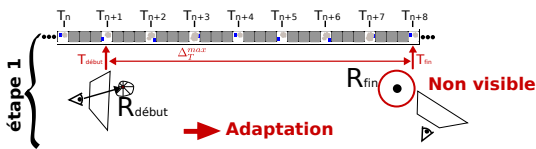
Notes

Adaptation à la visibilité

visibilité ?

Durée pendant laquelle l'enregistrement est visible par l'observateur

Vérifier la visibilité de l'enregistrement en ΔT^{max}



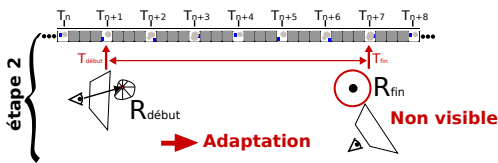
Notes

Adaptation à la visibilité

visibilité ?

Durée pendant laquelle l'enregistrement est visible par l'observateur

Diminuer la durée de vie d'un instant clé et vérifier de nouveau la visibilité



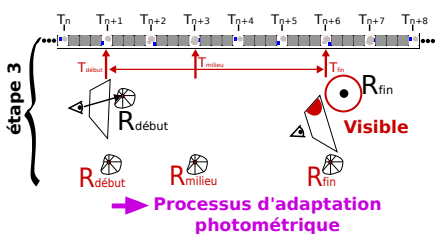
Notes

Adaptation à la visibilité

visibilité ?

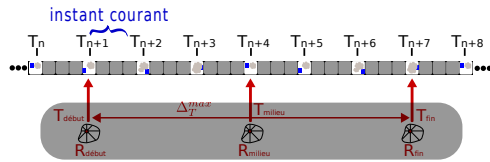
Durée pendant laquelle l'enregistrement est visible par l'observateur

Lorsque l'enregistrement est visible : arrêter le processus d'adaptation à la visibilité



Adaptation photométrique

Contrôle de la pertinence de l'interpolation temporelle



$$\begin{cases} err_{min} \leq \frac{E(T_{debut})}{E(T_{milieu})} \leq err_{max} \\ err_{min} \leq \frac{E(T_{debut})}{E(T_{fin})} \leq err_{max} \\ err_{min} \leq \frac{E(T_{milieu})}{E(T_{fin})} \leq err_{max} \end{cases} \text{ Les valeurs d'éclairement sont trop différentes les unes des autres!}$$

Notes

Conclusion

Caches d'éclairement adaptatifs (surfacique et volumique) spatio-temporels

Enregistrements adaptatifs temporels

- Exploitation de la cohérence temporelle
- Une durée de vie est associée à chaque enregistrement
- Gradients temporels pour évaluer
 - l'évolution de la forme de la zone d'influence
 - l'évolution de l'éclairement

Adaptations temporelles

- En fonction des variations temporelles de l'éclairement
- En fonction de la visibilité « potentielle » de l'enregistrement

Notes

Rappel de l'objectif

Développer une méthode de résolution de l'illumination globale

- en présence de milieux participatifs
- en prenant en compte les aspects dynamiques
- physiquement réaliste

Réponse en 3 points

- méthode de résolution pour les surfaces
⇒ *Cache d'éclairement à enregistrements adaptatifs*
- méthode de résolution pour les milieux participatifs
⇒ *Cache d'éclairement volumique*
- prise en compte des aspects dynamiques
⇒ *Cache d'éclairement spatio-temporel*

Notes

Le cache d'éclairement à enregistrements adaptatifs

Gains

- Meilleure répartition des enregistrements
- Meilleure prise en compte des fortes variations d'éclairement
- Accélération de la phase de rendu (si intégration du direct)

Publication d'un article

Adaptive Records for Irradiance Caching
Ribardièrre M., Carré S., Bouatouch K.
à paraître dans *Computer Graphics Forum*

Limite

- Pour le moment : méthode limitée aux matériaux diffus

Notes

Le cache d'éclairage volumique

Gains

- Prise en compte de toutes les interactions lumineuses dans le volume
- Meilleure répartition des enregistrements dans le volume
- Meilleur contrôle de la précision
- Accélération de la phase de rendu (si intégration du direct)

Limite

- Pour le moment : méthode limitée aux milieux isotropes

Le cache d'éclairage spatio-temporel

Gains attendus

- Suppression des effets de scintillements
- Accélération des temps de calcul
- Possibilité d'étendre la méthode aux objets dynamiques

Perspectives et travaux futurs

À court terme

- Validation de la méthode de cache d'éclairage spatio-temporel
- Extension des méthodes
 - ⇒ aux objets brillants (pour le cache surfacique)
 - ⇒ aux milieux anisotropes (pour le cache volumique)

⇒ Publications en cours d'écriture

- Parallélisation des calculs

À moyen terme

- Visualisation interactive des résultats
thèse en cours au CSTB

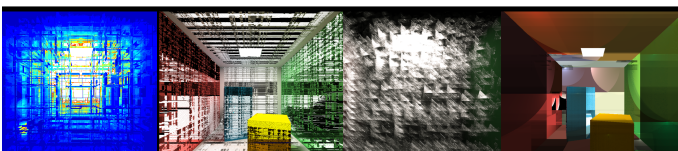
Autre angle de recherche

- Caractérisation photométrique des fumées
- Restitution des résultats (restitution haute dynamique, aspects psychosensoriels...)

Remerciements

Un grand merci à

- Samuel
- Kadi
- Toute l'équipe éclairage : Édith, Amélie, Michel P., Michel G. et Nicolas
- François Demouge (DSSF)
- et à tous ceux qui m'ont apporté leur soutien : les amis, la famille et surtout Sophie.



Notes

Notes

Notes

Notes
