

Estimation conjointe de sources lumineuses et de propriétés photométriques à partir d'images

Bruno Mercier, Daniel Meneveaux

{mercier, daniel}@sic.univ-poitiers.fr

Laboratoire SIC, Poitiers

Plan

- Introduction
- Prétraitements
- Détection de sources lumineuses
- Identification conjointe
- Résultats
- Conclusion et perspectives

Le Rendu Basé-Image

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

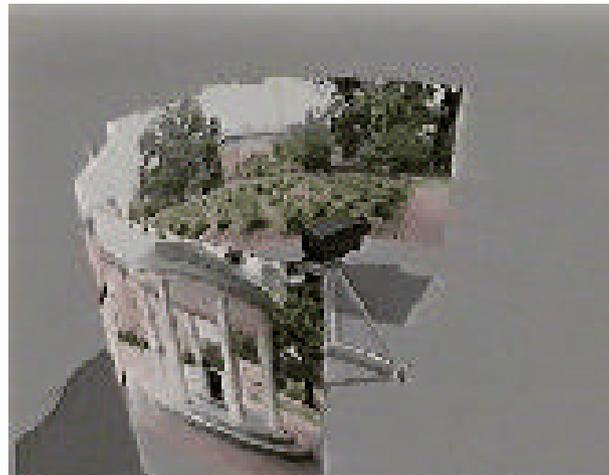
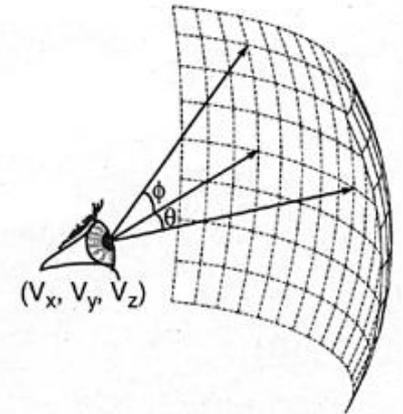
Src directionnelle

Identification

Résultats

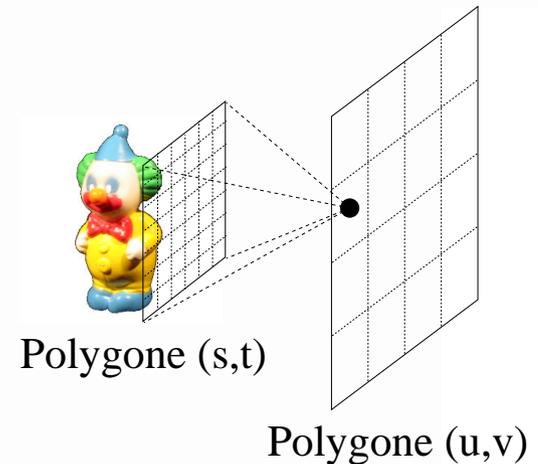
Conclusion

- Visualisation à partir d'images
- La fonction plénoptique [AB91]
 $f(V_x, V_y, V_z, \phi, \theta, \lambda)$
- Méthodes d'échantillonnage



la modélisation plénoptique

[MB95]



les lumigraphes [GGSC96]

ou lightfields [LH96]

Problématique

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

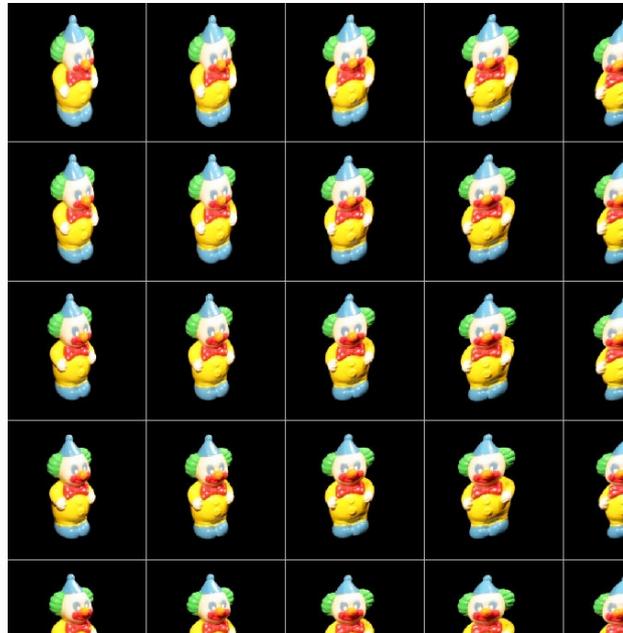
Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Recherche de sources lumineuses
 - géométrie de l'objet
 - estimation conjointe sources / réflectance de la surface
- Support : série d'images



Reconstruction géométrique

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

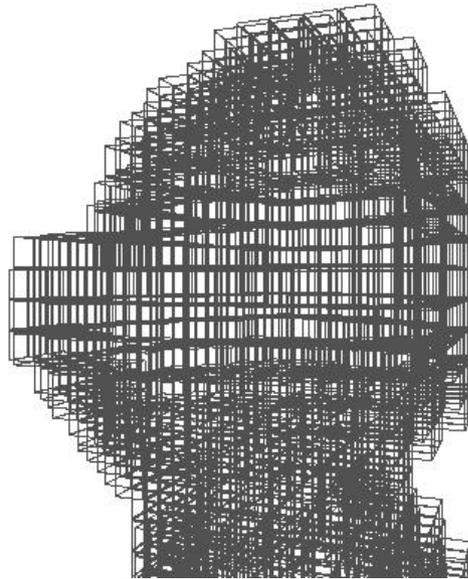
Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

● Estimation de la forme [MMF03]



sculpture [Sze93]

octree, voxels



marching cubes [LC87]

maillage polygonal

● Estimation de la normale

Hypothèses de travail

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

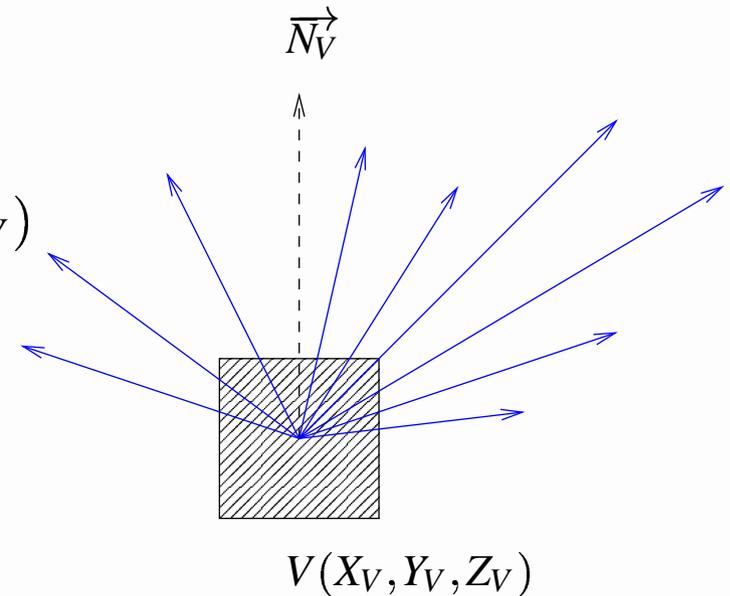
Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Chaque voxel V
 - coordonnées 3D (X_V, Y_V, Z_V)
 - normale \vec{N}_V
 - échantillons de luminance



- Sources ponctuelles et directionnelles
- Modèle de Phong [Pho75]

$$L_r = L_s(K_d \cos(\theta) + K_s \cos^n(\phi))$$

Principe de l'algorithme

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Préparation des données
 - classification des voxels
 - estimation du type de surface
- Détection d'une source lumineuse
 - source ponctuelle
 - source directionnelle
 - choix du type de source détecté
- Estimation conjointe
 - sources lumineuses
 - propriétés photométriques de la surface

1^{re} classification

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

● Voxels de même réflectance



RGB



teinte



saturation



classes

● Estimation du type de surface (spécularité)

- surface diffuse ou mixte
- écart-type normalisé des luminances (XYZ)

$$ETN = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NbVoxels} \sum_{j=1}^{NbLuminances} \left(\frac{L_j(V_i) - L^{moy}(V_i)}{L^{moy}(V_i)} \right)^2}{\sum_{i=1}^{NbVoxels} NbLuminances}}$$

2^e classification

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

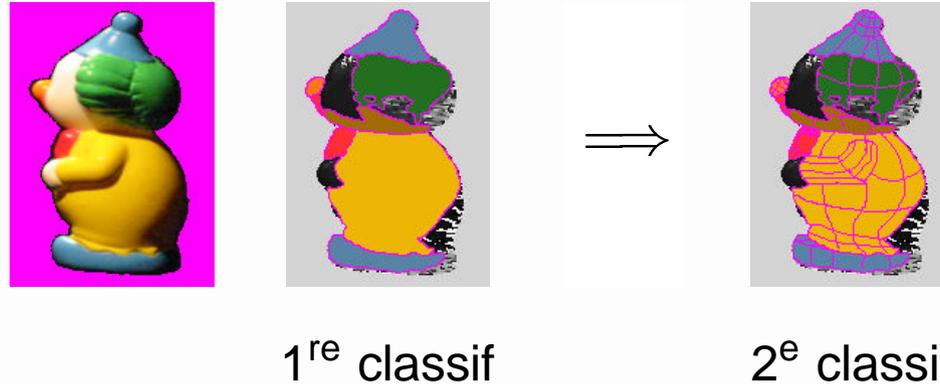
Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Voxels éclairés par la même source
- classement selon la normale



- 1 seul lobe spéculaire
- de même réflectance
- éclairés par une seule et même source

Principe de l'algorithme

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Préparation des données
 - classification des voxels
 - estimation du type de surface

- Détection d'une source lumineuse
 - source ponctuelle
 - source directionnelle
 - choix du type de source détecté

- Estimation conjointe
 - sources lumineuses
 - propriétés photométriques de la surface

Détection d'une source ponctuelle

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

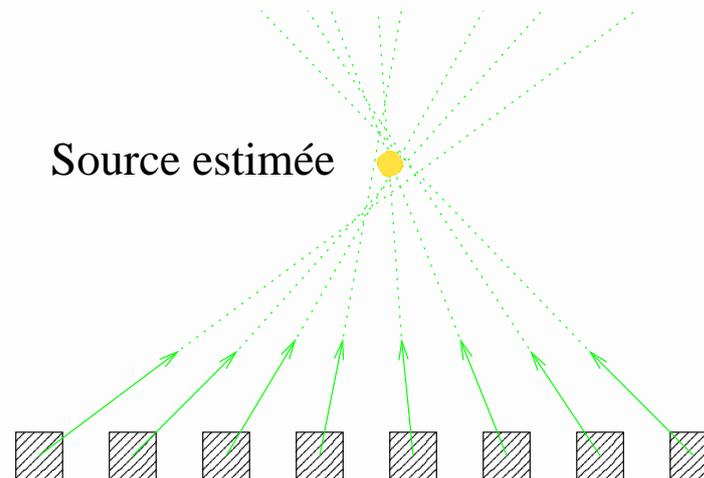
Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Pour chaque sous-classe
 - direction d'incidence de chaque voxel
 - point d'intersection



- 2 analyses
 - sur surface diffuse
 - sur surface mixte

Surface diffuse

Introduction

Prétraitements

Classification

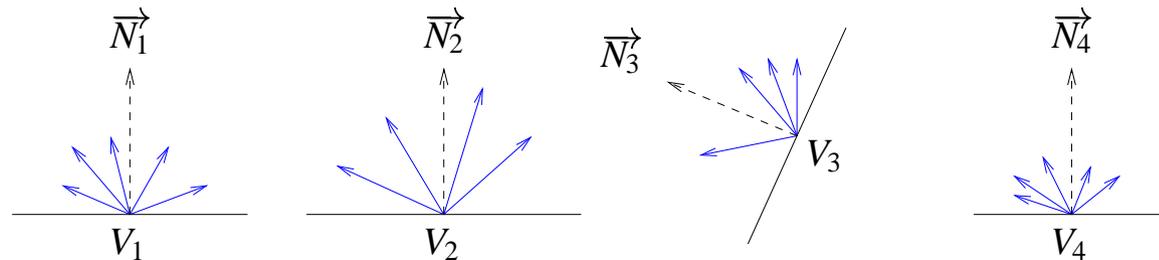
Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

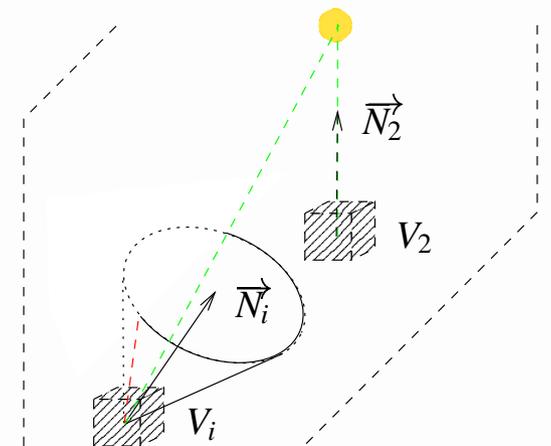
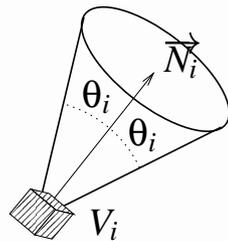
Conclusion



● Luminance $L(V_i) = L_s K_d \cos(\theta_i)$

● $L_s K_d = L(V_2)$

● $\theta_i = \cos^{-1}(L(V_i)/L(V_2))$



Surface diffuse

Introduction

Prétraitements

Classification

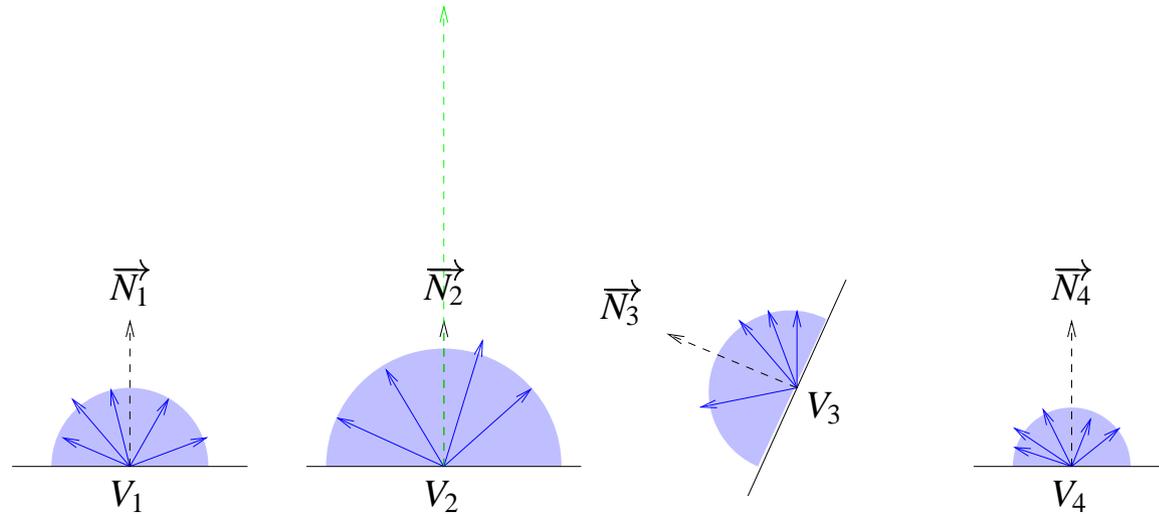
Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

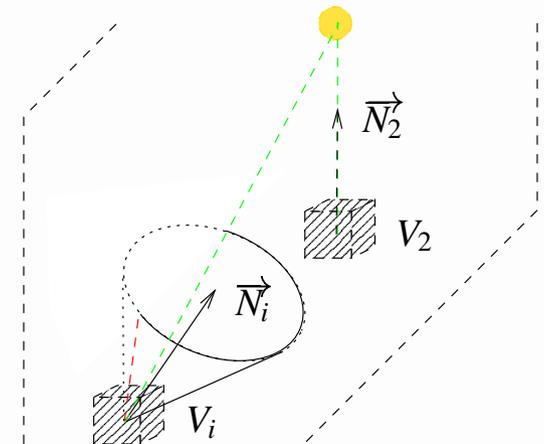
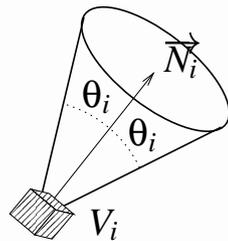
Conclusion



● Luminance $L(V_i) = L_s K_d \cos(\theta_i)$

● $L_s K_d = L(V_2)$

● $\theta_i = \cos^{-1}(L(V_i)/L(V_2))$



Surface diffuse

Introduction

Prétraitements

Classification

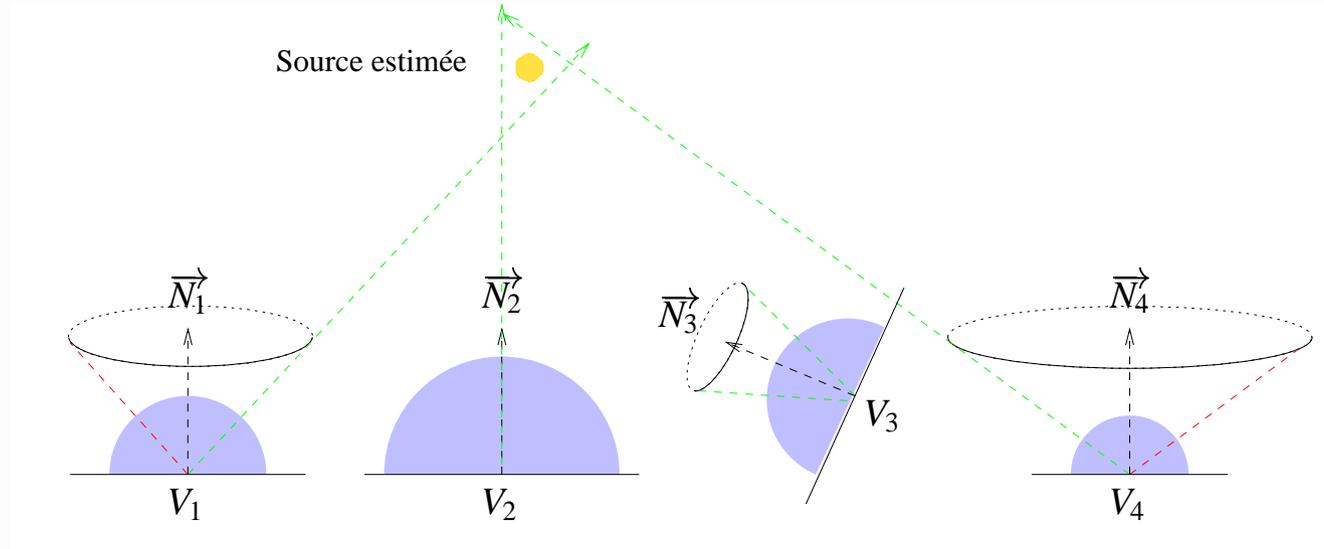
Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

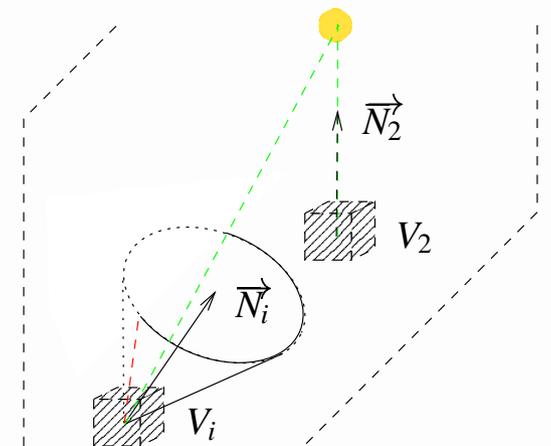
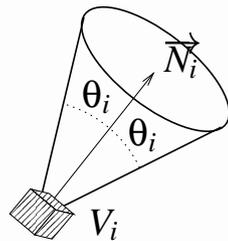
Conclusion



● Luminance $L(V_i) = L_s K_d \cos(\theta_i)$

● $L_s K_d = L(V_2)$

● $\theta_i = \cos^{-1}(L(V_i)/L(V_2))$



Surface diffuse

Introduction

Prétraitements

Classification

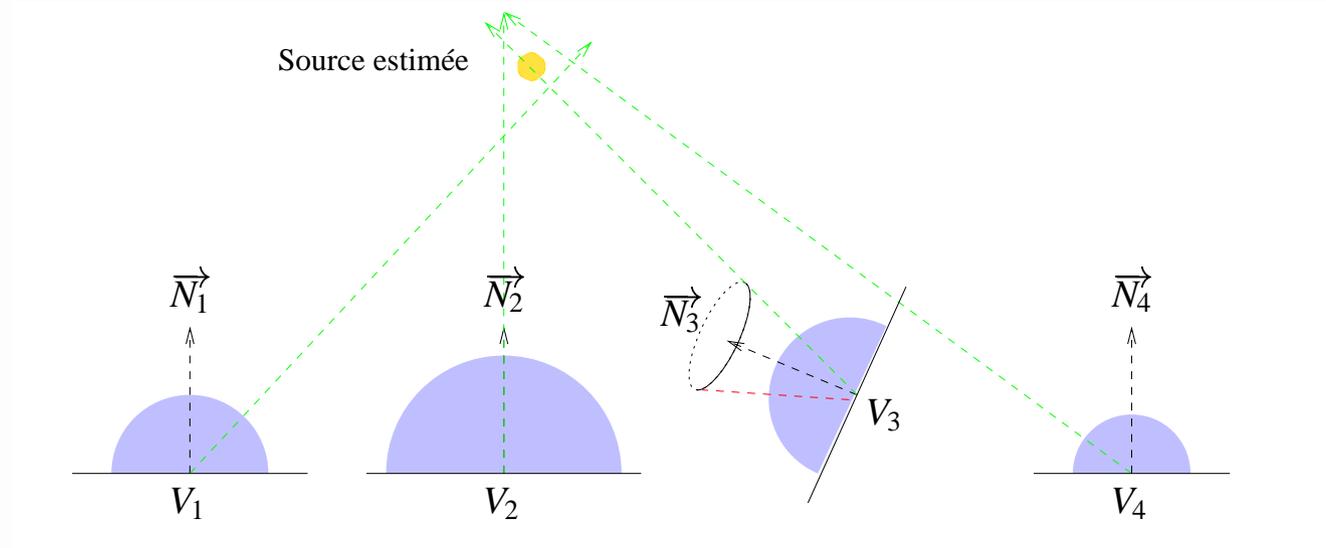
Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

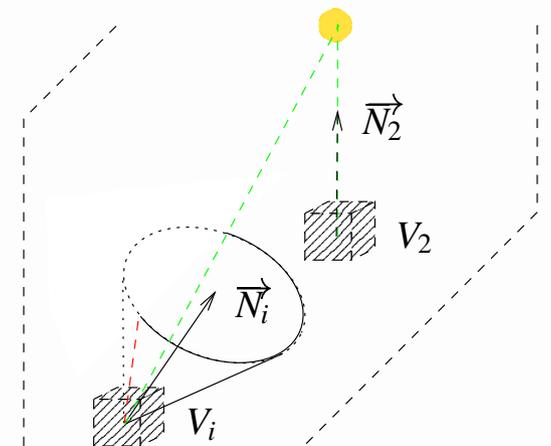
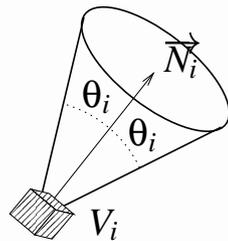
Conclusion



● Luminance $L(V_i) = L_s K_d \cos(\theta_i)$

● $L_s K_d = L(V_2)$

● $\theta_i = \cos^{-1}(L(V_i)/L(V_2))$



Surface diffuse

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Intersection des m directions d'incidence
 - 2 plans orthogonaux / direction : $ax + by + cz + d = 0$
 - système matriciel $\mathcal{M}\mathcal{X} = \mathcal{D}$:

$$\begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{2m} & b_{2m} & c_{2m} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -d_1 \\ -d_2 \\ \vdots \\ -d_{2m} \end{pmatrix}$$

- solution $\mathcal{X} = \mathcal{M}_{pi}^{-1}\mathcal{D}$
- Erreur $E_d = \sum_{i=1}^{2m} (\mathcal{M}_i\mathcal{X} - \mathcal{D}_i)^2$

Surface diffuse

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

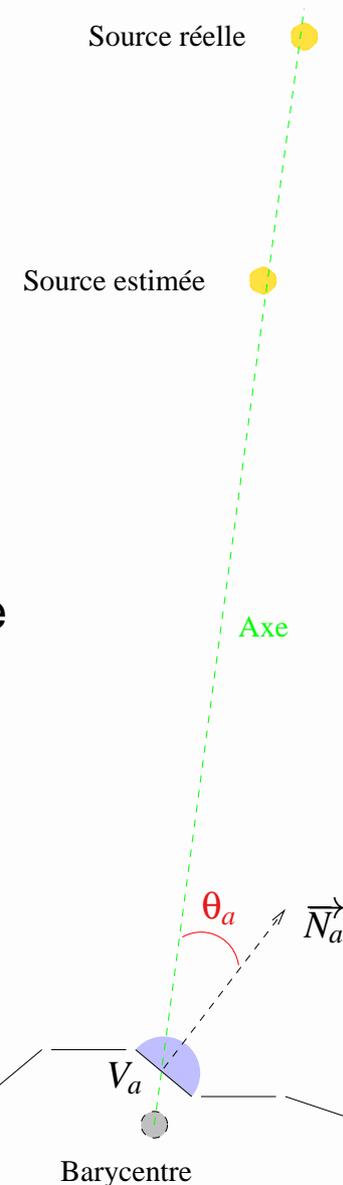
Résultats

Conclusion

- Source éloignée
 - erreur importante
 - bonne direction
 - précision de $L_s K_d$?

- Barycentre

- V_a sur axe barycentre/source estimée
- $L_s K_d = L(V_a) / \cos(\theta_a)$
- algorithme itératif
- diminution de E_d



Détection d'une source ponctuelle

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

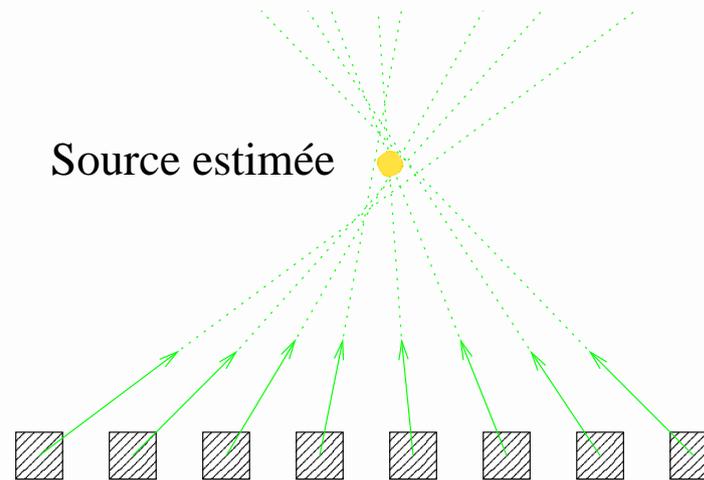
Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Pour chaque sous-classe
 - direction d'incidence de chaque voxel
 - point d'intersection



- 2 analyses
 - sur surface diffuse
 - sur surface mixte

Surface mixte (diffuse et spéculaire)

Introduction

Prétraitements

Classification

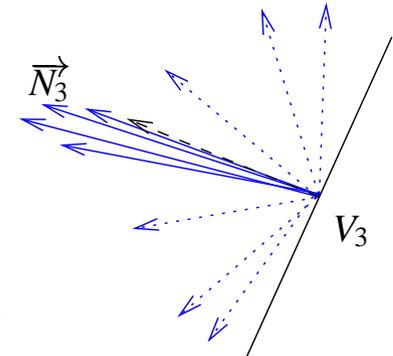
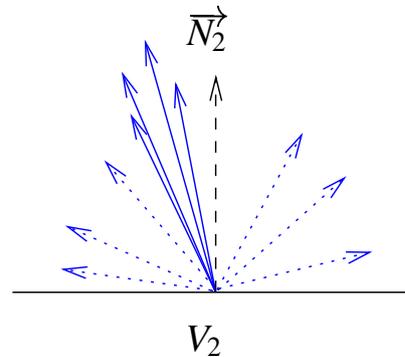
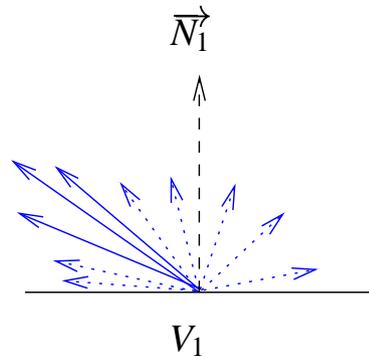
Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion



● Lobe spéculaire

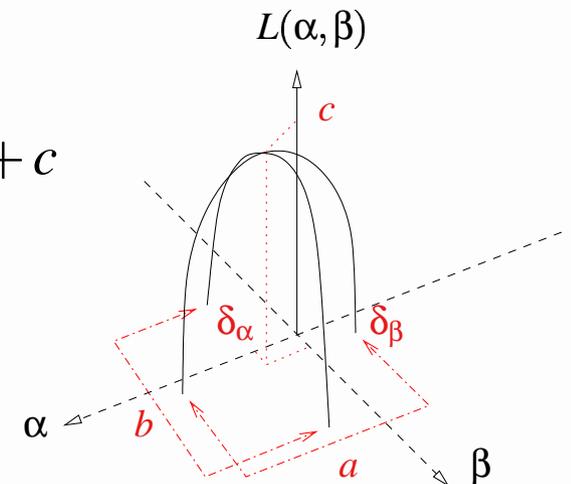
- surface parabolique

$$L(\alpha, \beta) = a(\alpha - \delta_\alpha)^2 + b(\beta - \delta_\beta)^2 + c$$

- direction miroir ($\delta_\alpha, \delta_\beta$)

- méthode de descente de gradient

● Intersection : pseudo-inverse



Surface mixte (diffuse et spéculaire)

Introduction

Prétraitements

Classification

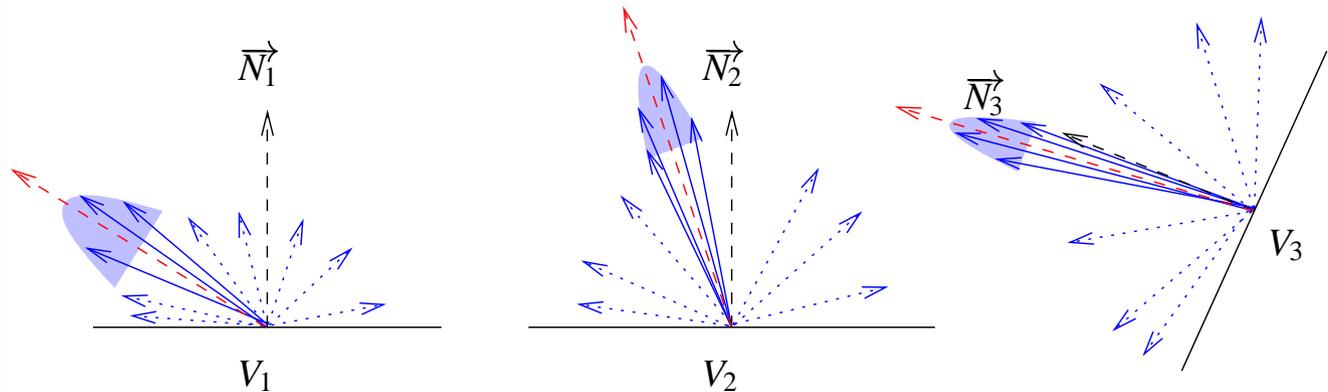
Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion



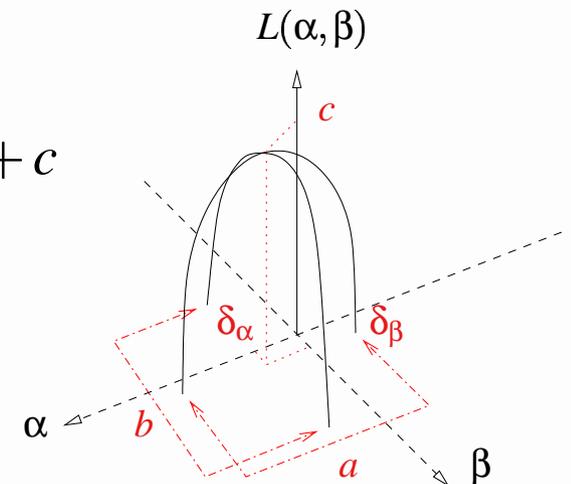
● Lobe spéculaire

- surface parabolique

$$L(\alpha, \beta) = a(\alpha - \delta_\alpha)^2 + b(\beta - \delta_\beta)^2 + c$$

- direction miroir ($\delta_\alpha, \delta_\beta$)
- méthode de descente de gradient

● Intersection : pseudo-inverse



Surface mixte (diffuse et spéculaire)

Introduction

Prétraitements

Classification

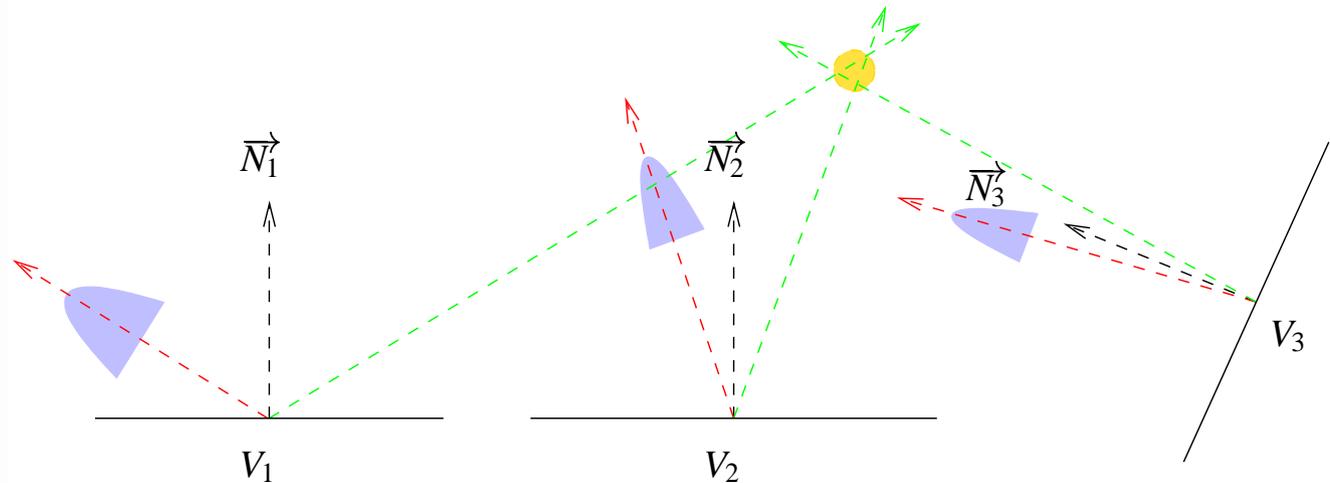
Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion



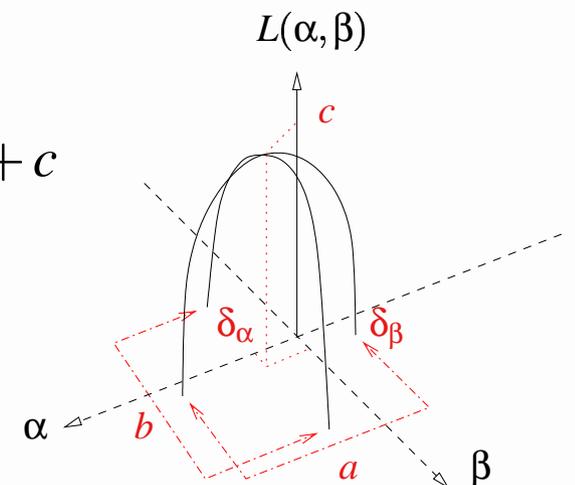
● Lobe spéculaire

- surface parabolique

$$L(\alpha, \beta) = a(\alpha - \delta_\alpha)^2 + b(\beta - \delta_\beta)^2 + c$$

- direction miroir ($\delta_\alpha, \delta_\beta$)
- méthode de descente de gradient

● Intersection : pseudo-inverse



Principe de l'algorithme

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Préparation des données
 - classification des voxels
 - estimation du type de surface

- Détection d'une source lumineuse
 - source ponctuelle
 - source directionnelle
 - choix du type de source détecté

- Estimation conjointe
 - sources lumineuses
 - propriétés photométriques de la surface

Détection d'une source directionnelle

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

● Pour une surface diffuse

- $L_V = L_s K_d \cos(\theta_V) = L_s K_d (\vec{I} \cdot \vec{N}_V)$

- système matriciel $\mathcal{M}\mathcal{X} = \mathcal{D}$:

$$\begin{pmatrix} N_{V_1,x} & N_{V_1,y} & N_{V_1,z} \\ N_{V_2,x} & N_{V_2,y} & N_{V_2,z} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ N_{V_n,x} & N_{V_n,y} & N_{V_n,z} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_s K_d I_x \\ L_s K_d I_y \\ L_s K_d I_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_{V_1} \\ L_{V_2} \\ \vdots \\ L_{V_n} \end{pmatrix}$$

- pseudo-inverse

● Pour une surface mixte (diffuse et spéculaire)

- lobe spéculaire

- direction miroir

- moyenne des directions d'incidence

Principe de l'algorithme

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Préparation des données
 - classification des voxels
 - estimation du type de surface

- Détection d'une source lumineuse
 - source ponctuelle
 - source directionnelle
 - choix du type de source détecté

- Estimation conjointe
 - sources lumineuses
 - propriétés photométriques de la surface

Identification conjointe

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Pour chaque sous-classe de voxels

- détection d'une source ponctuelle
- détection d'une source directionnelle

- Source réellement détectée

- erreur

$$E_a = \sum_{i=1}^{NbV} \sum_{j=1}^{NbL} [(L_s K_d \cos \theta(V_i) + L_s K_s \cos^n \phi_j(V_i)) - L_j(V_i)]^2$$

- algorithme d'identification des paramètres $L_s K_d$, $L_s K_s$ et n
- source d'erreur minimale

Identification conjointe

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Une source détectée par sous-classe
- Suppression de certaines sources
- Regroupement des sources identiques
- Moyenne des coefficients de réflexion sur chaque surface
- Rapport entre les puissances de sources

Résultats

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Echantillons aléatoires (surface d'1m de diamètre)
 - surface diffuse
 - source ponctuelle jusqu'à 9m (au cm près)
 - source directionnelle (au degré près)
 - surface mixte
 - source ponctuelle jusqu'à 6m (imprécis après 4m : E_d)
 - source directionnelle (au degré près)
 - identification des coefficients $L_s K_d$, $L_s K_s$ et n (à 1 % près)
- Lumigraphes
 - détection de plusieurs sources directionnelles (à 15° près)
 - moins précis avec des photographies (pb de calibrage)

Conclusion

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

● Travaux réalisés

- détection de sources ponctuelles et directionnelles
- utilisation du modèle de Phong
- estimation des propriétés photométriques de la surface

● Détection de sources lumineuses

- dépend de la reconstruction géométrique
- précise pour les sources directionnelles
- précise sur les surfaces diffuses

Perspectives

Introduction

Prétraitements

Classification

Src ponctuelle

Src directionnelle

Identification

Résultats

Conclusion

- Exploitation des halos spéculaires
 - amélioration de la recherche de sources
 - spécularité de la surface
- A plus long terme
 - estimation d'une brdf
 - modification de l'éclairage
 - insertion dans des scènes

Estimation conjointe de sources lumineuses et de propriétés photométriques à partir d'images

Bruno Mercier, Daniel Meneveaux

{mercier, daniel}@sic.univ-poitiers.fr

Laboratoire SIC, Poitiers