

## Rendu à base d'images

Gilles Debunne  
Master Recherche IVR  
2005



## Limitations du rendu polygonal

- Difficulté à recréer le réel (cf cours Représ. Alternatives)
    - Qualité du modèle 3D (fastidieux, réalisme, mémoire)
    - Qualité visuelle limitée par le type d'affichage
  - Complexité fonction de la position
    - Vitesse de rendu variable (mauvaise interactivité)
  - Complexité fonction de la scène
    - Arbre, ville, transparence, reflets, ...
- On n'est jamais aussi réaliste que le réel

Rendu à base d'images © Gilles Debunne 2005

2

## Utiliser des images

- Qualité visuelle parfaite
  - Photographies
  - Image de synthèse de qualité (précalcul)
- Affichage indépendant de la complexité géométrique mais
- Informations partielles sur le monde
- Qu'affiche t-on lorsqu'on change le point de vue ?
- Besoin d'informations géométriques supplémentaires
  - Algorithmes pour « boucher les trous »

Rendu à base d'images © Gilles Debunne 2005

3

## Informations géométriques

- Fournies par l'utilisateur ou reconstruites
- Informations sur les caméras
  - L'appareil n'a pas bougé, seulement tourné
  - Grille de calibration, déplacement commandé...
  - Correspondances entre deux vues
- Informations sur la scène
  - Profondeur à chaque pixel (laser ou img de synthèse)
  - Modèle géométrique simplifié ou complexe

Rendu à base d'images © Gilles Debunne 2005

4

## Difficultés

- Combien d'images, de quels points de vue ?
- Comment interpoler entre les images ?
- Quelles parties de quelles images utiliser ?
- Reconstruction d'informations de géométrie
  
- Qualité visuelle
- Taille mémoire
- Rapidité d'affichage

Rendu à base d'images © Gilles Debunne 2005

5

## Différentes méthodes

- Création de panoramas cylindriques [MB95]
  - Matrice de passage d'une image à la suivante
  - Minimisation de l'erreur de recouvrement
- Quicktime VR
- Plenoptic modeling
- Lightfield, Lumigraph
- Layer Depth Images (LDI)
- Modèle hybride

Rendu à base d'images © Gilles Debunne 2005

6

## Acquisition des images

- Images cylindriques
  - Sphère ou cube plus difficile à fabriquer
- Caméra en rotation sur un axe
  - Centre optique identique pour toutes les photos
- Recoller une série circulaire de photos
  - Panorama à 360°
- Retrouver les paramètres de la caméra
  - Rotations et paramètres intrinsèques



## Passage d'une image à l'autre

- Pour chaque couple d'images (même point de vue)
- Matrice de passage 2D homogène :  $\mathbf{H}$ 

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{H} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$
  - $(x, y)$  : pixel dans l'image I
  - $(x', y') = (u/w, v/w)$  : pixel correspondant dans l'image i+1
$$\mathbf{u} = \mathbf{H} \mathbf{x} = \mathbf{S}^{-1} \mathbf{R} \mathbf{S} \mathbf{x}$$
- $\mathbf{S}$  : Paramètres liés à la caméra (constants)
- $\mathbf{R}$  : Rotation de la caméra (axe z, angle  $\theta$ )
  - Doit être évalué pour chaque couple d'images

## Calibration de la caméra

- $\mathbf{S} = \Omega_x \Omega_z \mathbf{P}$ 

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 1 & \sigma & -C_x \\ 0 & \rho & -C_y \\ 0 & 0 & f \end{pmatrix}$$
- $\sigma$  : distorsion par rapport à une grille régulière
- $\rho$  : aspect ratio de la grille
- $f$  : focale (en pixels)
- $(C_x, C_y)$  : intersection de l'axe de la caméra et du plan de l'image. Théoriquement  $(L/2, H/2)$
- $\Omega_x$  et  $\Omega_z$  : imperfections variées de la caméra

## Optimisation des paramètres

- Optimisation de la corrélation du recouvrement
  - erreur  $(C_x, C_y, \sigma, \rho, \omega_x, \omega_z) = -\sum \text{correlation}(I_i, \mathbf{S}^{-1} \mathbf{R} \mathbf{S} I_i)$
- Avec les données de départ :
  - $C_x = \text{largeur}/2$   $C_y = \text{hauteur}/2$
  - $\sigma = 0$   $\rho = 1$   $\omega_x = 0$   $\omega_z = 0$
- On réinjecte  $(C_x, C_y)$  dans l'étape précédente
  - Itérations possibles

## Création des vues cylindriques



## Différentes méthodes

- Création de panoramas cylindriques
- Quicktime VR [Chen94]
  - Plusieurs images panorama
  - Images «réactives»
  - Reprojection plane
- Plenoptic modeling
- Lightfield, Lumigraph
- Layer Depth Images (LDI)
- Modèle hybride

## Quicktime VR

- Photos panoramiques
  - Reconstruction semi-automatique
  - Adaptation luminosité-contraste
- Warping
  - Conversion en image plane
- Passage d'un panorama au suivant
  - Parties de l'image clickables, sons, multimédia



Render & base d'images © Gilles Debourne 2005

13

## Warping



Render & base d'images © Gilles Debourne 2005

14

## Résultats



Render & base d'images © Gilles Debourne 2005

15

## Différentes méthodes

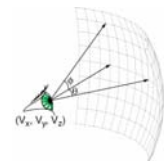
- Création de panoramas cylindriques
- Quicktime VR
- Plenoptic modeling [MB95]
  - Création d'images panoramiques
  - Mise en correspondance des cylindres
- Lightfield, Lumigraph
- Layer Depth Images (LDI)
- Modèle hybride

Render & base d'images © Gilles Debourne 2005

16

## Principe

- Fonction plénoptique
    - Description complète de l'image
    - Échantillonnée puis interpolée
    - Généralement 5D (pos, dir)
- $$P(\theta, \phi, \lambda, r, V_{xr}, V_{yr}, V_{zr}, t)$$
- Description du processus
    - Acquisition (panoramas cylindriques)
    - Mise en correspondance des cylindres
    - Reconstruction de la fonction

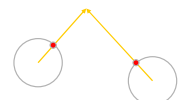


Render & base d'images © Gilles Debourne 2005

17

## Correspondance entre les cylindres

- Position relative de chaque cylindre
  - Centre du cylindre, rotation relative  $\phi_A$
  - ouverture verticale, position de l'équateur
  - 6 inconnues par cylindre
- Désignation de points 3D dans les deux cylindres
  - Un point sur un cylindre = un rayon dans l'espace
  - Contrainte sur les inconnues
  - Entre 12 et 500 points
  - à désigner à la main !

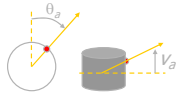


Render & base d'images © Gilles Debourne 2005

18

## Géométrie épipolaire du cylindre

- Rayon sur le cylindre A :  $(\theta_a, v_a)$

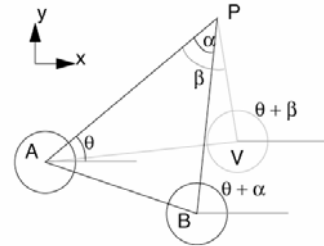


- Ligne paramétrée sur le cylindre B :  $v(\theta)$



- Réduit les points candidats  $O(n^2) \rightarrow O(n)$
- Optimisation automatique par la suite

## Reconstruction de la fonction plénoptique



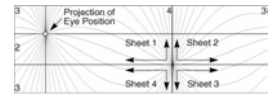
Panorama en V à partir de ceux (connus) en A et B

## Images de disparité

- Image de disparité  $\alpha_{A \rightarrow B}(\theta, v)$   
Pour chaque  $\theta$  sur le cylindre A, trouver  $\alpha$   
Une image de disparité par paire de cylindres  
Permet de retrouver la couleur sur B
- Nouveau point de vue V  
Disparité  $\beta$  en fonction de  $\cot(\alpha)$  et  $\cos(\phi_A - \theta)$   
On stocke  $\cot(\alpha)$  dans les images de disparité  
On précalcule  $\cos(\phi_A - \theta)$  pour chaque valeur de  $\theta$   
Nouvelle image de disparité en temps réel

## Mélange des images

- Reprojection du cylindre sur un plan
- Reprojection des pixels de chaque panorama
- Apparition de replis  
Parcours ordonné  
→ Back to front
- Déchirures et distorsions dans l'image  
*Splating*  
Taille selon la disparité et les dérivées épipolaires
- Projections multiples  
Image source fonction de la taille de splatting



## Résultats



## Différentes méthodes

- Création de panoramas cylindriques
- Quicktime VR
- Plenoptic modeling
- Lightfield [LH96], Lumigraph [GGSC96]  
Echantillonnage 4D par une série d'image  
Interpolation entre les images
- Layer Depth Images (LDI)
- Modèle hybride

## Lightfield/Lumigraph

- Réduction 4D de la fonction plénoptique 5D  
Sans occlusion, couleur identique sur une droite  
Permet alors de tourner autour d'un objet
- Image est une tranche 2D d'une fonction 4D
- Facile à interpoler, échantillonnage uniforme



## Représentation du LightField

- Paramétrisation grâce au *Light slab*  
Ensemble des rayons traversant deux quadrilatères  
Intersection en  $(u,v)$  et  $(s,t)$  →  $L(u,v,s,t)$   
Une couleur par échantillon  $(u,v,s,t)$
- Plusieurs jeux de plans pour avoir toutes les directions

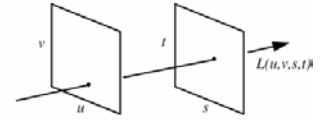
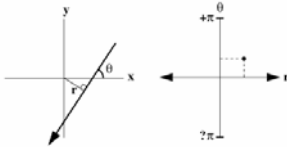


Figure 1: The light slab representation.

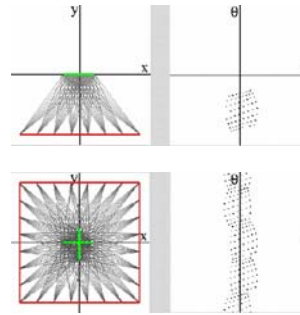
## Espace des droites

- Droite définie par  $(r, \theta)$   
Extension en 3D aisée



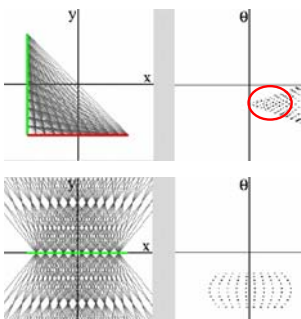
- Idéalement  
Complet en  $\theta$   
Le plus large possible en  $r$

## Exemples d'échantillonnage



Bien adapté pour un petit objet placé au centre

## Échantillonnage régulier



Le plus uniforme possible en  $(r, \theta)$

Un des plans à l'infini

Dupliquer 4 fois cette figure → bien régulier

## Création du Lightfield

- Photos : caméra contrôlée par ordinateur  
Mouvement plan  
4 vues : tourner l'objet  
Tourner la lumière en même temps  
Focus, centrage...
- Images de synthèse  
Perspectives tordues

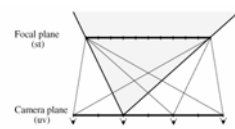
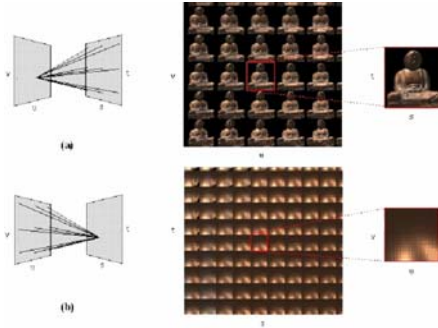


Figure 5: The viewing geometry used to create a light slab from an array of perspective images.

## Représentation



Renzo & base d'images © Gilles Debunne 2005

31

## Stockage des données

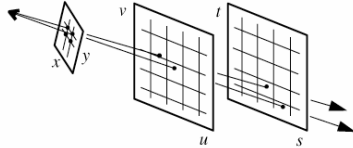
- Très gros (1.6 Go)
- Très redondant
- Compression
  - Discretisation vectorielle (1:24)
  - Suivie de compression d'entropie LZW (1:5)
- Décompression
  - LZW au chargement
  - Dé-discretisation au vol

Renzo & base d'images © Gilles Debunne 2005

32

## Affichage

- Rayon partant de  $(x,y)$  coupe le light slab
- Calculer les coordonnées  $(u,v,s,t)$ 
  - Rayon intersecte les 2 quadrilatères
  - Coordonnées des points d'intersection
  - Faisable avec la *texture matrix*



Renzo & base d'images © Gilles Debunne 2005

33

## Interpolation

- Échantillonner la radiance en  $(u,v,s,t)$ 
  - Interpolation des valeurs aux voisins

Plus proche      Bilinéaire      Quadrilinéaire



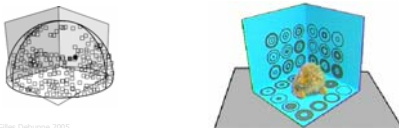
- Plusieurs light slabs utilisés en même temps

Renzo & base d'images © Gilles Debunne 2005

34

## Lumigraph

- Même paramétrisation 4D
- Même principe à l'affichage
- Échantillonnage irrégulier
  - Photos de l'objet sur une mire
  - Boucher les trous dans l'échantillonnage
  - Algorithme hiérarchique de reconstruction



Renzo & base d'images © Gilles Debunne 2005

35

## Echantillonnage plus complexe

- Source vidéo
- Critères pour le choix de l'image
  - Epipole, déviation angulaire, continuité, résolution



[BBMGC01]

Renzo & base d'images © Gilles Debunne 2005

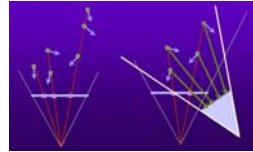
36

## Différentes méthodes

- Création de panoramas cylindriques
- Quicktime VR
- Plenoptic modeling
- Lightfield, Lumigraph
- Layer Depth Images (LDI) [GH97]
  - Image avec une information en profondeur
- Modèle hybride

## Layered Depth Images

- Une image... et quelques informations
- Pour chaque pixel
  - On stocke l'objet visible
  - Et les objets qui sont derrière (profondeur, couleur)
- Image de synthèse ou caméra stéréo



## Affichage d'une LDI

- Trous comblés par ce qui est derrière
- Projection pixel par pixel, back to front
  - Incrémentalement à partir du pixel précédent
- Splatting adaptatif
  - Taille idéale du noyau en fonction de la normale



## Différentes méthodes

- Création de panoramas cylindriques
- Quicktime VR
- Plenoptic modeling
- Lightfield, Lumigraph
- Layer Depth Images (LDI)
- Modèle hybride [DTM97]
  - Mélange de 3D et d'images
  - Reconstruction 3D à partir des images

## Modèle hybride

- Partir de vues simples (caméra standard)
- Modèle 3D simple donné par l'utilisateur
- Correspondance avec les images
  - Paramètres du modèle, positions des caméras



## Modèle géométrique simple

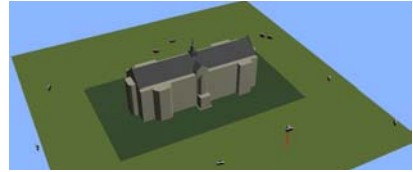
- Construction par blocs
  - Parallélépipèdes, prismes...
- Relations entre les blocs
  - Contraintes de placement (à côté, sur, aligné...)
  - Contraintes de symétries
- Bien adapté aux scènes architecturales
- Facile d'utilisation, peu de paramètres



## Reconstruction

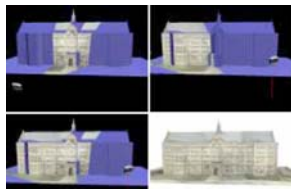
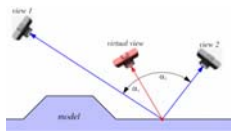
- Déterminer les paramètres du modèle 3D et les positions des caméras
- Minimisation des distances entre les arêtes du modèle reprojctées et les arêtes identifiées
- Minimisation globale (modèle 3D + caméras)  
Newton-Raphson  
Partir d'une bonne estimation, éviter les minima  
Contraintes sur les caméras (horizontale/verticale)

## Exemple

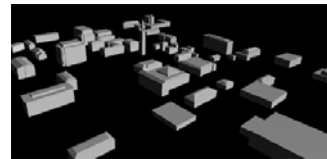


## View-Dependent Texture Mapping

- Caméras = projecteurs de diapositives
- On combine les différentes images  
Plusieurs images sur le même point du modèle  
Moyenne pondérée par  $1/\alpha$



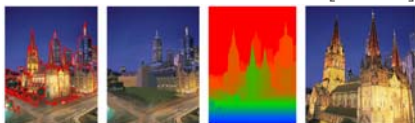
## Résultat : le campanile



## 3D à partir d'une seule image

- Détourage des parties de l'image
- Fabrication de la carte de profondeur
- Remplissage des parties cachées
- Copie de textures respectant la 3D
- Photoshop 3D

[OCDD01]



## Bibliographie

Les diapos de ce cours sont largement dues à Nicolas Holzschuch

[Chen 94] QuickTime VR – An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation S. Chen

[MB95] Plenoptic Modeling : An Image-Based Rendering System Leonard McMillan, Gary Bishop, Siggraph 1995

[LH96] Light Field Rendering Marc Levoy and Pat Hanrahan, Siggraph 1996

[GGSC96] The Lumigraph S. Gortler, R. Grzeszczuk, R. Szeliski, M. Cohen, Siggraph 1996



## Bibliographie

[DTM96] Modeling and Rendering Architecture from Photographs  
Paul Debevec, Camillo Taylor, Jitendra Malik, Siggraph 1996

[SGHS97] Layered Depth Images  
Jonathan Shade, Steven Gortler, Li-wei Hey, Richard Szeliskiz, Sig'97

[OBA99] Relief Texture Mapping  
Manuel M. Oliveira, Gary Bishop, David McAllister, Siggraph 1999

[BBMGC01] Unstructured Lumigraph Rendering  
C. Buehler, M. Bosse, L. McMillan, S. Gortler, M. Cohen, Siggraph 2001

[OCDD01] Image-Based Modeling and Photo Editing  
B. Oh, M. Chen, J. Dorsey, F. Durand, Siggraph 2001

## Différentes méthodes

- Quicktime VR
- Plenoptic modeling
- Lightfield, Lumigraph
- Layer Depth Images (LDI)
- Modele hybride
- Modele a base de stereo
- Textures en relief [OBA99]

## Relief Textures



## Relief Textures

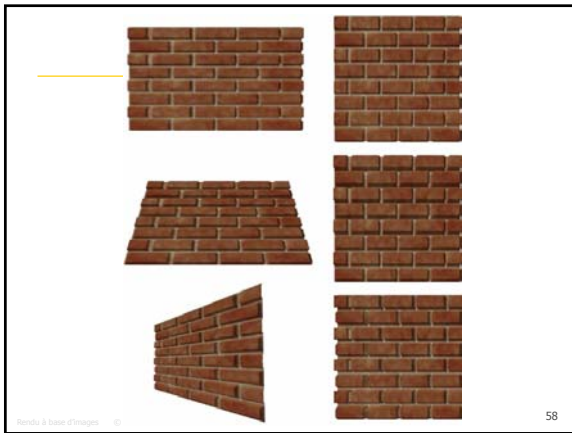
- Texture avec profondeur
- Pré-traitement avant affichage
- Trouver le pré-traitement  $p$  tel que  $m \circ p = w$
- $m$  texture-mapping standard

## Pré-traitement

- $(u_s, v_s)$  pixel source de la texture
- $\text{displ}(u_s, v_s)$  profondeur du pixel
- $(u_t, v_t)$  coordonnées du même pixel dans la texture intermédiaire

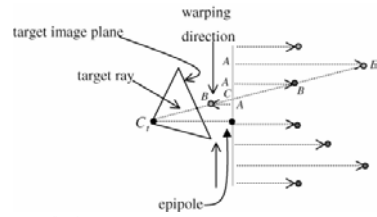
## Pré-traitement

- $k_1, k_2, k_3$  dépendent des caméras utilisées
- Coordonnées séparées
- Pas de travail si  $\text{displ}(u_s, v_s) = 0$
- Déplacement stocké dans alpha channel
- Simplification des paramètres :
  - Texture intermédiaire avec même origine et axes que texture originale
  - Paramètres plus faciles à calculer



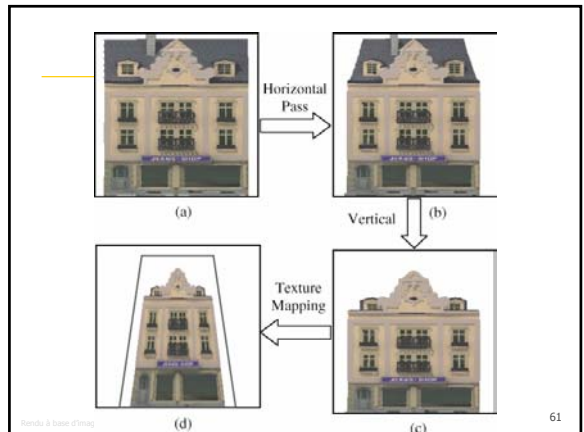
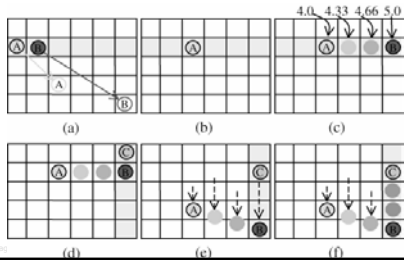
## Visibilité : de l'arrière vers l'avant

- Comme d'habitude :  
On part des bords, et on va vers l'épipoles



## Construction de textures pré-traitées

- Algorithme en deux passes :  
Horizontale et verticale



## Exemple

Relief-textures pour des objets

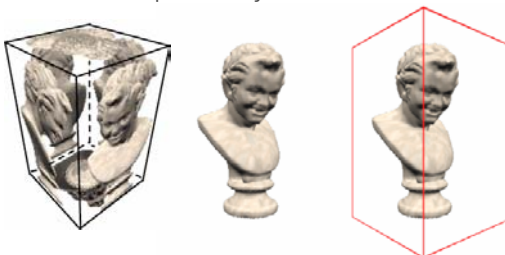


Figure 16. View of the statue (left) obtained by texture mapping two quads, whose boundaries are shown to the right.

## Exemple



Figure 17. Pre-warped textures used to produce Figure 16.