

Codage d'Images par Ondelettes Géométriques

Séminaire SCEE

Benjamin Le Guen^{1,2}

Stéphane Pateux¹

Jacques Weiss²

Jacques Palicot²

¹France Télécom R&D/TECH/IRIS/CVA

²Supélec-SCEE/IETR-AC

lundi 11 décembre 2006



recherche & développement



Sommaire

- Introduction
- Art Antérieur : les Bandelettes
- La Transformée par Ondelettes Déformées
 - Principe
 - L'Extraction Géométrique
 - Propriétés et limites du schéma d'encodage
 - Résultats
- Conclusions
- Perspectives

Introduction

Représentations éparées

- Représentation éparse dans une base orthonormale $B = \{g_m\}_{m \in N}$

$$f = \sum_{m \in N} \langle f, g_m \rangle g_m$$

- Approximation avec M vecteurs choisis de façon adaptative

$$f_M = \sum_{m \in I_M} \langle f, g_m \rangle g_m \Rightarrow \|f - f_M\|^2 = \sum_{m \in I_M} |\langle f, g_m \rangle|^2 \quad \text{! Norme } L_2$$

- M plus grands produits scalaires

$$\{|\langle f, g_m \rangle| > T_M\}: \text{seuillage}$$

- Choisir la base B telle que

$$\|f - f_M\|^2 < CM^{-\alpha} \text{ avec } \alpha \text{ grand ?}$$

- Besoin en représentations éparées : Compression, Restoration, Pattern Recognition

Introduction

Limites des Ondelettes Séparables Classiques

- Cas 1D : Optimalité au sens L_2

- Cas 2D

- Noyau Isotrope

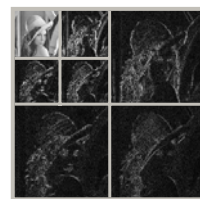
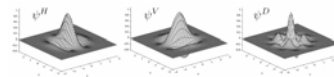
- Beaucoup de vecteurs pour représenter un contour courbe
- Phénomène de Gibbs crée effet de "ringing"

- Incorporer aspect géométrique

- Communauté vision par ordinateur
 - Comprendre le contenu d'un image
- Contours : trajectoires régulières à exploiter
- "Adapter" le noyau:
 - Directionnalité
 - Anisotropie



Adaptation du noyau d'analyse à un contour



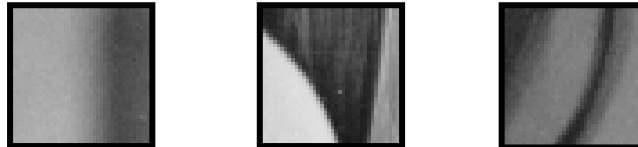
Oscillations de Gibbs et effet rebonds

Introduction

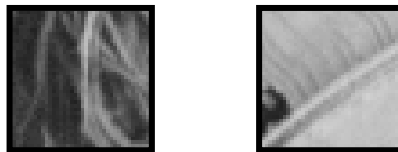
Comment représenter la Géométrie?



■ Qu'est-ce qu'un contour?



■ Géométrie multi-échelle



Séminaire SCEE, 11 décembre 2006 – Diapo 5

recherche & développement

Groupe France Télécom

Sommaire

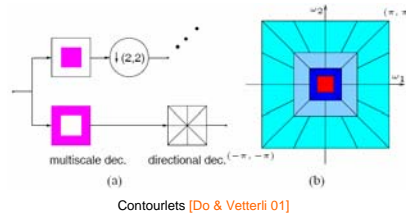
- Introduction : Représentation éparses et géométrie
- **Art Antérieur : les Bandelettes**
- La Transformée par Ondelettes Déformées
 - Principe
 - L'Extraction Géométrique
 - Propriétés et limites du schéma d'encodage
 - Résultats
- Conclusion

Séminaire SCEE, 11 décembre 2006 – Diapo 6

recherche & développement

Groupe France Télécom

Art Antérieur



■ Méthodes Non-Adaptatives

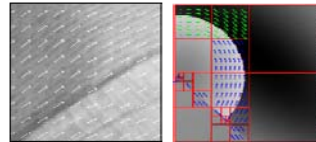
- Bancs de filtres fixes
- Ridgelets [Candès et Donoho 99], Curvelets [Candès et Donoho 99], Contourlets [Do et Vetterli 01]...
- Critiques
 - Redondance
 - Contours localement C_2 uniquement (Curvelets, Contourlets)
 - Théorie vs Pratique

■ Méthodes Adaptatives

- Définition d'un modèle géométrique explicite
- Déformation du noyau selon la géométrie extraite

Art Antérieur

Les Bandelettes



■ Approche par bloc

- Modèle Géométrique Local : flot paramétrique $\vec{\Gamma}(x, y)$
 - Parallèle Horizontalement ou verticalement

$$\vec{\Gamma}(x, y) = \vec{\Gamma}(x) = (1, c'(x))$$

- Minimisation d'une énergie de flot

$$\varepsilon(\vec{\Gamma}) = \int_{\Omega} \left| \frac{\partial(f * \theta)(x, y)}{\partial \vec{\Gamma}(x, y)} \right|^2 dx dy$$

- c' somme de splines $c'(t) = \sum_n \alpha_n b(2^{-l}t - n)$

- Modèle Géométrique Global : Quad-tree
 - Compromis débit/distorsion

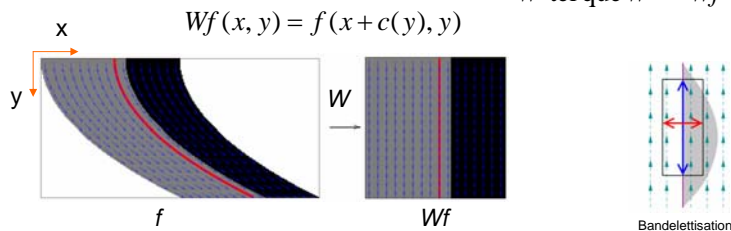
Art Antérieur

Les Bandelettes

- Sur un bloc

- c' définit une courbe régulière $c(x) = \int_{x_{\min}}^x c'(u) du$
- Définition d'un opérateur de Warping W

W tel que $W^{-1} \circ Wf = f$



- Décomposer f dans une base de bandelettes est équivalent à décomposer Wf dans une base d'ondelettes
- Procédé de bandelettisation : Poursuivre la décomposition dans la sous-bande haute fréquence LH ou HL

Art Antérieur

"Limites" des Bandelettes

- Extraction Géométrique

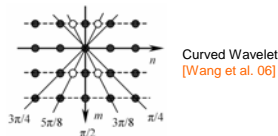
- Critère local : Gradient
- Filtre de lissage

- Géométrie discontinue

- Perte d'orthogonalité à la frontière des blocs

- Scalabilité?

- Fast implementation
 - Optimisation pour un débit cible
- Décodage avec perte de la Géométrie?
 - Produirait des discontinuités aux frontières des blocs à la reconstruction



- Dans la lignée des Bandelettes

- Ondelettes Directionnelles [Ding et al. 04], Ondelettes sur Grille Quinconce [Chappelier et al. 04], Curved Wavelets [Wang et al. 06], ...
- Contours Rectilignes
- Recherche exhaustive dans l'ensemble des directions possibles

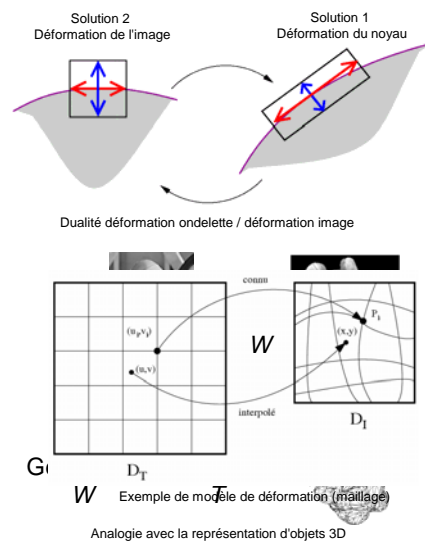
Sommaire

- Introduction : Représentation éparse et géométrie
- Art Antérieur : les Bandelettes
- La Transformée par Ondelettes Déformées (TOD)
 - Principe
 - L'Extraction Géométrique
 - Propriétés et limites du schéma d'encodage
 - Résultats
- Conclusion

La TOD

Le Principe

- Approche duale du problème
 - Déformer l'image pour l'adapter à une représentation en ondelettes séparables classiques
 - Alignement H/V
 - Etirement/Contraction
 - Notations
 - Image déformée = Texture T
 - Opérateur de déformation W défini à l'aide de paramètres θ
 - $T = I(W)$
- Algorithme d'analyse
 - Calcul des paramètres θ
 - Calcul de la texture T
 - Analogie avec la représentation d'objets 3D
- Comment trouver la déformation W ?
 - Modèle énergétique



La TOD

L'extraction Géométrique

- But : Trouver la déformation W qui minimise le coût de description de la texture T dans une base choisie

$$E_H = \sum_k \omega_k^2 \cdot E(HF_k(T))$$

- Hypothèse distribution gaussienne: $\omega_k^2 = 1/\sigma_k^2$

- Reformulation

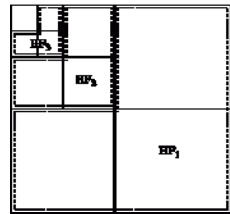
- Notations $T_l \quad E(T - T_l) = \sum_{k=1}^l E(HF_k)$

- Réécriture du coût

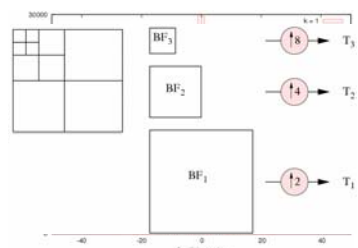
$$E_H = \sum_l v_l^2 \cdot E(T - T_l)$$

$$E_H = \sum_l v_l^2 \cdot \sum_{(u,v)} (T(u,v) - T_l(u,v))^2$$

$$E_H = \sum_l v_l^2 \cdot \sum_{(u,v)} (I(W(u,v)) - T_l(u,v))^2$$



Notations - sous-bandes HF



Signification des T_l
Répartition des coefficients dans HF_1 (Lena)

La TOD

L'extraction Géométrique

- Résolution

- Problème sous-déterminé

- W inconnu
- T_l donc T_l inconnues

$$E_H = \sum_l v_l^2 \cdot \sum_{(u,v)} (I(W(u,v)) - T_l(u,v))^2$$

- Optimisation conjointe du couple (T, W)

- Algorithme itératif. A chaque étape:

- Mise à jour de $W^{(n+1)}$ en fixant T : Estimation de mouvement entre une texture de référence courante et l'image originale

$$\arg \min_{(W,T)} (E_H^{(n+1)}) = \arg \min_{(W,T)} (\tilde{E}_H^{(n+1)})$$

$$\tilde{E}_H^{(n+1)} = \sum_{(u,v)} (I(W^{(n+1)}(u,v)) - T_{ref}^{(n)}(u,v))^2$$

$$T_{ref}^{(n)}(u,v) = \frac{\sum_l v_l^2 \cdot T_l^{(n)}(u,v)}{\sum_l v_l^2}$$

- Mise à jour de $T^{(n+1)} \quad T^{(n+1)}(u,v) = I(W^{(n+1)}(u,v))$

La TOD

Les Propriétés du codec

- **Modèle générique**
 - Applicable à différents modèles géométriques
 - Déformations réversibles (Travaux antérieurs)
 - Déformations non réversibles (Rotations, Contractions, ...)
- **Indépendance Texture / Géométrie**
 - Dans une application de codage
 - Texture scalable
 - Géométrie scalable (selon le modèle utilisé)
 - Nouvelle dimension pour le compromis D/R
- **Approche duale basée sur le ré-échantillonnage**
 - Si transformations non rigides permises
 - Pertes de résolutions
 - Flous d'interpolation
 - Aliasing

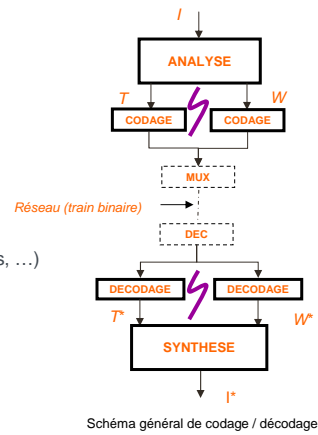
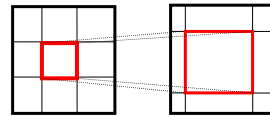


Schéma général de codage / décodage

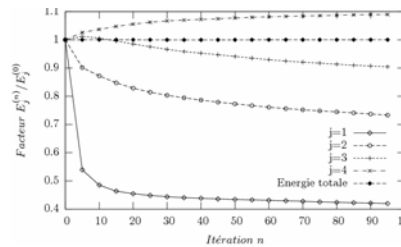


Perte de résolution lors de la projection dans D_T

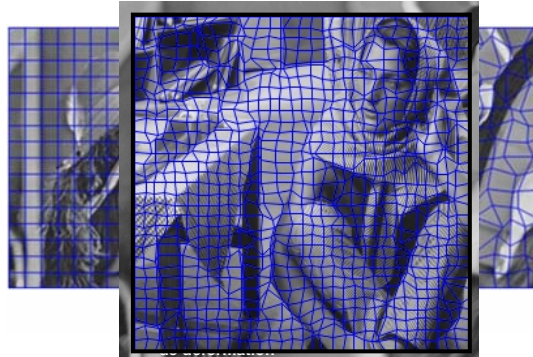
La TOD

Résultats d'Analyse

- **Modèle géométrique : maillage**
 - Taille de maille variable
 - Connectivité fixe et régulière
 - Déformation continue
- Déplacement de l'énergie vers les basses fréquences
- Densification des nœuds au niveau des contours
- Tendence à réaligner et lisser les contours dans D_T
- Déplacement des nœuds dans les régions texturées!



Evolution de l'énergie dans les sous-bandes

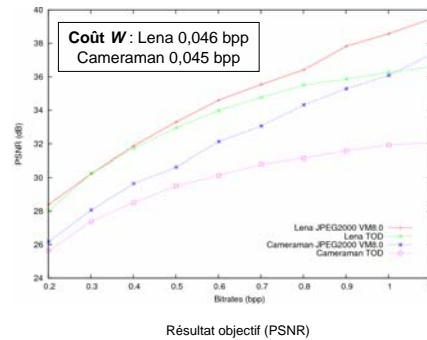


Géométrie sur Barbara

La TOD

Résultats de Compression (PSNR)

- Codage Texture : JPEG2000
- Codage Maillage : DPCM, plans de bits, codage arithmétique contextuel
- Décodage sans perte du maillage
- Résultats objectifs (PSNR)
 - Transformée par Ondelettes Déformées (TOD) en-dessous de JPEG2K à tous les débits
 - L'écart augmente du fait des pertes dues à l'aller-retour
 - Le PSNR est-il conforme aux impressions subjectives?



Résultat objectif (PSNR)

Séminaire SCEE, 11 décembre 2006 – Diapo 17

recherche & développement

Groupe France Télécom

La TOD

Résultats de Compression (visuels)

- Lena 0,3 bpp
 - Amélioration du rendu des contours par rapport à JPEG2000
 - Flou dans les régions texturées

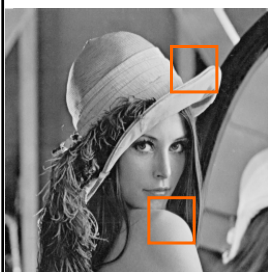
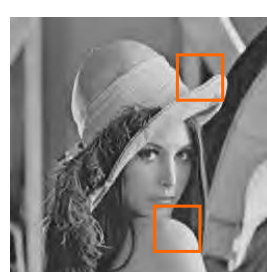
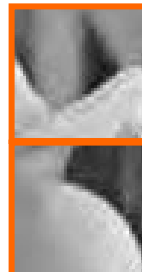


Image Originale



TOD (0,3 bpp)



Groupe France Télécom
JPEG2000 (0,3 bpp)

Séminaire SCEE, 11 décembre 2006 – Diapo 18

recherche & développement

La TOD

Résultats de Compression (visuels)



JPEG2000
0,4 bpp
29,6 dB



TOD
0,4 bpp
28,5 dB



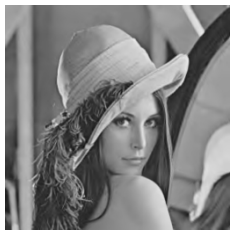
Séminaire SCEE, 11 décembre 2006 – Diapo 19

recherche & développement

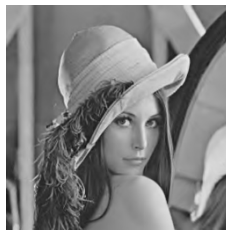
Groupe France Télécom

La TOD

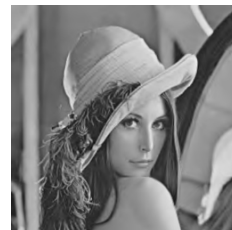
Résultats de Compression (Perte de Géométrie)



Pas de perte de structure
35,5 dB
Débit structure 0,046 bpp

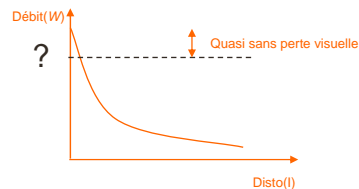


Un plan de bit en moins
31,7 dB
Débit structure 0,032 bpp



Deux plans de bit en moins
28,6 dB
Débit structure 0,021 bpp

$$W^* \approx W \Rightarrow I \approx I(W \circ (W^*)^{-1})$$



Quelle perte géométrique peut être tolérée?

Séminaire SCEE, 11 décembre 2006 – Diapo 20

recherche & développement

Groupe France Télécom

Conclusions

- Contributions (outils)
 - Modèle énergétique d'analyse fondé sur approche duale
 - Mesure globale
 - Pas d'*a priori* sur la géométrie
 - Schéma par analyse-synthèse
 - Indépendance texture / géométrie
 - Scalabilité de la géométrie : nouvelle dimension
- Résultats de compression
 - Atténuation significative de l'effet rebond au niveau des contours
 - Difficultés
 - Difficulté à dégager une structure sur toutes les images
 - Quel critère pour le choix des paramètres?
 - Autoriser déformations non rigides introduit des pertes irréversibles et visibles dans les régions texturées

Perspectives

- Améliorer la reconstruction des régions texturées
 - Augmenter résolution texture
 - Image résidu
 - Pré-post traitement pour distinguer contours et textures
- Utiliser modèle géométrique moins contraint
 - Autoriser déconnexions de mailles
- Appliquer le modèle énergétique à des modèles géométriques existants
- Etendre les principes à la vidéo