

Application de l'analyse en composantes indépendantes au codage d'images multicomposantes

Projet ACI²M, coordinateur : M. Barret (Supélec), ACI Masse de Données 2003-2006.

Partenaires : D. T. Pham (LMC), A. Mohammad-Djafari & P. Duhamel (L2S), C. Thiebaut (CNES) et P. Comon (I3S)
 Doctorants et post-doc : I. P. Akam Bitá (LMC-Supélec), N. Bali (L2S), E. Christophe (Tésa-CNES-ONERA-AAS), A. Mohammadpour (L2S), M. Narozny (Supélec) et M. Rajih (I3S).

Objectifs du projet

Etudier l'intérêt de l'analyse en composantes indépendantes (ACI) en codage d'images multispectrales et hyperspectrales satellitaires. Comparer les performances des méthodes utilisant l'ACI avec d'autres méthodes (sans ACI) et avec l'état de l'art.

Deux approches:

- cadre classique de la compression quasi sans perte avec un codage séparé des composantes après transformation;
- commencer par une analyse de l'image pour y séparer des objets (fusion d'images et segmentation jointe), puis coder par région d'intérêt.



Codage sans perte

Le codage sans perte pose la question de l'ACI pour des sources discrètes [1], mais le nombre de sources étant trop élevé, l'ACI discrète est mal adaptée au codage d'images. La factorisation en produit de matrices triangulaires d'une transformation orthogonale optimale en codage avec pertes (à hauts débits) permet un codage progressif pouvant aller jusqu'au sans perte.

Codage quasi sans perte (approche avec ACI)

Après la mise au point de deux nouveaux algorithmes qui calculent la transformation linéaire optimale en codage par transformée (avec quantificateurs scalaires uniformes à haute résolution et codeurs entropiques), des schémas de compression, associant des décompositions en ondelettes 2D pour réduire la redondance spatiale à des transformations linéaires pour réduire la redondance spectrale, ont été étudiés sur des images multicomposantes satellitaires. Les transformations testées sont celles retournées par les algorithmes ci-dessus (ou des variantes) et la TKL. Trois types de schémas ont été analysés: un schéma dit *séparable* car l'ordre dans lequel sont appliquées les transformations (spatiale et spectrale) n'influe pas sur le résultat, un deuxième dit en *sous-bandes* car une transformation spectrale est adaptée à chaque sous-bande de coefficients d'ondelette et un troisième dit *mixte en sous-bandes*, car une transformation réduisant à la fois les redondances, spectrale et spatiale, est adaptée à chaque sous-bande. Des tests permettant de comparer ces schémas entre eux (avec différentes transformations spectrales) et à JPEG2000 ont été mis au point. Les premiers résultats montrent l'intérêt des méthodes proposées.

La question de l'ACI avec modèle de mélange convolutif a également été étudiée pour être appliquée au codage avec pertes. La notion de gain de codage généralisée a été étendue au cas d'un mélange convolutif et un algorithme le maximisant a été implanté.

Pour un modèle convolutif $Y(k) = \sum_l W(l)X(k-l)$ (avec X l'image originale)

le critère à minimiser pour maximiser le gain de codage se met sous la forme

$$C = C_{ICA} + P$$

avec $C_{ICA} = \sum_{j=1}^N H(Y_j) - \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \log_2 |\det \tilde{W}(\lambda)| \frac{d\lambda}{(2\pi)^2}$ le critère classique d'ACI

$$\text{et } P = \frac{1}{2} \log_2 \left\{ \det \left[\text{diag} \left(\int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \tilde{W}^{-H}(\lambda) \tilde{W}^{-1}(\lambda) \frac{d\lambda}{(2\pi)^2} \right) \right] \right\} \\ - \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \log_2 \det [\tilde{W}^{-H}(\lambda) W^{-1}(\lambda)] \frac{d\lambda}{(2\pi)^2}$$

un terme positif ou nul qui s'annule si et seulement si $\tilde{W}^{-H}(\lambda) \tilde{W}^{-1}(\lambda)$ est une matrice diagonale et constante (indépendante de λ). Par exemple quand le filtre de mélange est para-unitaire.

Pour minimiser le critère, la méthode BFGS, variante de la descente du gradient, a été utilisée. Pour cela les expressions du gradient et du hessien du critère ont été calculées et deux algorithmes, l'un minimisant le critère et un autre le minimisant sous contrainte, ont été implantés. L'évaluation de leurs performances est en cours.

Perspectives

Poursuivre les tests évaluant les performances des schémas de compression mentionnés ci-dessus et des transformations d'entiers en entiers associées (post-doc CNES).

Poursuivre l'évaluation des performances des transformations associées au modèle d'ACI convolutif.

Compression par régions d'intérêts, exploitation de la numération binaire signée dans le cas de SPIHT 3D.

Amélioration des méthodes de segmentation d'images hyperspectrales.



Compression d'images hyperspectrales

Caractéristiques des images hyperspectrales satellitaires:

Spectre	400-2500 nm
Résolution x	20 m
Résolution λ	10 nm
# bandes	200
Quantification	12 bits
Fauchée	20 km

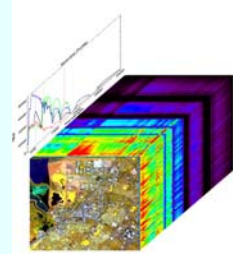


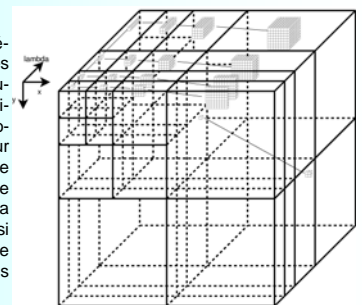
Image aérienne AVIRIS
 fournie par la NASA
 (<http://aviris.jpl.nasa.gov/>)

Codage quasi sans perte (approche sans ACI)

La transformée en ondelettes est envisageable pour des systèmes embarqués sur satellites et c'est d'ailleurs le choix retenu pour différents codeurs récents. Le codage efficace des coefficients d'ondelettes est assuré par des algorithmes basés sur le principe des arbres de zéros qui exploitent la redondance de la localisation des coefficients non-significatifs. Après avoir défini une décomposition en ondelettes quasi-optimale pour les images hyperspectrales [4], les méthodes de codage par arbres (EZW, SPIHT) ont été adaptées [5] à cette décomposition et comparées à une adaptation de JPEG 2000 pour les images hyperspectrales, démontrant l'intérêt des méthodes proposées.

Structure flexible du train binaire

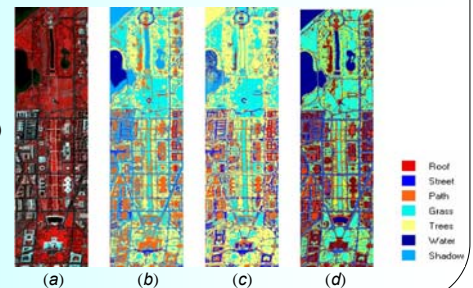
Les utilisateurs sont souvent intéressés uniquement par certaines caractéristiques de l'image (résolution ou zone) en fonction de l'application. Une adaptation de l'algorithme précédent est réalisée pour permettre l'accès aléatoire afin de décoder uniquement une partie de l'image (en spatial ou en spectral). La progression en résolution est aussi disponible, avec la possibilité de spécifier indépendamment les résolutions spatiales et spectrales.



Segmentation et classification d'images hyperspectrales

Il s'agit de segmenter l'image en résolvant des problèmes de classification ou de réduction de données qui admettent le même formalisme que celui de séparation de sources puis d'utiliser la segmentation à des fins de codage. Différents modèles sont appliqués aux données [5], en tenant compte de la redondance spatiale entre pixels voisins pour classifier les spectres.

- Image originale
- Cartes de classification par les méthodes:
- (a) Max vraisemblance (statistiques originales)
- (b) Max vraisemblance (statistiques LOOC)
- (c) Approximation en champ moyen (algorithme EM)



Références

- [1] P. Comon, Contrasts, Independent Component Analysis and Blind Deconvolution, *Int. J. Adapt. Control Sig. Proc.*, Wiley, 18 (3): 225-243, avr. 2004.
- [2] M. Narozny et al., Modified ICA algorithms for finding optimal transforms in transform coding, *ISISPA 2005*, Zagreb.
- [3] I. P. Akam Bitá et al., Compression of Multicomponent Satellite Images Using Independent Component Analysis, *ICA 2006*, Charleston (USA).
- [4] E. Christophe et al., Best Anisotropic 3-D Wavelet Decomposition in a Rate-Distortion Sense, *IEEE ICASSP 2006*, Toulouse.
- [5] E. Christophe et al., Hyperspectral Image Compression: Adapting SPIHT and EZW to Anisotropic 3D Wavelet Coding, *Soumis à IEEE Transactions on Image Processing*, May 22, 2006.
- [6] N. Bali et al., Joint dimensionality reduction, classification and segmentation of hyperspectral images, *IEEE ICIP 2006*, Atlanta (USA).