DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



# FUSION D'IMAGES HYPERSPECTRALES ET PANCHROMATIQUES

# COMPARAISON DES APPROCHES PAR ONDELETTES ET PAR DÉ-MÉLANGE SPECTRAL

Rodolphe MARION (CEA) Bénédicte NOUYOU Vincent SARAGO

3e colloque scientifique SFPT-GH 15 et 16 mai 2014 IGESA Porquerolles

www.cea.fr







## Objectif de la fusion

- Combiner une image haute résolution spatiale (PAN) avec une image haute résolution spectrale (HS) pour obtenir une image fusionnée possédant les caractéristiques spatiales et spectrales les meilleures possibles
  - Améliorer la qualité visuelle (description spatiale de la scène)
  - Préserver l'information spectrale (analyse des signatures des matériaux)

## Etat de l'art des méthodes de fusion

- Les méthodes de projection-substitution
- Les méthodes à contribution spectrale relative
- Les méthodes statistiques
- Les méthodes multi-résolution
- Les méthodes par dé-mélange spectral
  - → Un grand nombre de méthodes (difficultés pour l'utilisateur de faire un choix)
    - → Comparaison multi-résolution (mathématique) / dé-mélange spectral (physique)







- Méthodes multi-résolution Ondelettes et analyse multi-résolution Concept ARSIS Méthode CBD
- Méthodes par dé-mélange spectral : méthode UCNMF
  Principe
  Algorithme
- Evaluation sur données simulées
- Applications sur images réelles
  Protocole et indices de qualité
  Nouvelle-Orléans (Hyperion/Ikonos)
  Ranger Mine (Hyperion/QuickBird)
- Conclusion et perspectives

#### DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRI



## **ONDELETTES ET ANALYSE MULTI-RÉSOLUTION**



- Exemples de mise en œuvre pratique :
  - Algorithme de Mallat (bancs de filtres)
  - A Trous » Wavelet Transform (ATWT)
    - Transformation non décimée
    - La fonction d'échelle est une spline cubique
    - Utilisation d'un filtre de convolution pour le calcul des approximations
    - Les coefficients d'ondelettes sont obtenus par différence entre 2 approximations successives :

$$C_{j+1}(x, y) = A_j(x, y) - A_{j+1}(x, y)$$



# **CONCEPT ARSIS « AMÉLIORATION DE LA RÉSOLUTION SPATIALE PAR INJECTION DE STRUCTURES » (RANCHIN ET WALD, 2000)**

- Utilise des techniques multi-résolution et d'ondelettes afin d'injecter dans l'image basse résolution les hautes fréquences de l'image haute résolution
  - 4 étapes, 3 modèles :
    - Description hiérarchique du contenu spatial des images A et B en utilisant une transformée (MSM : Multi-Scale Model)
    - Recherche des relations entre les informations de fréquence (détails ou approximations) des images A et B (*IMM : Inter-Modality Model*)
    - Calcul du plan de détails manquant pour l'image B (*HRIMM : High Resolution* Inter-Modality Model)
    - Synthèse de l'image fusionnée (*MSM-1*)



## QUELQUES MÉTHODES DU CONCEPT ARSIS

- Méthode M1 (la plus simple)
  - Pas d'estimation de paramètre
  - Les coefficients de détails manquants résultent directement des coefficients de la décomposition de l'image haute résolution spatiale



#### Principe de la méthode M1 (Thomas, 2006)

### Méthode CBD

- Context-Based Decision » (Aiazzi et al., 2001)
- Suppose une relation linéaire entre les plans d'approximations de l'image A et ceux de l'image B, inchangée avec le changement d'échelle
- Estimation locale (fenêtre glissante) du coefficient de la relation linéaire
- Application de la relation linéaire conditionnellement à un coefficient de corrélation



## MÉTHODE UCNMF : ALGORITHME

Dé-mélange NMF (*Nonnegative Matrix Factorization*) (Lee & Seung, 1999) L'image hyperspectrale  $\mathbf{V} \in \mathbb{R}^{L \times K}$  est décomposée telle que :

 $\mathbf{V} = \mathbf{W}\mathbf{H}$ 

*L* : nombre de bandes spectrales *K* : nombre de pixels hyperspectraux

Spectral Angle Mapper

Fonction coût

min 
$$J(\mathbf{W}, \mathbf{H}) = \frac{1}{2} \|\mathbf{V} - \mathbf{W}\mathbf{H}\|_F^2 + \beta S(\mathbf{V}_f)$$

s.t.  $W \ge 0, H \ge 0$ 

 $\beta$  : poids de la contrainte spectrale  $\|\mathbf{A}\|_F$  : norme de Frobenius de la matrice **A** 

Image fusionnée :  $\mathbf{V}_f = \mathbf{W}(\alpha \mathbf{H} + (1 - \alpha)\mathbf{P})$ 

### Paramètres

- $\alpha$  : coefficient d'injection de l'image panchromatique
- $-\beta$  : poids de la contrainte spectrale
- Résolution numérique de la minimisation Algorithme (itératif) du gradient projeté de Lin (Lin, 2007)
- Initialisation de W et H par l'algorithme VCA (Vertex Component Analysis) (Nascimento & Dias, 2005)

## APPLICATIONS SUR IMAGES RÉELLES : PROTOCOLE

- Prétraitements des images Hyperion
  Conversion des données brutes en luminance
  Sélection des 196 bandes spectrales utiles
  Correction du décalage spatial de la voie SWIR
  Décolonage de l'image de luminance
  Co-alignement spatial des voies VNIR et SWIR
- Registration spatiale des images
- Fusion : CBD et UCNMF



<u>Décolonage d'une image Hyperion</u> (à gauche : avant, à droite : après)

- Analyse visuelle des résultats
- Analyse quantitative (critères de qualité : SAM, Q-average, QNR, CC spectrale, CC spatiale, PSNR, Entropie)
  - Sur données réelles :
    - Comparer l'image fusionnée dégradée spatialement et l'image hyperspectrale initiale
    - Comparer l'image fusionnée dégradée spectralement et l'image panchromatique initiale

#### DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRI



## **HYPERION/IKONOS NOUVELLE-ORLÉANS [1/4]**

- Image hyperspectrale
  - Satellite Hyperion
  - Résolution spatiale : 30m
- Image panchromatique
  Satellite Ikonos
  Résolution spatiale initiale : 1m
  → ré-échantillonnée à 15m
  (rapport ½)
- Ville de la Nouvelle-Orléans (Etats-Unis) : aéroport, usines, zones urbaines denses, fleuve...
- Images acquises à 1 heure d'intervalle
  - Différences radiométriques localisées : trafic fluvial, nuages...



Image PAN



Image HS



## **HYPERION/IKONOS NOUVELLE-ORLÉANS [2/4]**

## Qualité spatiale

 Détails plus nets pour UCNMF
 Structures mieux conservées pour UCNMF

## Qualité spectrale

Couleurs dégradées pour UCNMF



**Fusion UCNMF** 



Fusion CBD

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTR



## **HYPERION/IKONOS NOUVELLE-ORLÉANS [3/4]**





Qualité spatiale : UCNMF Qualité spectrale : CBD

Méthode	UCNMF	CBD	Résultat
SAM (0)	10,0643	1,4116	CBD
Q-average (1)	0,6415	0,9602	CBD
QNR (1)	0,7673	0,8933	CBD
CC spectrale (1)	0,7177	0,9806	CBD
CC spatiale (1)	0,8432	0,5066	UCNMF
PSNR (+)	22,3229	26,7825	CBD
Entropie relative (0)	-0,3862	-0,11	CBD

#### DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

## **HYPERION/QUICKBIRD RANGER MINE [1/3]**

- Image hyperspectrale
  - Satellite Hyperion
  - **Résolution spatiale : 30m**
- Image panchromatique
  - Satellite QuickBird
  - Résolution spatiale initiale :
    60cm

 $\rightarrow$  ré-échantillonnée à **15m** (rapport  $\frac{1}{2}$ )

- Mine d'uranium à ciel ouvert de Ranger (Australie) : présence de bassins de retenues et de puits d'extraction
- Images acquises à 1 an d'intervalle
  Différences radiométriques importantes : dans les bassins, présence de nouvelles structures sur le site...



Image PAN

Image HS



## **HYPERION/QUICKBIRD RANGER MINE [2/3]**

## Qualité spatiale

 Détails plus nets pour UCNMF
 Détails dus aux différences temporelles ajoutées pour UCNMF

## Qualité spectrale

 Couleurs dégradées pour UCNMF
 Spectres plus semblables pour CBD



**Fusion UCNMF** 



**Fusion CBD** 





3e colloque SFPT-GH | 15 et 16 mai 2014 | IGESA Porquerolles | PAGE 15



Qualité spatiale : UCNMF Qualité spectrale : CBD

Méthode	UCNMF	CBD	Résultat
SAM (0)	12,9681	1,3691	CBD
Q-average (1)	0,5608	0,9557	CBD
QNR (1)	0,7759	0,8954	CBD
CC spectrale (1)	0,6439	0,9768	CBD
CC spatiale (1)	0,7155	0,3692	UCNMF
PSNR (+)	28,1231	19,994	UCNMF
Entropie relative (0)	-0,4648	-0,115	CBD

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

## Conclusion

Pour les jeux de données utilisés, l'approche par ondelettes (méthode CBD) fournit de meilleurs résultats que l'approche par dé-mélange spectral (méthode UCNMF)

- Amélioration des structures spatiales
- Meilleure préservation de l'information spectrale

## Perspectives

Ondelettes

- **\_\_** SDM : Spectral Distortion Minimizing (Garzelli et al., 2004)
- Approche globale (meilleures performances pour les forts rapports de résolution)

### Dé-mélange spectral

- SCNMF : Sparse Constraint Nonnegative Matrix Factorization (Chen et al., 2014)
  - Ajout d'une contrainte de parcimonie sur les abondances (stabilité et sens physique de la solution)
  - Utilisation du Laplacien de  $\mathbf{P}$  ( $\searrow$  distorsions spectrales)
- Utilisation d'un coefficient d'injection  $\alpha$  local ?
- Choix (et classification) des critères de qualité
- Comparaison globale des performances des deux approches : rapports de résolutions, types de paysages, robustesse aux erreurs de registration...

# MERCI

# **QUESTIONS**?

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex T. +33 (0)1 XX XX XX XX | F. +33 (0)1 XX XX XX XX Direction Département Service

Etablissement public à caractère industriel et commercial RCS Paris B 775 685 019