

Fusion de données multispectrales multi capteurs

Théo Masson ⁽¹⁾, Mauro Dalla Mura ⁽¹⁾, Marie Dumont ⁽²⁾, Jocelyn Chanussot ^(1,3)

¹ GIPSA-Lab, Grenoble-INP, Saint Martin d'Hères, France

² Météo-France-CNRS, CNRM-GAME/CEN, UMR 3589, Saint Martin d'Hères, France

³ Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Iceland, Reykjavik, Iceland

Theo.Masson@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

Ce travail est supporté par une subvention du Labex OSUG@2020 (Investissements d'avenir – ANR10 LABX56), par le Programme National de Télédétection Spatiale (PNTS), subvention n. PNTS-2016-03 et par le programme ARC 3 de la région Rhône Alpes

1 Introduction

La multiplicité des capteurs multi spectraux embarqués sur des satellites augmente sensiblement nos capacités à imager la Terre. Cependant ces capteurs ont le plus souvent des caractéristiques spectrales différentes, tout comme des résolutions spatiales hétérogènes. La fusion de données s'intéresse à la combinaison de ces différents capteurs afin d'obtenir une image possédant les meilleures caractéristiques des capteurs concernés. Cela permet d'obtenir un produit final comportant la plus haute résolution spatiale disponible ainsi que l'ensemble des bandes spectrales des différents capteurs.

De nombreuses approches [1] tel que CNMF [2] ou HySure [3] existent pour effectuer ce type de fusion, mais concernent principalement la fusion d'un capteur Hyperspectral de plus haute résolution spectrale avec un capteur Multispectral de plus haute résolution spatiale. Ces méthodes utilisent le recouvrement spectral entre les deux capteurs afin d'établir un « pont » entre les données recueillies et ainsi mettre à l'échelle par la fusion les données hyper spectrales à la résolution spatiale du capteur multispectral.

Dans le cas de deux capteurs multi spectraux, le recouvrement spectral entre les deux capteurs n'est pas garanti, voir souvent inexistant. Cette étude propose donc de généraliser le modèle utilisé par CNMF et HySure pour que le produit final comporte l'ensemble des bandes spectrales disponibles ainsi que la meilleure résolution spatiale.

2 Généralisation du problème de fusion de données

Soit $\mathbf{Z} \in \mathbb{R}^{\lambda_z \times L_z}$ l'image finale de la fusion de donnée entre $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{\lambda_h \times L_h}$ et $\mathbf{Y} \in \mathbb{R}^{\lambda_m \times L_m}$ ou \mathbf{X} et \mathbf{Y} sont respectivement des images hyperspectrales (HS) et multispectrales (MS). λ_h , L_h , λ_m et L_m étant respectivement le nombre de bandes et le nombre de pixels disponibles dans les images HS et MS. λ_z et L_z sont les caractéristiques spectrales et spatiales de l'image fusionné.

Le model proposé cherche à ce que \mathbf{Z} comporte la plus haute résolution spatiale, soit $L_z = L_m$, mais également l'ensemble du spectre combiné des deux capteurs source, soit $\lambda_z = \lambda_m + \lambda_h$. On peut alors décrire la relation entre l'image fusionnée et les images sources de la façon suivante :

$$\mathbf{X} = \mathbf{R}_x \mathbf{Z} \mathbf{S} + \mathbf{N}_s \quad (1)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{R}_y \mathbf{Z} + \mathbf{N}_r \quad (2)$$

où $\mathbf{S} \in \mathbb{R}^{L_m \times L_h}$ correspond à la matrice de transformation de la PSF ainsi que le sous-échantillonnage de \mathbf{Y} vers \mathbf{X} . $\mathbf{R}_x \in \mathbb{R}^{\lambda_h \times \lambda_z}$ et $\mathbf{R}_y \in \mathbb{R}^{\lambda_m \times \lambda_z}$ correspondent à la matrice de transformation de la réponse spectrale de \mathbf{Z} vers \mathbf{X} et \mathbf{Y} respectivement. \mathbf{N}_s et \mathbf{N}_r représentent le résidus de ces transformations.

Si l'on se place sous le modèle linéaire de mélange spectral (Linear Mixing Model ou LMM), \mathbf{Z} peut être vu comme résidant dans un espace de dimension inférieur à l'espace spectral initial. Cela revient à dire que \mathbf{Z} est sur défini. Cela permet d'effectuer une réduction de dimension via le démelange spectral et où \mathbf{Z} est défini tel que

$$\mathbf{Z} = \mathbf{W} \mathbf{H} + \mathbf{N} \quad (3)$$

où $\mathbf{W} \in \mathbb{R}^{L_z \times D}$ est la matrice de signatures spectrales comportant D entités différentes et $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^{D \times L_m}$ correspond à leur abondance dans l'image. \mathbf{N} correspond au résidu. On peut alors en déduire la relation sur \mathbf{X} et \mathbf{Y} :

$$\mathbf{X} = \mathbf{W}_x \mathbf{H} \mathbf{S} \quad (4)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{W}_y \mathbf{H} \quad (5)$$

où $\mathbf{W}_x = \mathbf{R}_x \mathbf{W}$ et $\mathbf{W}_y = \mathbf{R}_y \mathbf{W}$.

3 Méthode de fusion proposée

L'approche générale proposée dans les équations (1) et (2) implique la possibilité de fusionner des images en provenance de capteurs MS uniquement, où il n'existe aucun recouvrement spectral. Il peut également arriver qu'au-delà de cette absence de recouvrement, il y ait une certaine distance spectrale entre les différentes bandes. Cela limite considérablement l'utilisation des techniques de similarité pour calculer la matrice de transformation spectrale.

Afin de pouvoir effectuer ces calculs, nous proposons de dégrader spatialement \mathbf{Y} puis de concaténer le résultat avec \mathbf{X} . Cette étape permet la génération d'un nouveau produit \mathbf{C} de faible résolution spatiale mais comportant l'ensemble des bandes spectrales recherchées dans l'image fusionnée. De plus l'augmentation du nombre de bande sur cette nouvelle image basse résolution permet de la placer plus efficacement sous le principe de LMM lors de l'utilisation d'images multi spectrales, la réduction de dimension ayant alors plus de sens. Le recouvrement artificiel ainsi produit permet le calcul de la réponse spectral entre les deux capteurs et par conséquent la possibilité d'utiliser des méthodes de fusion telle que CNMF ou HySure, originellement développées pour la fusion HS-MS présentant naturellement un grand recouvrement entre les capteurs.

4 Expérimentation

Afin de valider notre modèle nous effectuons des expérimentations sur des cas synthétiques. Un damier composé de différents matériaux est généré. Une simulation de l'image acquise pour deux capteurs est effectuée, le second considéré comme \mathbf{X} est dégradé spatialement par un facteur 4. Le premier capteur considéré comme \mathbf{Y} possède 4 bandes spectrales (bandes bleu sur la Figure 1) tandis que le second capteur en possède 6. La fusion entre ces deux capteurs est effectuée suivant les algorithmes CNMF et HySure tout d'abord entre \mathbf{X} et \mathbf{Y} puis entre \mathbf{C} et \mathbf{Y} . Afin d'observer la réaction des algorithmes en fonction du recouvrement entre les différentes bandes, l'expérience est répétée 500 fois avec un déplacement de l'ensemble des spectres de \mathbf{X} de 1nm entre chaque itération. Les résultats présentés sur la Figure 1 montrent d'une manière générale de meilleurs résultats mais également une plus grande stabilité des résultats en cas de large écart entre les bandes.

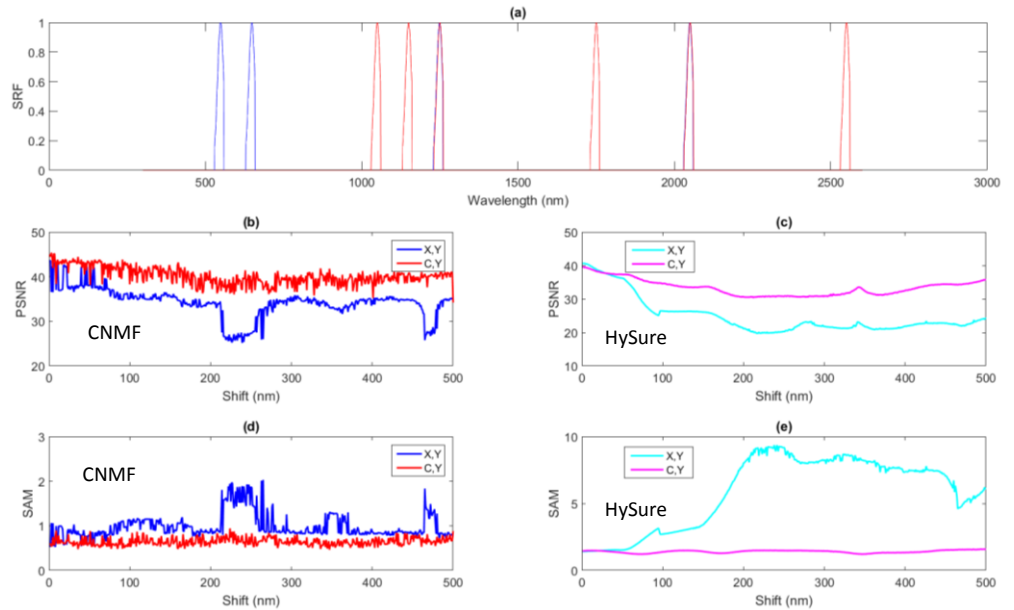


Figure 1: (a) réponse spectrale des deux capteurs après un décalage de 500nm du capteur 2, spatialement dégradé par un facteur 4. (b) et (d) PSNR et SAM pour la fusion par CNMF dans le cas classique et via la méthode proposée. (c) et (e) correspondent aux mêmes expérimentations pour la méthode HySure.

Des expérimentations sur des données réelles issues du jeu de données Cuprite montrent également des résultats probants dans l'utilisation de cette approche pour la fusion de deux capteurs multi spectraux.

5 Conclusion

Cette étude encore en développement définit de façon générale le problème de fusion de données entre deux capteurs, quel que soit leurs caractéristiques d'acquisition spectrales. Elle avance également une méthode généraliste de résolution basée sur la dégradation spatiale et la concaténation de l'image à plus haute résolution spatiale avec la seconde. Les résultats montrent un impact important de cette approche notamment sur les résultats issus de deux capteurs présentant de larges différences dans leurs caractéristiques d'acquisition. Enfin nous suggérons la possibilité d'utiliser cette approche pour la fusion simultanée ou par étape d'un plus grand nombre de capteurs, sans nécessiter de paramétrisation ni d'adaptation spécifique entre les différentes opérations.

Bibliographie

- [1] Naoto Yokoya, Claas Grohnfeldt, and Jocelyn Chanussot, "Hyperspectral and multispectral data fusion: A comparative review," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine (GRSM)*, 2017.
- [2] Naoto Yokoya, Takehisa Yairi, and Akira Iwasaki, "Coupled nonnegative matrix factorization unmixing for hyperspectral and multispectral data fusion," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 50, no. 2, pp. 528–537, 2012.
- [3] Miguel Simões, José Bioucas-Dias, Luis B Almeida, and Jocelyn Chanussot, "A convex formulation for hyperspectral image superresolution via subspace-based regularization," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 53, no. 6, pp. 3373–3388, 2015.