

Soutenance de thèse

Yohann CONSTANS soutiendra sa thèse de doctorat préparée au sein de l'ISAE-ONERA OLIMPES et intitulée «*Fusion de données hyperspectrales et panchromatiques dans le domaine réflectif*»

Le 19 avril à 2022 à 14h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Xavier BRIOTTET	Directeur de recherche ONERA	Directeur de thèse
M. Yannick DEVILLE	Professeur Université Toulouse 3/IRAP	Co-directeur de thèse
Mme Sophie FABRE	Ingénieure de recherche ONERA	Co-encadrante de thèse
M. David BRIE	Professeur Université de Lorraine Nancy/CRAN	Rapporteur
M. Thomas CORPETTI	Directeur de recherche LETG	Rapporteur
M. Ali MANSOUR	Professeur ENSTA Bretagne	
M. Benjamin SZYMANSKI	Ingénieur de recherche Direction Générale de l'Armement	
M. Arnaud LE BRIS	Chargé de recherche LaSTIG	

Résumé : Les capteurs satellitaires ne pouvant acquérir des images d'observation de la Terre à hautes résolutions spatiale et spectrale, une solution consiste à combiner une image panchromatique (PAN) à haute résolution spatiale avec une image hyperspectrale (HS) à haute résolution spectrale, pour générer une nouvelle image hautement résolue spatialement et spectralement. Ce procédé de fusion, appelé pansharpening HS, présente toutefois certaines limitations, parmi lesquelles la gestion des pixels HS mixtes, particulièrement présents en milieu urbain. Cette thèse a pour objectif de développer et valider une nouvelle méthode de pansharpening HS dans le domaine réflectif [0,4 - 2,5 μm] optimisant la reconstruction des pixels mixtes. Pour ce faire, une méthode de la littérature appelée Spatially Organized Spectral Unmixing (SOSU) a été choisie comme point de départ. Elle est basée sur des étapes de prétraitement de démixage spectral et de réorganisation spatiale des pixels mixtes, et une étape de fusion appelée Gain. Afin d'évaluer les méthodes de fusion, des jeux de données simulés présentant plusieurs niveaux de complexité spatiale et acquis par différents instruments ont été construits à partir de données aéroportées existantes. D'autre part, un protocole robuste d'évaluation de performances a été proposé. Il est basé sur le protocole de Wald et l'application de critères de qualité à différentes échelles spatiales et sur différents domaines spectraux, et il est complété par un produit à valeur ajoutée (cartes d'occupation des sols par classification supervisée). Des améliorations ont été apportées à SOSU pour l'adapter progressivement à des scènes de complexité spatiale élevée. Une nouvelle approche de réorganisation spatiale par analyse combinatoire a été proposée pour le traitement des milieux agricoles à péri-urbains. Des améliorations supplémentaires ont été apportées pour le traitement des milieux urbains, en modélisant notamment l'analyse combinatoire comme un problème d'optimisation, et ont conduit à la méthode Combinatorial Optimisation for 2D ORganisation (CONDOR). Les performances de cette méthode ont été évaluées et comparées à celles de méthodes de référence. Elles ont révélé des améliorations visuelles et numériques de la qualité de la reconstruction, et ont montré que la limitation la plus importante provient de la non-représentation du domaine SWIR [1,0 - 2,5 μm] dans l'image PAN en entrée de la fusion. Un nouveau choix d'instrumentation, reposant sur l'utilisation d'une seconde voie PAN dans le domaine SWIR II [2,0 - 2,5 μm], a ainsi été introduit pour dépasser cette limitation. Les méthodes Gain-2P et CONDOR-2P, extensions des méthodes Gain et CONDOR prenant en compte cette seconde voie PAN, ont été développées. L'analyse des résultats a révélé l'apport conséquent de ces deux méthodes étendues (jusqu'à 60 % et 45 % d'amélioration par rapport à leurs versions initiales sur des données respectivement péri-urbaines et urbaines), ainsi que l'amélioration de la qualité de l'image fusionnée avec CONDOR-2P par rapport à Gain-2P (jusqu'à 9 % d'amélioration). Enfin, une étude de sensibilité a été menée afin d'évaluer la robustesse des méthodes proposées vis-à-vis des défauts et caractéristiques instrumentaux (rapport de résolutions spatiales, déréglage, bruit et fonction de transfert de modulation), en choisissant des configurations représentatives des instruments satellitaires existants. Malgré la sensibilité de l'ensemble des méthodes aux différents paramètres, les analyses ont montré que CONDOR-2P obtient quasi-systématiquement la meilleure qualité de reconstruction, et se révèle particulièrement robuste vis-à-vis de l'augmentation du rapport de résolutions spatiales (10 % d'amélioration par rapport à Gain-2P pour une valeur de 8 en milieu péri-urbain).

Mots-clés : Fusion d'images, Hyperspectral, Panchromatique, Pansharpening, Domaine réflectif, Pixels mixtes

Summary: In the context of Earth observation, lots of applications need both good spatial and spectral resolutions, in order to provide both geometrical and physical information of the scene. However, sensors cannot offer altogether such characteristics. A solution consists in combining images simultaneously acquired by a panchromatic camera (to get high spatial resolution) and a hyperspectral camera (to get high spectral resolution) with lower spatial resolution than the panchromatic one (generally 4 times lower). Fusing hyperspectral and panchromatic images, at the pixel level, in order to exploit the complementarity of these two acquisition methods, is called Pan Sharpening. Nevertheless, nowadays fusing methods reach some limits, like spatial resolutions ratios limited to a 4 factor, hyperspectral images restricted to visible and near infra-red ranges (0.4-1.0 μm) – and rarely to the reflective range (0.4-2.5 μm), but also artefacts introduced by the sensors themselves. In order to overcome these constraints and have an estimate of the performances of such a method, a number of issues must be faced : radiometric distortions of the fused image in the 0.4-2.5 μm range, mixed pixels in the case of high spatial variability, errors due to a non-uniform irradiance, etc. In this context, the SOSU method has been implemented to improve spatial information of the hyperspectral image, mostly in the transition zones (mixed pixels) and for small objects of the scene. It is based on a pre-processing step of spectral unmixing. It showed better results than the conventional methods but still needs improvement for more complex environment, like urban zones (shadowed areas). On the other hand, new airborne equipment are now capable of covering the whole optical range (0.4-12 μm). They enable a complete use of all the infra-red potential (classification, target recognition,...), and force fusing methods to be extended to the entire optical range. Hence, the goal of this thesis is to provide a new fusing method for panchromatic and hyperspectral images, extended to the whole optical range, and taking into account the processing of mixed pixels and shadowed areas.

Keywords: Image fusion, Hyperspectral, Panchromatic, Pan sharpening, Reflective domain, Mixed pixels