

Depuis quelques années, on constate un intérêt croissant pour la spécification et la conception d'imageurs multispectraux, qui permettent d'acquérir simultanément l'image d'une scène dans plusieurs (typiquement entre 2 et 10) bandes spectrales en infrarouge ou en visible. Les applications de ces instruments sont très variées : télédétection satellitaire ou spatiale, détection d'aéronefs, de drones,... Lors de l'exploitation des données, les algorithmes de détection d'anomalies sont couramment utilisés pour rechercher des objets potentiels d'intérêt sur une image. Le principe consiste à analyser le signal lu sur les pixels spectraux de l'image et à distinguer deux classes : une classe majoritaire associée au fond, et une classe de pixels qui se démarque du signal de fond, les anomalies. Celles-ci peuvent ensuite être analysées de façon plus détaillée par d'autres méthodes, pour savoir si elles correspondent aux objets recherchés.

Afin d'optimiser le choix des bandes spectrales pour des applications de type détection d'anomalies, il est important de tenir compte des incertitudes qui affectent certaines données, comme les conditions météorologiques, et qui conduisent à une variabilité des scènes observées, ainsi que de la diversité des objets susceptibles d'être rencontrés. Il faut donc évoluer d'une stratégie d'optimisation classique et déterministe vers une optimisation robuste, qui a pour but de concevoir des systèmes dont les performances sont peu sensibles aux fluctuations induites par les paramètres incertains. Elle s'appuie sur des mesures de robustesse pour quantifier les variations des objectifs dues aux incertitudes. On recherche ainsi le système qui possède la meilleure performance moyenne, ou bien celui dont la performance varie le moins, ou encore les deux à la fois.

En s'appuyant sur les travaux de thèse de Florian Maire sur la prise en compte simultanée des variabilités spectrale et spatiale des objets d'intérêt et du fond pour la détection d'anomalies [1], et sur les avancées récentes en deep learning, le doctorant sera amené à proposer une méthodologie de sélection robuste de bandes spectrales. Cette problématique, cruciale pour le dimensionnement des futurs systèmes opérationnels multispectraux, n'est encore que très peu abordée dans la littérature. En effet, si on note depuis une dizaine d'années un essor des méthodes de sélection de bandes qui prennent en compte l'application visée (classification pour la plupart) pour effectuer le choix, il existe peu de travaux qui prennent en compte les regroupements de bandes spectrales adjacentes et très corrélées, et encore moins qui tiennent compte de la diversité des objets d'intérêt et du fond.

Les travaux de thèse porteront sur les points suivant :

- modélisation statistique des incertitudes sur les objets d'intérêt et les fonds en multispectral ;
- mise au point de critères d'optimisation robuste couplés à une méthodologie d'estimation efficace ;
- validation sur des cas simulés : détection d'aéronefs et réels : télédétection.

Différents critères ont été proposés pour l'optimisation robuste sous incertitudes [2] : espérance, variance, quantile, superquantile [3] (qui permet de quantifier le poids des événements situés au-dessus d'un quantile donné)..., mais il faudra les adapter à la problématique du choix de bandes spectrales, qui est un problème d'optimisation sur des variables discrètes, avec des contraintes de faisabilité technologique à prendre en compte. Il faudra de plus coupler de façon pertinente ces critères de robustesse à ceux de détection d'anomalies. On considèrera le critère de référence, le RX [4], des variantes tirant profit des tests robustes, et aussi les méthodes reposant sur une décomposition « low rank + sparse » qui s'appuient sur la construction d'un dictionnaire pour représenter le fond [5] et sont bien adaptées à la prise en compte de sa variabilité. Le choix du critère de détection est un des points clés de la thèse : il doit être assez simple pour permettre l'optimisation et la recherche de bornes théoriques de performances, tout en restant réaliste vis-à-vis des performances des algorithmes récents de deep learning.

Enfin, le calcul de critères du type quantile nécessite un grand nombre d'évaluations des objectifs afin d'observer l'effet des variations des paramètres incertains autour de chaque solution considérée. Il faudra donc proposer des estimateurs efficaces adaptés à la problématique du choix de bandes spectrales, couplés avec des algorithmes d'optimisation performants. On envisagera notamment des évolutions récentes de méthodes de type cross-entropy associées à des familles de loi en réseaux bayésiens [6] et les algorithmes évolutionnaires (CMAES - Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy).

La méthodologie mise au point sera validée sur différentes applications de détection (visée rasante sol-sol ou sol-air, télédétection aéroportée) sur des fonds naturels : zone rurale, zone désertique, forêt, fond nuageux... Pour cela, on évaluera les performances des combinaisons de bandes spectrales optimisées pour des algorithmes de détection basés sur une approche de segmentation

par apprentissage profond, avec des architectures de type ResNet et ses variantes couplant CNN et Transformers, qui sont à l'état de l'art pour la détection de petits objets en infrarouge.

Bibliographie :

- [1] F. Maire, S. Lefebvre, Detecting aircraft in low-resolution multispectral images: specification of relevant IR wavelength bands, *J. of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 8 (9), 4509-4523, 2015.
- [2] V. Gabrel, C. Murat, A. Thiele, Recent advances in robust optimization: An overview, *European J of Operational Research* 235, 471-483, 2014.
- [3] R. T. Rockafellar, Coherent approaches to risk in optimization under uncertainty, *Tutorials in operations research*, 3, 38–61, 2007.
- [4] I.S. Reed et X. Yu, Adaptive multiple-band CFAR detection of an optical pattern with unknown spectral distribution, *IEEE Trans. Acoustics Speech, Signal Process.*, 38, 1760-1770, 1990.
- [5] Y. Zhang, B. Du et al, A Low-Rank and Sparse Matrix Decomposition-Based Mahalanobis Distance Method for Hyperspectral Anomaly Detection, *IEEE TGRS*, 54(3), 1376-1389, 2016.
- [6] C. Musso, F. Dambreville and C. Chahbazian, "Filtering and sensor optimization applied to angle-only navigation," 2021 IEEE 24th International Conference on Information Fusion (FUSION), 2021

Entreprise : ONERA The French Aerospace Lab – Centre de Palaiseau

Profils Recherchés : Master 2 recherche ou école d'ingénieur avec compétences en statistiques, optimisation, machine learning