www.onera.fr

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Optimisation sous incertitudes avec contraintes physiques

Référence : **PHY-DOTA-2024-02**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2024	**Date limite de candidature :** 01/05/2024

Mots clés :

Optimisation ; incertitudes ; robustesse ; algorithmes évolutionnaires ; multi/hyperspectral

Profil et compétences recherchées :

Master 2 ou école d'ingénieur avec compétences en statistiques, optimisation, machine learning

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

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 : détection d'aéronefs, de drones, télédétection satellitaire…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 (prix de thèse DGA 2016) 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 optimisation évolutionnaire, le ou la doctorant(e) sera amené(e) à proposer une méthodologie d'optimisation sous incertitudes qui permette la prise en compte de contraintes physiques et qui soit adaptée aux variables mixtes. 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.

Différents critères ont été proposés pour l'optimisation robuste sous incertitudes [2-3] : espérance, variance, quantile, superquantile (qui permet de quantifier le poids des évènements 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 avec des variables discrètes et des contraintes physiques de faisabilité technologique. Il faudra de plus coupler de façon pertinente ces critères de robustesse à ceux de détection. On considèrera le critère de référence, le RX [4] et des variantes tirant profit des tests robustes [5]. Le critère de détection retenu doit en effet être assez simple pour permettre l'optimisation sous incertitudes.

Dans un deuxième temps, le calcul de critères du type quantile nécessitant un grand nombre d'évaluations des objectifs afin d'observer l'effet des variations des paramètres incertains autour de chaque solution considérée, il faudra proposer des estimateurs efficaces adaptés à la problématique du choix de bandes spectrales. Ces estimateurs devront permettre de bien explorer la diversité des solutions optimales concurrentes potentielles. On proposera des adaptations d'algorithmes évolutionnaires : pénalisation,

modification des lois de génération, pour prendre en compte des contraintes qui traduisent les informations a priori associées à la forme, le nombre et la largeur des bandes spectrales. Les algorithmes envisagés sont CMA-ES (Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy) ainsi que des évolutions récentes de méthodes de type cross-entropy associées à des familles de loi en réseaux bayésiens [6].

La méthodologie sera appliquée sur une base de données simulées d'avions sur fond de ciel contenant plusieurs dizaines de milliers d'imagettes dans différentes bandes spectrales infrarouge [1] et sur des données hyperspectrales réelles qui servent de benchmark dans la littérature. Pour cela, on évaluera les performances des combinaisons de bandes spectrales optimisées pour des algorithmes de détection par apprentissage profond, avec des architectures de type YOLO ou 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, Adaptative multiple-band CFAR detection of an optical pattern with unknown spectral distribution, IEEE Trans. Acoustics Speech, Signal Process., 38, 1760-1770, 1990.

[5] P.J. Huber, "Robust statistics. In International encyclopedia of statistical science" (pp. 1248-1251). Springer, Berlin, Heidelberg, 2011;

[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;

Collaborations envisagées : Equipe RandOpt INRIA/ CMAP

Laboratoire d'accueil à l'ONERA	**Directeur de thèse**
Département : Département Optique et Techniques associées	Nom : Auger Anne
Lieu (centre ONERA) : Palaiseau	Laboratoire : RandOpt INRIA/CMAP
Contact : Sidonie Lefebvre / Frédéric Dambreville	Tél. :
Tél. : 01 80 38 63 76 Email : sidonie.lefebvre@onera.fr	Email : anne.auger@inria.fr

Pour plus d'informations : https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche