



HAL
open science

Restauration d'images de satellites corrigées par optique adaptative dans le visible

Alix Yan, Romain Fétick, Laurent M. Mugnier, Jean-François Giovannelli, Aurélie Bonnefois, Cyril Petit

► **To cite this version:**

Alix Yan, Romain Fétick, Laurent M. Mugnier, Jean-François Giovannelli, Aurélie Bonnefois, et al.. Restauration d'images de satellites corrigées par optique adaptative dans le visible. OPTIQUE Dijon 2021, SFO, Jul 2021, Dijon, France. <hal-03512158>

HAL Id: hal-03512158

<https://hal.science/hal-03512158v1>

Submitted on 5 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

RESTAURATION D'IMAGES DE SATELLITES CORRIGÉES PAR OPTIQUE ADAPTATIVE DANS LE VISIBLE

Alix Yan¹, Romain Fétick¹, Laurent M. Mugnier¹, Jean-François Giovannelli²,
Aurélie Bonnefois¹, Cyril Petit¹

¹ ONERA - The French Aerospace Lab, 92320 Châtillon, France

² Laboratoire IMS (Univ. Bordeaux, CNRS, BINP), 33400 Talence, France

alix.yan@onera.fr

RÉSUMÉ

La restauration d'images de satellites en orbite basse corrigées par optique adaptative est particulièrement difficile. Nous appliquons une méthode de déconvolution myope marginalisée, combinée à un modèle paramétrique de réponse instrument, à des séries d'images et nous étudions l'amélioration apportée par rapport à l'état de l'art.

MOTS-CLEFS : *Traitement de l'image ; déconvolution aveugle ; optique adaptative ; imagerie de satellites*

1. INTRODUCTION

L'observation astronomique et de satellites depuis le sol étant limitée par la turbulence atmosphérique, une possibilité afin de compenser ces perturbations est d'utiliser un système d'optique adaptative (OA). Cependant, la correction faite par l'OA est partielle : en effet, des résidus turbulents persistent, ce qui entraîne une atténuation sévère des hautes fréquences spatiales de l'image. Inclure un traitement au système d'observation est donc nécessaire dans le but de restaurer les hautes fréquences de l'image. L'impact des résidus de perturbations est décrit dans la fonction dite d'étalement du point (en anglais PSF pour *Point Spread Function*). Il est donc crucial d'estimer correctement cette PSF avant d'inverser ses effets par déconvolution.

L'estimation conjointe de l'objet et de la PSF est dégénérée et ne permet pas de déconvoluer l'image de manière satisfaisante. L'estimation marginale (où on identifie d'abord la PSF avant de faire la déconvolution) permet de résoudre ce problème [1]. Celle-ci a été appliquée récemment pour la première fois à des séries d'images corrigées par OA de satellites [2] [3]. La combinaison de cette déconvolution marginale avec un modèle de PSF paramétrique parcimonieux [4] permet de la rendre plus robuste sur des images astronomiques [5]. Ici nous appliquons cette méthode à des séries d'images de satellite et étudions les performances obtenues.

2. MODÉLISATION ET MÉTHODE DE RESTAURATION

L'image i est modélisée comme le produit de convolution entre l'objet o et la PSF h , auquel s'ajoute un bruit n (il s'agira principalement du bruit de photon et du bruit de détecteur) : $i = h * o + n$. La difficulté réside dans le fait que la PSF est mal connue, on cherche donc à estimer l'objet ainsi que la PSF lors de la reconstruction. L'intérêt de paramétriser la PSF est de réduire le nombre de degrés de liberté associés de façon à rendre l'identification de PSF plus robuste.

2.1 Estimateurs joint et marginal

Une manière d'estimer l'objet ainsi que la PSF est de le faire conjointement. Cela peut se traduire dans un cadre bayésien par la recherche de l'estimateur du maximum a posteriori joint, où on cherche l'objet et la PSF maximisant la distribution à la fois jointe pour l'objet et la PSF et conditionnelle à l'image. Plusieurs travaux montrent que la solution ainsi obtenue est dégénérée [1] [5].

Une autre manière de faire est d'estimer les paramètres de PSF en « marginalisant » l'objet, c'est-à-dire en intégrant la densité de probabilité jointe sur tous les objets possibles [1].

2.2 Modèle parcimonieux de PSF

Dans le cas d'observations longue pose, la PSF est décrite comme la convolution entre la PSF atmosphérique h_A , la PSF du télescope h_T et la PSF du détecteur h_D : $h = h_A * h_T * h_D$. Ces deux dernières sont supposées bien connues et « statiques » comparativement à la PSF atmosphérique [5].

La PSF atmosphérique peut être écrite en fonction de la densité spectrale de puissance de la phase résiduelle d'OA. Dans le cas d'images longue pose, cette dernière est décrite par plusieurs paramètres, les deux paramètres majeurs (impactant le plus fortement la forme de la PSF) étant le paramètre de Fried r_0 (force de la turbulence) et la variance de phase σ^2 (qualité de correction de l'OA). Nous ne nous intéresserons qu'à ces deux paramètres dans cette communication.

3. APPLICATION ET PERSPECTIVES

La combinaison du modèle de PSF et de l'estimateur marginal a été testée sur des images d'astéroïdes simulées [5]. Nos travaux visent à évaluer l'apport de cette combinaison dans le cas d'images de satellite depuis le sol (simulées et expérimentales), dont les conditions diffèrent en plusieurs points : d'une part, il s'agit d'appliquer cette méthode à des images à plus courte pose qu'en astronomie, pour lesquelles le flux (donc la valeur du SNR) est plus faible. D'autre part, le temps de pose est loin d'une longue pose donc notre modèle de PSF est imparfait. Enfin, le niveau de correction de l'OA dans le cas de l'observation de satellite est faible, ce qui rend plus difficile la restauration des hautes fréquences.

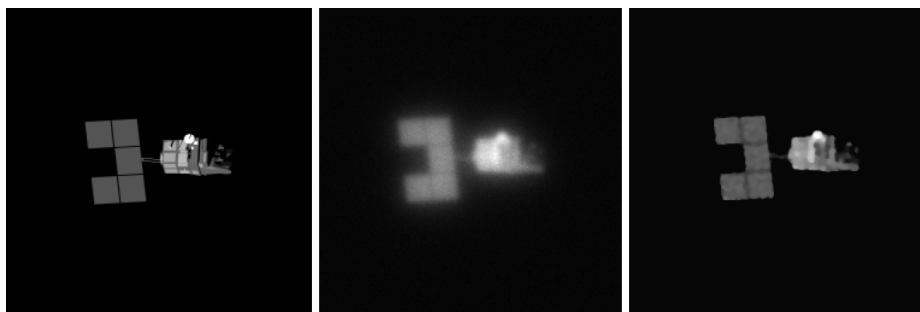


FIGURE 1 : Simulation de l'observation de satellite et restauration d'image. A gauche : objet vrai. Au centre : image (objet vrai convolué par la PSF et bruité). A droite : objet restauré avec les paramètres de PSF estimés, en utilisant l'estimation marginale non-supervisée (on estime les hyper-paramètres de la DSP objet ainsi que la DSP du bruit en même temps que les paramètres de la PSF).

Dans cet exemple, une contrainte de positivité sur l'objet est prise en compte dans la déconvolution. Nous étudions actuellement comment combiner les estimateurs marginal et joint afin de bénéficier de la non dégénérescence du marginal, tout en prenant en compte des a priori sur l'objet grâce au joint (notamment une contrainte de positivité sur l'objet) dans l'estimation des paramètres de PSF [3].

RÉFÉRENCES

- [1] L. Blanco and L. M. Mugnier, "Marginal blind deconvolution of adaptive optics retinal images," *Opt. Soc. Am.*, vol. 19, pp. 227–239, 2011.
- [2] C. Petit, L. M. Mugnier, V. Michau, J. Montri, and B. Fleury, "LEO satellite imaging with adaptive optics.," *Proceedings of the COAT 2019 conference*, 2019
- [3] C. Petit, L. M. Mugnier, A. Bonnefois, and al. "LEO satellite imaging with adaptive optics and marginalized blind deconvolution," *Proceedings of the 21st AMOS Conference*, 2020
- [4] R. J.-L. Fétick and al., "Physics-based model of the adaptive-optics-corrected point spread function," *A&A*, 2019.
- [5] R. J.-L. Fétick, L. M. Mugnier, T. Fusco and B. Neichel, "Blind deconvolution in astronomy with adaptive optics : the parametric marginal approach," *MNRAS*, 496, pp. 4209–4220, 2020.