



Apport de l'optique freeform pour l'imagerie multi bandes spectrales

Freeform mirror designs for aerospace multi spectral band imaging systems

Soutenance de thèse - DUVEAU Louis

Lundi 04 Juillet 2022 à 13h30

Salle F021B, Labo Hubert Curien, 42000 Saint Etienne (visioconf possible)

Devant le jury composé de :

Yvan SORTAIS	Professeur, Institut Optique	Rapporteur
Vincent NOURRIT	Maitre de conférence, IMT	Rapporteur
Sylvie PAOLACCI-RIERA	Responsable Innovation, Agence de l'innovation défense	Examinatrice
Marc FERRARI	Astronome, LAM	Examineur
Christophe BUISSET	Ingénieur de recherche, ESA	Examineur
Thierry LEPINE	Maitre de conférences, Institut Optique	Directeur de thèse
Guillaume DRUART	Directeur de recherche, ONERA	Co-directeur de thèse

Résumé :

Dans le cadre d'une démocratisation de l'accès à l'espace, ainsi que d'une augmentation de l'utilisation de boules optroniques pour la détection ou la navigation des aéronefs, et notamment des drones, la miniaturisation des instruments d'optique est un enjeu majeur. La thèse s'intéresse à l'apport des systèmes catoptriques décentrés utilisant des miroirs freeform pour obtenir ces fortes miniaturisations. Une surface est dite freeform si elle n'est pas à symétrie de révolution ni une sous partie d'une surface à symétrie de révolution. Ces surfaces prennent tout leur sens pour proposer des voies optiques très ouvertes, panchromatiques et donc compatibles avec des applications multi bandes spectrales dans le domaine de l'aérospatial.

La conception de systèmes à bases d'optiques freeform doit cependant relever un certain nombre de défis. La conception des systèmes optiques est basée sur l'optimisation des paramètres par la minimisation d'une fonction de mérite jouant le rôle de traduction numérique du cahier des charges du système. L'utilisation de surfaces freeform augmente considérablement le nombre de variables du problème et rend donc plus difficile cette optimisation. La fabrication de ces surfaces est également complexe du fait de leur absence de symétrie. Enfin, la métrologie de ces surfaces n'est généralement pas possible avec les méthodes et instruments de contrôle usuels. Cette thèse se concentre sur la mise en place d'une méthodologie d'optimisation avec le logiciel de conception optique ZEMAX de ces surfaces complexes intégrées dans un système catoptrique ainsi que sa mise en pratique par la réalisation d'un démonstrateur. J'ai dans un premier temps cherché à évaluer les paramètres ayant le plus d'influence sur le résultat de l'optimisation comme le choix de la base polynomiale décrivant la surface freeform, la façon d'échantillonner la pupille ou le nombre de rayons à tracer. Cette méthodologie a été appliquée à deux cas d'études. Le premier cas d'étude concerne un système à trois miroirs freeforms dans une géométrie classique appelée three mirror anastigmat (TMA). J'ai alors pu montrer comment cette technologie peut être employée pour concevoir des instruments multi bandes spectrales suffisamment compacts pour être embarqués dans des nanosatellites. Le système conçu en vue d'une réalisation prochaine a une longueur focale de 100mm et est ouvert à F/1,5. Une attention particulière a été portée sur la gestion de la lumière parasite et l'obtention de surfaces freeform réalisables et mesurables avec les moyens dont disposent les industriels. Le deuxième cas d'étude concerne une optique catoptrique grand champ et de grande ouverture dans une configuration compacte et originale appelé αZ dont la forme est particulièrement adaptée à une utilisation de type boule optronique. Le système a une longueur focale de 18mm et est ouvert à F/1,5. J'ai démontré qu'une telle disposition permet d'obtenir des systèmes optiques grands champs, très ouverts avec une bonne gestion de la lumière parasite. Ma démarche de conception m'a permis de proposer une architecture optomécanique permettant de positionner les miroirs sans réglage. Ce système a fait l'objet d'un dépôt de brevet et d'une réalisation qui a été caractérisée à la fois dans l'infrarouge thermique et dans le visible. Les bons résultats démontrent le potentiel des surfaces freeform pour la conception d'instruments multi bandes spectrales compacts. En effet, ces travaux montrent que l'utilisation de systèmes catoptriques freeform permet de regrouper les différentes voies optiques d'une charge utile afin de réduire l'encombrement et la masse de l'ensemble.

Mots clés : Infrarouge, Multispectral, Freeform, Nanosatellite, Optronique