

Co-conception d'un objectif chromatique pour l'extension de profondeur de champ - Logiciel de conception optique

10 Décembre 2024

Le compte-rendu est à rendre au plus tard une semaine après le TP aux adresses suivantes : `alice.fontbonne@onera.fr` et `marie-anne.burcklen@institutoptique.fr`

1 Introduction

1.1 Problématique

Dans le TP précédent, un imageur chromatique a été optimisé à l'aide d'une modélisation des PSF par de l'optique géométrique. Ce TP vise à utiliser un logiciel de conception optique (Zemax OpticStudio) afin d'avoir une modélisation plus fine de l'optique. L'enjeu est d'utiliser un critère de co-conception avec ce logiciel, alors qu'il ne prend nativement pas en compte un potentiel traitement numérique de l'image.

On rappelle que le critère de co-conception proposé pour l'extension de profondeur de champ (EDOF) correspond à maximiser la plage de profondeur dans laquelle au moins l'un des canaux est net. Ceci revient à maximiser l'union des profondeurs de champ (DoF) des trois canaux RVB d'une caméra chromatique, à l'intérieur d'une plage de profondeur d'intérêt L :

$$GDOF = L \cap (\cup_{i \in R,V,B} DoF_i). \quad (1)$$

GDOF est la profondeur de champ généralisée. La figure 1 illustre ce concept.

1.2 Objectifs du TP

Dans ce TP, comme dans le TP précédent, l'objectif chromatique est constitué de l'association d'un doublet chromatique, appelé *add-on* dans la suite, et d'une optique conventionnelle considérée comme idéale, comme représenté à la figure 2. On s'intéressera ici à l'optimisation d'un paramètre à savoir le rayon de courbure de l'add-on noté R uniquement pour un **un objet sur l'axe**.

Vous utiliserez une modélisation sous Zemax de cet imageur et la fonctionnalité de dialogue avec le logiciel MATLAB, afin d'optimiser le rayon de courbure du doublet chromatique ainsi que la mise au point.

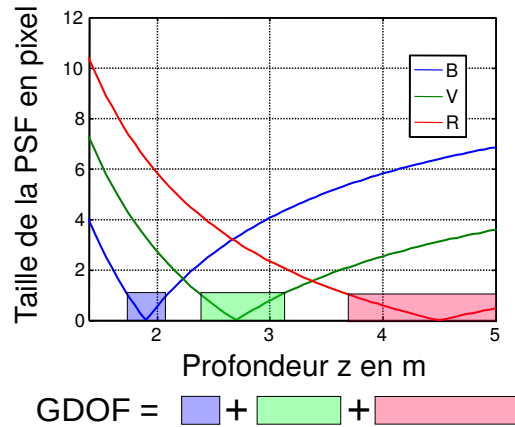


Figure 1: Illustration de la notion de profondeur de champ généralisée d'un imageur chromatique.

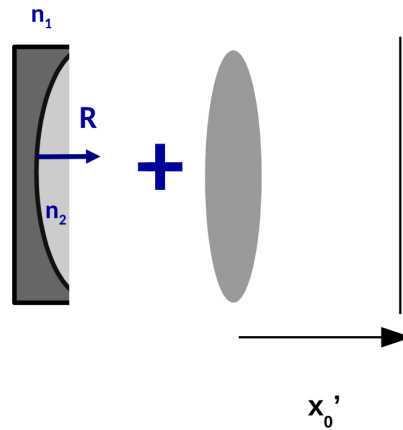


Figure 2: Modélisation géométrique de l'add-on associé à une optique conventionnelle.

2 Co-conception à l'aide d'un logiciel de conception optique : ZOS-API

2.1 Modélisation de l'optique

- Ouvrir le fichier *add-on-zemax.zmx*. Il comprend une modélisation du doublet chromatique ajouté devant une optique conventionnelle. Observez à l'aide des outils d'analyse de Zemax les FTM (Analyse > MTF > FFT MTF) correspondant aux trois canaux R, V et B pour un point source placé à différentes distances. **Observez-vous bien le chromatisme ?** Récupérer quelques figures fournies par Zemax pour l'illustrer.
- Notez la distance x'_0 . **Quelle est la valeur RMS du spot diagram sur l'axe ?** Quelles

sont les valeurs RMS des spot diagram pour les trois canaux R, V et B ?

- Effectuez un **Quick Focus** (Optimize > Manual Adjustment > Quick Focus, option "Spot Size Radial" sans "Use centroid"). Commentez la distance x_0 (distance de la surface 4). Quelle est la valeur **RMS du spot diagram** sur l'axe ? Quelles sont les valeurs RMS des spot diagram pour les trois canaux R, V et B ?
- La fonction *get_RMS_SpotSize.m* permet de dialoguer directement avec une nouvelle instance de zemax depuis matlab pour extraire divers résultats d'analyse du système optique, en l'occurrence ici le **RMS Spot Size**. Modifiez cette fonction pour récupérer cette grandeur pour les trois canaux R,V et B, pour le système avec une mise au point minimisant la taille RMS du spot diagram (Quick Focus). Obtenez les résultats pour un rayon de courbure correspondant à celui utilisé dans le fichier zemax.
- Modifier la fonction existante ou écrire une nouvelle fonction qui permet de déplacer le point objet sur l'axe z et de récupérer dans chaque cas les valeurs de **RMS Spot Size** des trois canaux (toujours avec la même mise au point). Tracez les variations de cette grandeur pour les trois canaux en fonction de la position de l'objet.

2.2 Critère de performance

- En réutilisant la méthode du TP précédent, **montrer que le critère de profondeur de champ généralisée peut se traduire par un critère sur les RMS spot Size** des trois canaux qui seront comparés à la taille du pixel. **Vous prendrez une taille de pixel de 5 μm , et une distance objet variant entre 1 m et 5 m.**
- **En déduire la valeur de la profondeur de champ généralisée pour le système proposé d'après cette reformulation.**

2.3 Étude "Grid Search"

Une première approche quand on a peu de paramètres à optimiser consiste à balayer l'ensemble des valeurs des paramètres et de calculer pour chaque cas le critère de performance.

- **Écrire une fonction permettant de faire varier le rayon de courbure du doublet chromatique et calculer dans chaque cas la profondeur de champ généralisée.** Vous prêterez attention à refaire un Quick Focus à chaque nouveau système optique (i.e. nouvelle valeur du rayon de courbure).
- **Tracer la variation de la profondeur de champ généralisée en fonction du rayon de courbure.**
- **Quelle est la valeur optimale du rayon de courbure que vous obtenez?**

- Écrire une fonction permettant de trouver également la **meilleure position du détecteur, en plus du rayon du doublet** et tracer le paysage d'optimisation pour ces deux paramètres, autrement dit, la variation du critère de performance en 2D en fonction des deux paramètres à optimiser.
- Quel jeu de paramètres optimaux obtenez-vous ?

2.4 Optimisation

Balayer l'ensemble des valeurs des variables peut s'avérer coûteux en temps de calcul, et difficile à représenter lorsqu'il y a plus de deux variables. Dans ce cas, il est préférable d'utiliser un optimiseur, à l'instar de "fminsearch" dans Matlab.

- **Écrire une fonction d'optimisation utilisant fminsearch et permettant de trouver le meilleur rayon de courbure et la meilleure position du détecteur.** Cela correspond-il au résultat trouvé précédemment ? Quel est l'influence du point de départ d'optimisation ?
- **Ajouter l'épaisseur du deuxième élément du doublet comme variable à optimiser. Quel est le résultat d'optimisation ? Donnez la taille RMS des spot diagram.**

3 Critère de substitution dans un logiciel de conception optique

3.1 Analyse fréquentielle

Le traitement numérique envisagé avec le doublet chromatique est un transfert de hautes fréquences. Cela signifie qu'il est impératif de réaliser une analyse fréquentielle du système pour vérifier sa compatibilité avec le traitement.

- **Entrer dans Zemax les valeurs trouvées lors de l'optimisation.** Quelles sont les tailles RMS des spot diagram aux trois longueurs d'onde R, V et B pour différentes profondeurs ?
- **Observer également les FTM aux trois longueurs d'onde pour différentes profondeurs.** Ce résultat est-il cohérent avec votre analyse sur les spot diagram ? Comparez également ce résultat aux premières FTM obtenues dans la section 2.1.
- **En vous basant uniquement sur votre observation des FTM, quelle serait une taille de pixel adéquat pour le problème ?** Argumentez votre réponse.

3.2 Fonction de mérite et optimisation

Idéalement, en plus d'une analyse fréquentielle, il faudrait réaliser une optimisation basée sur un critère en fréquences. Comme il s'agit d'un critère purement optique, il est possible d'envisager plusieurs approches :

- Implémenter ce critère via la ZOS-API;
- Implémenter ce critère au sein même de Zemax, en tant que fonction de mérite.

Cette section se concentre sur la seconde option.

- Ouvrir l'aide PDF de Zemax. Quel(s) opérande(s) pourrai(en)t avoir l'impact souhaité sur l'optimisation du doublet chromatique ? Quelles sont les opérations à effectuer pour construire votre fonction de mérite ?
- Créer trois configurations distinctes qui vous serviront pour l'optimisation (Optimize > MC Editor > Operand THIC).
- Observer les FTM pour les différentes configurations et les trois canaux. A quelles fréquences spatiales les FTM pourraient-elles être calculées pendant l'optimisation ? Quelle serait la valeur cible ?
- Écrire la fonction de mérite et lancer l'optimisation en veillant à fixer la focale et le nombre d'ouverture. Quelles sont les valeurs obtenues pour les trois variables ?
- Analyser les spot diagram et les FTM. Quelle est votre conclusion par rapport aux résultats obtenus précédemment ?

4 Bonus

Si le temps le permet, deux voies s'offrent à vous :

- Implémenter la dernière fonction de mérite (avec le critère purement optique) via la ZOS-API. Les modifications sur la fonction de mérite sont alors plus simples à réaliser. Observez l'impact de l'utilisation d'un plus grand nombre de fréquences spatiales sur l'optimisation.
- Réaliser la section 2 et/ou la section 3 en considérant l'ensemble des champs du système optique. Cela modifie-t-il vos conclusions ?