ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Apport d'une illumination structurée pour l'imagerie laser 3D à travers des milieux fortement diffusants

Référence : **PHY-DOTA-2024-13**

Début de la thèse : sept 2024	**Date limite de candidature :** juin 2024

Mots clés :

Imagerie laser 3D, milieu diffusant, illumination structurée, comptage de photons

Profil et compétences recherchées :

Formation : Master 2, Ecole d'Ingénieur

Ingénieur physicien ou étudiant(e) ayant un master en physique / télédétection ; intérêt pour l'imagerie laser, la modélisation du rayonnement et la mesure radiométrique

Spécificités souhaitées : Optique, Electromagnétisme, Traitement du signal et d'imagerie.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

Contexte :

Le contexte général de la thèse est l'imagerie laser 3D flash à courte portée (de 5 à 50 m) à travers des milieux fortement diffusants (brouillard, fumée, eau turbide). Un imageur laser 3D flash consiste en un capteur matriciel (généralement de type SPAD « Single Photon Avalanche Diode » pour les applications visibles) synchronisé avec un laser impulsionnel. Chaque pixel étant un télémètre indépendant, il est possible de détecter un objet caché dans un milieu diffusant et de le localiser en 3D. Les domaines d'application sont vastes allant des scénarios atmosphériques (visionique à travers le brouillard ou la fumée) aux applications sous-marines (exploration et cartographie des fonds marins ou détection d'objets immergés). Un des apports majeurs de cette technologie est de pouvoir ouvrir une porte électronique en distance autour de la scène d'intérêt. Il est alors possible de filtrer la diffusion parasite du milieu ayant lieu avant l'ouverture de la porte.

Problématique :

Une des difficultés majeures rencontrées dans la reconstruction 3D de la scène est la détérioration de l'information malgré le filtrage temporel de cette diffusion parasite. Une partie non négligeable des photons est effectivement diffusée et faiblement déviée sur le trajet retour de la cible vers le détecteur. De tels photons sont alors conjugués sur des pixels différents du pixel observant la cible initialement, tout en conservant le retard correspondant à la distance de la cible d'intérêt. On observe alors un brouillage de l'image qu'aucun critère/traitement temporel ne peut a priori corriger. Cette perte de résolution est d'autant plus dramatique lorsque la diffusion est fortement piquée vers l'avant. De tels phénomènes se produisent lorsque la taille des particules diffusantes est relativement grande (> quelques µm) ce qui est le cas des brouillards, nuages et de la plupart des hydrosols présents dans les milieux aquatiques (eaux océaniques, côtières). Cette problématique est souvent désignée sous l'appellation de « photons serpentiles » et illustre des trajectoires faites de multiples diffusions vers l'avant.

Objectif :

L'objectif principal de la thèse est d'étudier l'apport d'une illumination structurée spatialement afin d'améliorer la résolution de l'information 3D obtenue après un premier filtrage temporel. Une illumination structurée spatialement permet de filtrer la diffusion parasite car la diffusion volumique réduit considérablement la modulation initiale, alors que la diffusion de la surface cible d'intérêt la préserve. Ainsi, une telle modulation spatiale est fréquemment utilisée pour filtrer la diffusion parasite dans le cas d'une illumination continue. Pourtant, l'étude de l'impact d'une modulation spatiale en complément du filtrage temporel dans le cadre de l'imagerie laser 3D n'a été que très peu explorée. Un filtrage spatial additionnel serait par conséquent potentiellement efficace. La modulation spatiale permet par ailleurs d'adresser un domaine fréquentiel transversal (période centimétrique ou inférieure) plus élevé que celui encodé longitudinalement par la durée de l'impulsion laser (profondeur décimétrique). Dans le cadre de cette thèse, il s'agira de déterminer dans quelle mesure l'usage simultané d'un filtrage temporel et d'une modulation spatiale de l'illumination permet d'adresser la problématique des photons serpentiles.

Démarche :

Pour répondre à l'objectif, la thèse s'appuie sur des acquis à l'ONERA. L'équipe d'accueil a développé un prototype imageur laser 3D ainsi qu'un dispositif permettant de structurer l'illumination laser. Un tel système permet alors l'usage d'un filtrage temporel avec ou sans la modulation spatiale de l'illumination. La chaîne de modélisation associée a déjà été développée dans le cas d'une illumination non structurée, à savoir un faisceau laser simplement divergent. L'équipe possède par ailleurs une chambre climatique permettant de générer des milieux diffusants contrôlés (fumée, brouillard). Les expériences seront menées principalement à l'aide de cette installation. Une campagne d'acquisition d'opportunité en bassin à turbidité contrôlé ou en milieu aquatique sera également envisageable.

Après avoir pris en main les différents outils expérimentaux et numériques, le candidat devra faire évoluer l'outil de modélisation afin d'implémenter une illumination structurée. Dans le même temps, l'outil de structuration (Digital Micro-mirror Device - DMD) sera caractérisé et aligné. Un DMD est une matrice de micro-miroirs permettant d'envoyer ou non le faisceau laser sur la scène d'intérêt. Le nombre de pixels du DMD étant largement supérieur à celui de l'imageur 3D, la registration des pixels du DMD sur ceux de l'imageur est à réaliser. La robustesse de cette registration par rapport à la distance de travail sera également caractérisée.

Il s'agira ensuite d'obtenir des nuages de points 3D d'une scène canonique d'intérêt avec et sans modulation de l'illumination aussi expérimentalement que numériquement. La modulation sera tout d'abord choisie plus large que la taille des pixels (éclairage d'une ligne de pixel sur deux par exemple). Les nuages de points obtenus pour plusieurs éclairages complémentaires seront fusionnés et comparés à un éclairage homogène. Des modèles microphysiques simplifiés permettant de prévoir la fréquence de modulation pour un filtrage optimale de la diffusion parasite en fonction de l'asymétrie et de l'extinction seront mis au point. L'impact de la fréquence de modulation sur le filtrage des photons serpentiles sera analysé.

La suite de l'étude visera à définir un éclairage avec une fréquence de modulation supérieure à la fréquence spatiale de l'imageur, afin d'obtenir une résolution sub-pixel. On parlera indistinctement de micro-scan ou super résolution. Il sera envisagé d'utiliser des bases d'illumination optimale pour minimiser le nombre de mesures et/ou maximiser l'énergie par impulsion. Pour cela, le candidat pourra s'appuyer sur le formalisme du Compressive Sensing largement utilisé dans l'équipe d'accueil.

Enfin, selon l'avancée des travaux de thèse, la structuration de l'illumination pourra être encore enrichie (modulation temporelle intra-pulse par exemple), et/ou d'autres technologies de capteurs matriciels étudiées (matrices Si-PM par exemple).

Collaborations envisagées :

Laboratoire Lagrange, Sorbonne Université et Observatoire Côte d'Azur

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :

Département : Département Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : Thibault Dartigalongue

Tél. : 0562252622 Email : Thibault.Dartigalongue@onera.fr

Directeur de thèse :

Nom : Professeur Malik Chami

Laboratoire : Lagrange, Observatoire Côte d'Azur de Nice, Sorbonne Université

Email : malik.chami@upmc.fr

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