

Titre de la thèse/Thesis title : Etude d'un capteur polarimétrique pour la segmentation de scènes complexes et la reconstruction 3D partielle

Laboratoire d'accueil / Host Laboratory : ImViA

Spécialité du doctorat préparé/Speciality : Instrumentation et informatique de l'image

Mots-clefs / Keywords : imagerie, instrumentation, polarisation

Descriptif détaillé de la thèse / Job description

Le contexte applicatif de cette thèse sera centré sur la numérisation d'objets dont la surface est complexe i.e. composée de matériaux potentiellement différents avec des caractéristiques de surfaces diffuses et/ou spéculaires. Il s'agira de fournir des données 2D et 3D et des mesures de paramètres physique intrinsèques (indice de réfraction complexe).

L'aspect réfléchissant d'une partie de ces surfaces ouvre la possibilité d'utiliser des dispositifs d'imagerie non conventionnelles comme une des modalités de mesure. Ainsi, ces dernières années, le développement de techniques d'imagerie non conventionnelles, au sein de l'équipe VIBOT du Creusot, et en particulier d'imagerie polarimétrique a donné lieu à des applications dans le domaine de la numérisation 3D, soit de manière directe par la technique de "shape from polarization" [1] (thèses de M. Morel et Mme. Rantoson par exemple) soit en fournissant une mesure complémentaire couplée avec une autre méthode de numérisation [2] (Thèse de Mlle Drouet). Ce travail trouve une continuité dans la thèse de Mme Zanzouri portant sur la numérisation par caméra polarimétrique de bain de soudures [3], exemple de surface complexe, car fortement réfléchissante et dont les propriétés optiques peuvent varier au cours du temps. Une méthode de segmentation basée sur les paramètres de Stokes a montré la possibilité de la détecter de potentiels oxydes [4]. De plus les méthodologies liées à l'imagerie multispectrale développées au sein d'ImViA sont complémentaires à celles développées pour l'imagerie polarimétrique notamment sur les modèles de la réflectance qui peuvent être complétés par l'information polarimétrique de la lumière.

L'objet de cette thèse sera donc dans un premier temps d'étudier la mise au point d'un capteur de polarisation utilisant une architecture à division du plan focal basée sur une caméra couleur (récent capteurs Sony™). Une méthode de dématricage doit être utilisée pour reconstituer l'estimation de la polarisation. Le capteur nécessitera une étape de d'étalonnage pour la précision de mesure des paramètres de polarisation. Nous chercherons à optimiser cela sur le spectre de la caméra. Le calibrage géométrique sera également mené. Nous envisageons d'explorer l'utilisation de méthodes d'apprentissage profond lors de cette étape. De telles caméra n'estimant que les paramètres de polarisation linéaires, une étude sera menée pour obtenir un capteur de Stokes complet.

Dans un second temps le dispositif sera testé sur des scènes réelles afin de les segmenter à l'aide de méthodes d'apprentissage profond [8].

La thèse pourra se dérouler en trois phases principales:

- Phase 1: Réaliser une étude bibliographique des méthodes de numérisation tant 2D que 3D pour des objets du patrimoine et des méthodes de traitements appropriées pour extraire les informations recherchées dans ce domaine. Il faudra également compléter cette étude par une première campagne d'acquisition d'images à l'aide d'une de l'une des caméra polarimétrique du laboratoire ImViA, comme l'imageur de Stokes SALSA™. Ces mesures seront alors faites à la longueur d'onde de calibrage de la caméra, 532 nm. Les images de Stokes ainsi obtenues permettront d'étudier le potentiel apport d'un éclairage polarisé additionnel orienté vers l'objet d'étude.

Nous envisageons d'effectuer ces premières prises de vues sur des objets tests de différente transparence et états de surface en complément de l'utilisation de récentes bases de données d'images de polarisation.

- Phase 2: A partir des mesures précédentes, une méthodologie de traitement sera étudiée. La réalisation du prototype de mesure polarimétrique basé sur un capteur à division de plan focal sera également conduite. Pour son étalonnage les techniques d'apprentissage profond seront étudiées afin de trouver une configuration optimale du capteur pour la mesure de Stokes.

La mesure 3D étant envisagée, il faudra étudier les algorithmes nécessaires. Une première possibilité est l'adaptation des méthodes de projection de franges [5] aux contraintes de la mesure des objets tests choisis. Une seconde possibilité est l'utilisation des méthodes de mesures multivues couplée à un imageur polarimétrique [6,7]. L'apport des méthodologies d'apprentissage [8] pour la mise en correspondance ou la sélection d'informations pertinentes avec une orientation selon la perception humaine dans le but d'un meilleur rendu numérique des objets étudiés sera également envisagé.

- Phase 3: une application en robotique de manipulation peut être envisagée soit dans le contexte industriel en complétant l'étude des surfaces métalliques, soit dans le cadre de la robotique médicale [9] afin de segmenter la scène observée pour identifier ce qui compose la scène: tissus biologiques et instruments chirurgicaux. La mesure des paramètres de polarisation permettant d'obtenir un champ de normales, l'estimation de l'orientation des outils de chirurgie peut en être extraite afin de guider le mouvement d'un robot. Ces mêmes données peuvent aussi servir à étudier les éventuelles déformations de la surface observée.

Detailed description of the thesis / Job description

The application context of this thesis will be centered on the digitization of objects whose surface is complex i.e. composed of potentially different materials with diffuse and/or specular surface characteristics. This will provide 2D and 3D data and measurements of intrinsic physical parameters (complex refractive index).

The reflective aspect of part of these surfaces opens up the possibility of using unconventional imaging devices as one of the measurement modalities. Thus, in recent years, the development of unconventional imaging techniques, within the VIBOT team at Le Creusot, and in particular polarimetric imaging, has given rise to applications in the field of 3D digitization, either directly by the technique of "shape from polarization" [1] (theses of M. Morel and Mrs. Rantson for example) or by providing a complementary measurement coupled with another method of digitization [2] (Thesis of Ms. Drouet). This work finds continuity in Ms. Zanzouri's thesis on the digitization by polarimetric camera of weld pools [3], an example of complex surface, as it is highly reflective and whose optical properties can vary over time. A segmentation method based on Stokes parameters has shown the possibility of detecting potential oxides [4].

In addition, the methodologies related to multispectral imaging developed within ImViA are complementary to those developed for polarimetric imaging, in particular on reflectance models which can be supplemented by polarimetric information on light.

The goal of this thesis will therefore be initially to study the development of a polarization sensor using a focal plane splitting architecture based on a color camera (recent Sony™ sensors). A demosaicing method must be used to reconstruct the bias estimate. The sensor will require a calibration step for the measurement accuracy of the polarization parameters. We will seek to optimize this over the camera spectrum. Geometric calibration will also be conducted. We plan to explore the use of deep learning methods during this stage. Since such cameras only estimate linear polarization parameters, a study will be carried out to obtain a complete Stokes sensor.

In a second step, the device will be tested on real scenes in order to segment them using deep learning methods [8].

The thesis can take place in three main steps:

- Step 1: Conduct a bibliographic study of both 2D and 3D digitization methods for heritage objects and appropriate processing methods to extract the information sought in this field. It will also be necessary to complete this study with a first image acquisition campaign using one of the ImViA laboratory's polarimetric cameras, such as the Stokes SALSA™ imager. These measurements will then be made at the camera calibration wavelength, 532 nm. The Stokes images thus obtained will make it possible to study the potential contribution of additional polarized lighting oriented towards the object of study.

We plan to take these first shots on test objects of different transparency and surface states in addition to the use of recent polarization image databases.

- Step 2: Based on the previous measurements, a treatment methodology will be studied. The realization of the polarimetric measurement prototype based on a focal plane division sensor will also be carried out. For its calibration, deep learning techniques will be studied in order to find an optimal configuration of the sensor for the Stokes measurement.

The 3D measurement being considered, it will be necessary to study the necessary algorithms. A first possibility is the adaptation of the fringe projection methods [5] to the constraints of the measurement of the chosen test objects. A second possibility is the use of multi-view measurement methods coupled with a polarimetric imager [6,7]. The contribution of learning methodologies [8] for matching or selecting relevant information with an orientation according to human perception with the aim of better digital rendering of the objects studied will also be considered.

- Step 3: an application in manipulative robotics can be considered either in the industrial context by completing the study of metallic surfaces or in the context of medical robotics [9] in order to segment the observed scene to identify what makes up the scene: biological tissues and surgical instruments. The measurement of the polarization parameters making it possible to obtain a field of normal vectors, the estimation of the orientation of the surgical tools can be extracted from it in order to guide the movement of a robot. The same data can also be used to study any deformations of the observed surface.

Références bibliographiques / Bibliography

1. "Shape from polarization: a method for solving zenithal angle ambiguity", Christophe STOLZ, Mathias FERRATON, Fabrice MERIAUDEAU, Optics Letters 37, 20(2012) 4218, 2012
2. "3D reconstruction of external and internal surfaces of transparent objects from polarization state of highlights", Florence DROUET, Christophe STOLZ, Olivier LALIGANT, Olivier AUBRETON, Optics Letters 39, 10, 2955-2958, 2014
3. "Characterizing weld pool surfaces from polarization state of thermal emissions", Coniglio NICOLAS, Mathieu ALEXANDRE, Olivier AUBRETON, Christophe STOLZ, Optics Letters 38, 12(2013) 2086-2088, 2013
4. "Polarimetric imaging method for surface quality evaluation of a liquid metal pool obtained during welding", Abir Zanzouri Kechiche, Olivier Aubreton, Alexandre Mathieu, Antoine Mannucci, Christophe Stolz, *Optical Engineering*, SPIE, 2020, 59 (10)
5. "Multi-polarization fringe projection imaging for high dynamic range objects", Basel Salahieh, Zhenyue Chen, Jeffrey J. Rodriguez, and Rongguang Liang, Optics Express, 22(8), pp 10064-1007
6. "Polarimetric Multi-View Stereo", Zhaopeng Cui, Jinwei Gu, Boxin Shi, Ping Tan, Jan Kautz, CVPR, 2017
7. "Single-shot layered reflectance separation using a polarized light field camera", Jaewon Kim, Shahram Izadi, Abhijeet Ghosh, Eurographics Symposim on Rendering (EGSR – EI&I) 2016
8. "Outdoor Scenes Pixel-wise Semantic Segmentation using Polarimetry and Fully Convolutional Network", M Blanchon, O Morel, Y Zhang, R Seulin, N Crombez, VISIGRAPP (5: VISAPP), 2019

9. Mathieu Miroir, Yann Nguyen, Jérôme Szewczyk, Stéphane Mazalaigue, Evelyne Ferrary, et al.. RobOtol: from design to evaluation of a robot for middle ear surgery. Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference on, 2010, Unknown, Unknown Region. pp.850--856.

Profil demandé / Applicant profile

Master 2 ou ingénieur domaine de l'instrumentation et du traitement d'images; des connaissances en automatique/robotique commandes seraient appréciées.

Master 2 or engineer in the field of instrumentation and image processing; knowledge of automation/robotics would be appreciated

Preferred selection criteria:

-
-

Personal characteristics:

-
-
-
-

Financement : MESRI Etablissement

Dossier à envoyer pour le **15 mai 2022**

Début du contrat : 1^{er} Octobre 2022

Salaire mensuel brut : 1975€

Direction de la thèse:/ Thesis Supervisor

Christophe Stolz / christophe.stolz@u-bourgogne.fr

Encadrement de la thèse : co-directeur(s) et co-encadrant(s)

Applicants are invited to submit their application to the PhD supervisors.

Application must contain the following documents:

- CV
- Cover letter
- At least 1 reference letter