



10^{EMES} JOURNEES IMAGERIE OPTIQUE NON-CONVENTIONNELLE

GDR ISIS – GDR Ondes

**Réunion parrainée par la Société Française d'Optique,
Club « Physique et Imagerie Optique »**

11 et 12 mars 2015, ESPCI, Paris.

Comité d'organisation

Corinne Fournier

Laboratoire Hubert-Curien

corinne.fournier@univ-st-etienne.fr,

Tel.: 04 69 66 32 61

Julien Fade

Institut de Physique de Rennes

julien.fade@univ-rennes1.fr

Tel.: 02 23 23 52 15

Matthieu Boffety

Institut d'Optique

matthieu.boffety@institutoptique.fr,

Tel.: 01 64 53 32 98

Comité de programme

- **Brasselet Sophie**, Institut Fresnel
- **Champagnat Frédéric**, Onera DTIM
- **Devlaminck Vincent**, LAGIS
- **Fort Emmanuel**, ESPCI
- **Goudail François**, Institut d'Optique
- **Kervrann Charles**, INRIA
- **Lantz Éric**, Institut Femto-ST
- **Marzani Franck**, Le2i
- **Réfrégier Philippe**, Institut Fresnel
- **Rousseau David**, CREATIS
- **Simon Bertrand**, Laboratoire MIPS
- **Thiebaut Éric**, CRAL
- **Tourneret Jean-Yves**, IRIT

Table des matières

1	Objectifs et déroulement.....	3
1.1	Objectifs.....	3
1.2	Bilan chiffré des JIONC 2015	3
2	Programme des journées.....	4
3	Bilan - Conclusions	9
4	Liste des participants	10
5	Résumés des présentations	13

1 Objectifs et déroulement

1.1 Objectifs

Plus que jamais, le domaine de l'imagerie optique se situe au carrefour de plusieurs disciplines, tant du point de vue de la conception des systèmes (capteurs, conception optique, traitement du signal et des images, modélisation physique) qu'en termes d'applications (biomédical, télédétection, astronomie, etc.). Les Journées sur « l'Imagerie Optique Non-Conventionnelle » (JIONC) visent à réunir les acteurs industriels et académiques de ces différents domaines, afin d'échanger sur les plus récents développements, tant sur les aspects technologiques, optiques que des traitements, et d'évaluer leurs applications potentielles.

Organisées dans la continuité des éditions précédentes, et avec la même équipe que l'édition 2014, les JIONC 2015 marquent les 10 ans de cette manifestation qui a su réunir depuis 2005 les communautés travaillant à l'interface entre le domaine de l'imagerie et du traitement de l'information.

Pour marquer cette édition anniversaire, nous avons accueilli quatre présentations invitées qui ont reflété la diversité des thématiques abordées dans ces journées depuis une décennie :

- **Jérôme Vaillant** (CEA-Leti, Grenoble) : « 15 ans de développement de l'imagerie CMOS , du téléphone portable à l'imagerie non conventionnelle ».
- **Frédéric Galland** (Institut Fresnel, Marseille) : « 10 années de progrès en segmentation d'image par contour actif polygonal et minimisation de la complexité stochastique ».
- **Éric Lacot** (Université Joseph Fourier, Grenoble) : « De l'imagerie laser par réinjection optique à la microscopie plénoptique, via la synthèse d'ouverture optique ».
- **François Goudail** (Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique, Palaiseau) : « Progrès récents en imagerie polarimétrique ».

Ces journées étaient communes aux GDR ISIS et Ondes. Elles étaient organisées dans le cadre du groupe thématique commun aux GDR ISIS et Ondes « Extraction de l'information et physique des images ». Elles étaient parrainées par la Société Française d'Optique (SFO), à travers son club « Physique et imagerie optique ».

Un appel à communication a été lancé en décembre 2014, sollicitant des propositions de communications de natures théorique et applicative provenant des milieux universitaires et industriels, sur les thèmes suivants (liste non exhaustive) :

- **Modalités d'imagerie non conventionnelles** : imagerie hyperspectrale, polarimétrique, holographique, interférométrique, multimodale, thermique, téraHertz, radar, optique de l'extrême (X-UV)...
- **Conception d'imageurs innovants** : compressive sensing, imagerie 3D/plénoptique, haute résolution, co-conception, ...
- **Méthodes de traitement en imagerie non conventionnelle** : débruitage, déconvolution, segmentation, détection/classification, séparation de sources, ...
- **Approches « problèmes inverses » pour l'imagerie**
- **Imagerie biomédicale** : microscopie, OCT, imagerie multi-photonique, imagerie dans les milieux diffusants, ...
- **Applications de ces systèmes d'imagerie** : télédétection, contrôle industriel, défense, astronomie, sciences du vivant, ...

1.2 Bilan chiffré des JIONC 2015

La réunion s'est déroulée sur deux jours, à l'Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles (ESPCI). Elle a donné lieu à 4 exposés invités, 21 contributions orales, 15 posters et réuni 130 participants.

2 Programme des journées

Mercredi 11 mars

10H : ACCUEIL - INTRODUCTION

10H00-10H50 : CONFÉRENCE INVITÉE

« 15 ans de développement de l'imagerie CMOS, du téléphone portable à l'imagerie non conventionnelle »

Jérôme Vaillant

CEA-LETI, Grenoble

10H50-11H30 : « COMPRESSED SENSING » EN IMAGERIE – Modérateur : C. Kervrann

« Acquisition compressive : nouvelles perspectives pour la conception d'imageurs CMOS et applications innovantes »

William Guicquero^{1,2}, Antoine Dupret¹, Pierre Vanderghyest²

(1) CEA-LETI, MINATEC Campus, F-38054 Grenoble, France

(2) EPFL, Swiss Institute of Technology, Lausanne, Suisse

« Single-pixel camera : stratégie d'acquisition non linéaire basée sur les ondelettes »

Florian Rousset, Nicolas Ducros, Françoise Peyrin

CREATIS, CNRS UMR5220, INSERM U1044, Université de Lyon, INSA Lyon, Villeurbanne

11H30-12H10 : INSTRUMENTATION EN IMAGERIE MULTI/HYPER-SPECTRALE – Modérateur : F. Marzani

« Conception and design of a compact birefringent imaging spectrometer in the mid-infrared »

Armande Pola Fossi¹, Yann Ferrec¹, Nicolas Guerneau¹, Nicolas Roux², Oscar D'Almeida², Hervé Sauer³

(1) ONERA, Chemin de la Hunière, 91 123 Palaiseau

(2) SAGEM DS, 23 avenue Carnot, 91 300 Massy

(3) Laboratoire Charles Fabry, 2 avenue Augustin Fresnel, 91 127 Palaiseau

« Adaptive, hyperspectral imager: design, modeling and control »

Scot McGregor^{1,2}, Antoine Monmayrant^{1,2}, Simon Lacroix^{1,2}

(1) CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, F-31400 Toulouse

(2) Université de Toulouse, LAAS, F-31400 Toulouse

12H10-14H00 : DÉJEUNER

14H00-14H50 : CONFÉRENCE INVITÉE

« Imagerie polarimétrique à contraste optimal »

François Goudail

Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique, CNRS, Palaiseau

14H50-15H30 : IMAGERIES POLARIMÉTRIQUES (1) – Modérateur : V. Devlaminck

« Polarimétrie de Mueller en reflexion par codage spectral de la polarisation en utilisant une swept-source à 100 kHz »

Aymeric Le Gratiet, Sylvain Rivet, Matthieu Dubreuil, Yann Le Grand

Laboratoire de Spectrométrie et Optique Laser, Université de Bretagne Occidentale, Brest

« Imagerie polarimétrique d'échantillons dichroïques par brisure d'orthogonalité d'états de polarisation circulaires »

Noé Ortega-Quijano, Julien Fade, Emmanuel Schaub, François Parnet, Mehdi Alouini

Institut de Physique de Rennes, Université de Rennes 1, CNRS, Rennes

15H30-15H50 -- PAUSE CAFE : Salle Champetier, ESPCI

15H50-17H10 : IMAGERIES POLARIMETRIQUES (2) – Modérateur : C. Stolz

« **Analyse par Projections Polarimétriques Complètes : étude de speckle polarisé** »

Jan Dupont, Xavier Orlik
ONERA, Toulouse

« **Auto-étalonnage et stabilité des polarimètres imageurs** »

Jihad Zallat, Christian Heinrich, Marc Karnoukian, Alex Lallement, Marc Torzynski, Jean Dellinger
Laboratoire ICube, Illkirch

« **Statistiques de polarisation en milieu désordonné : prédiction, modélisation et instrumentation** »

Myriam Zerrad, Ayman Ghabbach, Gabriel Soriano, Claude Amra
Institut Fresnel UMR 7249, Aix Marseille Université, CNRS, École Centrale Marseille

« **Adaptive polarimetric image representation for contrast enhancement of a polarized beacon embedded in fog** »

Swapnesh Panigrahi, Julien Fade, Mehdi Alouini
Institut de Physique de Rennes, Université de Rennes 1, CNRS, Rennes

17H10-19H00 -- SESSION POSTERS : Salle Champetier, ESPCI

Cf. Liste des posters en fin de programme

Jeudi 12 mars

9h00-9h50 : CONFÉRENCE INVITÉE

« **De l'imagerie laser par réinjection optique à la microscopie plénoptique, via la synthèse d'ouverture optique** »

Éric Lacot
Laboratoire Interdisciplinaire de Physique (LiPhy), UMR 5588, Université Joseph Fourier, CNRS, Grenoble

9H50-10H30 : SUPER-RESOLUTION OPTIQUE ET NUMERIQUE – Modérateur : E. Fort

« **Super-résolution en microscopie holographique numérique pour améliorer la reconstruction tridimensionnelle d'hologrammes** »

Nicolas Verrier, Corinne Fournier
Laboratoire Hubert Curien, UMR-5516, Université de Saint-Etienne

« **Blind fluorescence structured illumination microscopy: a new reconstruction strategy** »

Simon Labouesse¹, Marc Allain¹, Jérôme Idier², Sebastien Bourguignon², Penghuan Liu², Anne Sentenac¹
(1) *Institut Fresnel UMR 7249, Aix-Marseille Université, CNRS, École Centrale Marseille, Marseille*
(2) *L'UNAM Université, École Centrale de Nantes, CNRS, IRCCyN, UMR 6597, Nantes*

10H30-10H50 -- PAUSE CAFE : Salle Champetier, ESPCI

10H50-12H10 : VERS DES APPLICATIONS BIOMEDICALES – Modérateur : D. Rousseau

« **Microscopie haute résolution de plasmon de surface et de modes guidés : Application aux cellules vivantes** »

L. Berguiga¹, L. Streppa¹, E. Boyer-Provera¹, C. Martinez-Torres¹, L. Schaeffer¹, J. Elezgaray², A. Arneodo¹, F. Argoul¹
(1) *ENS de Lyon, UMR 5672, UMR 3010, UMR 5239, Université de Lyon*
(2) *ENTAB, UMR 5248, Pessac, Université de Bordeaux*

« **Imagerie polarimétrique pour le diagnostic du cancer du col utérin : une étude préclinique** »

Jean Rehbindler¹, Stanislas Deby¹, Huda Haddad¹, Benjamin Teig², André Nazac³, Angelo Pierangelo¹, François Moreau¹
(1) *LPICM, Ecole polytechnique, CNRS, Palaiseau*

- (2) Service d'anatomie pathologique, CHU de Bicêtre, Le Kremlin-Bicêtre
(3) Service de Gynécologie Obstétrique, CHU de Bicêtre AP-HP, Le Kremlin-Bicêtre

« Imagerie acousto-optique par hole-burning spectral dans des cristaux de Tm^{3+} :YAG »

Jean-Baptiste Laudereau¹, Philippe Goldner², Alban Ferrier², Anne Chauvet³, Thierry Chanelière³, François Ramaz¹

(1) Institut Langevin - Ondes et Images, CNRS UMR 7587, ESPCI ParisTech, PSL Research University, UPMC

(2) Institut de Recherche de Chimie Paris, CNRS UMR 8247, Chimie ParisTech, Paris

(3) Laboratoire Aimé Cotton, CNRS UMR 9188, Université P-Sud, Orsay

« Identification et sécurisation des capteurs biométriques par une approche OCT (Optical Coherence Tomography) »

François Lamare, Yaneck Gottesman, Bernadette Dorizzi

Télécom SudParis / CNRS UMR 5157 SAMOVAR, Evry

12H10-14H00 : DÉJEUNER

14H00-14H50 : CONFÉRENCE INVITÉE

« 10 années de progrès en segmentation d'image par contour actif polygonal et minimisation de la complexité stochastique »

Frédéric Galland

Institut Fresnel UMR 7249, CNRS, École Centrale Marseille, Aix-Marseille Université, Marseille

14H50-15H50 : SEGMENTATION ET RECONSTRUCTION – Modérateur : F. Champagnat

« Restauration-Segmentation non supervisée d'images de Mueller en condition d'éclairage non-uniforme »

Marc Karnoukian, Sylvain Faisan, Jihad Zallat, Christian Heinrich

Laboratoire ICube, Illkirch

« Déconvolution et régularisation à l'aide de l'algorithme Fuzzy C-Means pour la segmentation d'image optiques 3D extrêmement floues »

Benoit Lelandais, Frédéric Ducongé

CEA, DSV, I2BM, MIRCen - CNRS URA2210, LMN - UPS, Fontenay-aux-Roses

« Méthode de reconstruction 3D en Tomo-PIV exploitant les processus ponctuels marqués markoviens »

R. Ben Salah^{1,2}, O. Alata³, B. Tremblais², L. Thomas¹, L. David¹

(1) Institut P', UPR CNRS 3346, Dépt. Fluide, Thermique et Combustion, Univ. Poitiers

(2) Lab. XLIM, UMR CNRS 7252, Dépt. Signal, Image, Communication, Univ. Poitiers

(3) Lab. Hubert Curien, UMR CNRS 5516, Univ. Saint-Etienne

15H50-16H30 : TECHNIQUES OPTIQUES POUR LE CONTROLE NON DESTRUCTIF – Modérateur : B. Simon

« Automatic model selection by using Nested Sampling applied in electromagnetic imaging for non-destructive testing »

Caifang Cai¹, Thomas Rodet², Marc Lambert³

(1) L2S, Gif sur Yvette

(2) SATIE, Cachan

(3) GEEPS, Gif sur Yvette

« Imagerie de polarisation sur surfaces métalliques liquides »

C. Stolz¹, N. Coniglio³, A. Mathieu², O. Aubreton¹

(1) Le2i, Université de Bourgogne.

(2) Laboratoire ICB, Université de Bourgogne.

(3) Laboratoire MSMP, Arts et Métiers Paris Tech, Aix en Provence.

POSTERS

01 - « Amélioration de la fusion de données en microscopie tomographique diffractive multivue »

J. Bailleul, B. Simon, M. Debailleul, O. Haeberlé

Laboratoire MIPS EA2332, Université de Haute-Alsace, IUT Mulhouse, Mulhouse

02 - « Imagerie tomographique de phase et d'amplitude par OCT plein champ »

A. Federici¹, H.S. Gutierrez da Costa², A. K. Ellerbee³, A. Dubois¹

(1) *Laboratoire Charles Fabry, UMR 8501, Institut d'Optique, CNRS, Université Paris Sud 11, Palaiseau, France*

(2) *Departamento de Informática, Universidade Federal do Paraná, Brésil*

(3) *E.L. Ginzton Laboratory and Department of Electrical Engineering Stanford University, Stanford, CA 94305, USA*

03 - « Tomographie assistée par miroir : vers une super-résolution isotrope en 3D »

C. Godavarthi¹, T. Zhang¹, G. Maire¹, P. C. Chaumet¹, H. Giovannini¹, A. Talneau², K. Belkebir¹, A. Sentenac¹

(1) *Institut Fresnel, École Centrale Marseille, Aix-Marseille Université, CNRS, Marseille*

(2) *Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS, Marcoussis*

04 - « 3D Bragg Projection Ptychography : a new approach dedicated to probe structures in crystalline materials »

S. O. Hruszkewycz¹, M. Allain³, M. V. Holt¹, M. J. Highland¹, A. Tripathi¹, G.B. Stephenson¹, S. Hong¹, P. Fuoss¹, C. Murray², J. Holt², V. Chamard³

(1) *Materials Science Division, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, USA*

(2) *IBM T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York 10598, USA*

(3) *Institut Fresnel, Aix-Marseille Université, CNRS, École Centrale Marseille, Marseille, France*

05 - « Imagerie de contraste par speckle laser et analyses auto-adaptatives pour l'évaluation de la perfusion microvasculaire »

A. Humeau-Heurtier¹, P. Abraham², G. Mahé³

(1) *LARIS - Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes, Université d'Angers, Angers*

(2) *CHU d'Angers, Laboratoire de Physiologie et d'Explorations Vasculaires, UMR CNRS 6214-INSERM 1083, Angers*

(3) *Pôle imagerie médicale et explorations fonctionnelles, CHU de Rennes, Inserm CIC 1414, Rennes*

06 - « Imagerie radar haute résolution 3D à polarisation variable »

P. Minvielle¹, P. Massaloux¹, J.-F. Giovannelli²

(1) *CEA, DAM, CESTA, Le Barp*

(2) *IMS, Université de Bordeaux, Talence*

07 - « Analyse multifenêtrage de la rugosité d'échantillons de ciment mesurée par différents profilomètres optiques »

P. C. Montgomery, G. Gianto, F. Salzenstein, K. L. Apedo, N. Serres, C. Fond, F. Feugeas

Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie (ICube), Unistra-CNRS, Strasbourg

08 - « Fast approximations of shift-variant blur »

R. Mourya^{1,2}, L. Denis^{1,2}, E. Thiébaud⁴, T. Lépine^{1,3}, J.-M. Becker¹

(1) *CNRS UMR 5516, Laboratoire Hubert Curien, F-42000, Saint-Etienne*

(2) *Université Jean Monnet, F-42000, Saint-Etienne*

(3) *Institut d'Optique, Antenne de Saint Etienne, Saint-Etienne*

(4) *CRAL/CNRS-UMR 5574, Observatoire de Lyon, Saint-Genis Laval*

09 - « Réseau de diffraction pour holographie sans référence »

F. Olchewsky¹, J.-M. Desse¹, P. Picart²

(1) *ONERA, Lille*

(2) *Université du Maine, LAUM, Le Mans*

10 - « Non-conventional 3D strain imaging using X-ray Bragg ptychography »

A. Pateras^{1,2}, M. Allain¹, P. Godard¹, L. Largeau³, G. Patriarche³, K. Pantzas³, A. Talneau³, M. Burghammer⁴, T. Baumbach², V. Chamard¹

(1) *Institut Fresnel, Aix-Marseille Université, CNRS, École Centrale Marseille, Marseille, France*

(2) *ANKA-Institute for Synchrotron radiation, Karlsruhe Institute of Technology, Eggenstein-Leopoldshafen, Germany*

(3) *Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS, Marcoussis, France*

(4) *European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, France*

11 - « Mesure de profils intra et interpixels sur des détecteurs grands plans focaux par des techniques d'auto-imagerie »

T. Viale¹, N. Guérineau¹, L. Mugnier², G. Druart¹, S. Derelle¹

(1) ONERA, Palaiseau

(2) ONERA, Chatillon

12 - « Détermination polarimétrique de la retardance intrinsèque et de l'orientation tridimensionnelle d'échantillons biologiques biréfringents »

N. Ortega-Quijano^{1,2}, F. Fanjul-Vélez¹, J. Luis Arce-Diego¹

(1) Laboratorio de Técnicas Ópticas Aplicadas, Universidad de Cantabria, Santander, Espagne

(2) Institut de Physique de Rennes, CNRS, Université de Rennes 1, Rennes, France

13 - « Imagerie polarimétrique active adaptative dans l'infrarouge »

N. Vannier¹, F. Goudail¹, C. Plassart¹, M. Boffety¹, P. Feneyrou², L. Leviandier², F. Galland³, N. Bertaux³

(1) Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique, CNRS, Université Paris Sud 11, Palaiseau

(2) Thales Research and Technology - France, Palaiseau

(3) Institut Fresnel, Aix-Marseille Université, CNRS, École Centrale Marseille, Marseille

14 - « Extension de la profondeur de champ par codage de pupille : optimisation et caractérisation expérimentale des performances »

F. M.-A. Burcklen¹, F. Diaz¹, F. Leprêtre¹, J. Rollin¹, A. Delboulbé², M.S.L. Lee², B. Loiseaux², S. Denel², A. Koudoli², P. Millet², F. Lemonier², H. Sauer³, F. Goudail³

(1) Thales Angénieux, Saint-Héand

(2) Thales Research & Technology, Palaiseau

(3) Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique, CNRS, Université Paris Sud 11, Palaiseau

15 - « Reconstruction de champs instantanés de masse volumique par BOS 3D »

F. Nicolas¹, D. Donjat¹, F. Micheli¹, A. Plyer², F. Champagnat², G. LeBesnerais², P. Cornic²

(1) ONERA Toulouse, Toulouse

(2) ONERA Palaiseau, Palaiseau

3 Bilan - Conclusions

Les participants provenaient :

- des laboratoires universitaires et du CNRS
- des grands organismes (CEA, ONERA, INSERM)
- des entreprises (Phasics, Areva, Sagem, Thales, TRIBVN, Renault, Safran)

Les points marquants de cette édition anniversaire nous semblent être les suivants :

- La participation en augmentation sur les trois dernières éditions a atteint un record avec 130 participants.
- Les quatre exposés invités ont été très appréciés par l'ensemble des participants tant par leur aspect rétrospectif que par la variété et la complémentarité des sujets abordés (technologie des capteurs, modalités d'imagerie, traitement d'images). Les intervenants ont en particulier très bien joué le jeu d'une réunion à l'interface entre deux communautés, et ont parfaitement dimensionné leurs discours pour l'adapter à un auditoire diversifié. Le comité d'organisation envisage pour les prochaines éditions d'augmenter le nombre de conférences invitées pour passer de 2 à 3 ou 4, en fonction des contributions reçues.
- Les conférences invitées ont permis non seulement d'introduire les sessions des quatre demi-journées qui suivaient, mais elles ont aussi été l'occasion d'introduire une thématique jusqu'à présent très discrète lors de ces journées : la conception des capteurs, dont l'impact ne doit pas être sous-estimé par les communautés « Ondes » et « Images ».
- Un nombre important de contributions portait sur l'imagerie polarimétrique, notamment active, montrant la vivacité de ce domaine d'étude et l'intérêt toujours important porté à cette modalité tant sur les aspects imagerie et modélisation physique que traitement.
- En raison d'un grand nombre de contributions soumises au comité de programme, le nombre de présentations sous forme de posters est resté important (15 posters). Les locaux et équipements mis à disposition par l'ESPCI ont encore permis de rendre ces sessions agréables et appréciées par les participants. Chaque pause a ainsi donné lieu à de nombreuses discussions autour des affiches, favorisant le dialogue et les interactions entre les participants issus de communautés différentes.
- Le partenariat avec l'ESPCI s'est encore cette année déroulé de la meilleure façon, les infrastructures mises à la disposition des JIONC demeurant pour l'instant compatibles avec l'augmentation progressive de l'audience à ces journées.

En conclusion, cette année encore, ces journées ont montré la diversité des applications de l'imagerie moderne, tant du point de vue instrumental que du point de vue des traitements. Elles ont notamment mis en avant l'importance des interactions entre modélisation physique, technologies d'imagerie (capteur et optique) et traitements de l'information, montrant que le développement d'un système efficace repose sur une triple réflexion. Ainsi, nous pensons que l'objectif des journées a été une nouvelle fois atteint, confirmant la nécessité de mettre en place des réunions favorisant les échanges entre plusieurs communautés.

4 Liste des participants

Prénom Nom	Adresse mail	Institution
Alain Glière		CEA - Direction de la Recherche Technologique - Grenoble
Alexandre Baussard		Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information de la Communication et de la Connaissance - Brest
Anastasios Pateras		Aix-Marseille Université?, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, UMR 7249, 13013 Marseille, France - Marseille
Andrei-Cristian Barbos		Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système - Talence
Angelo Pierangelo		Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces (LPICM) - Palaiseau
Anne Humeau-Heurtier		Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes - Angers
Anthony Kolar		Supelec - GeePs - ECO2 - SE - Gif sur Yvette
Antoine Dupret		CEA - Saclay - Saclay
Antoine Federici		Institut d'Optique Graduate School - Laboratoire Charles Fabry - Palaiseau
Antoine Herbemont		Institut d'optique Graduate School - Palaiseau
Antoine Manzanera		Unité d'Informatique et d'Ingénierie des Systèmes - Palaiseau
Antoine Monmayrant		Laboratoire d'Architecture et d'Analyse des Systèmes - Toulouse
Antoine Tran		Unité d'Informatique et d'Ingénierie des Systèmes - Palaiseau
Armande Pola Fossi		ONERA
Arthur Goetschy		Institut Langevin - ESPCI -
Aurore Masson		ITAV USR-3505 - Toulouse
Aymeric Le Gratiet		Laboratoire de Spectrométrie et Optique Lasers - Université de Bretagne Occidentale (UBO) - Brest
Bastien Billiot		Laboratoire Electronique Informatique et Image - Dijon
Benoît Lelandaïs		CEA – I2BM-DSV-Mircen
Bertrand Simon		Modélisation Intelligence Processus et Systèmes - Mulhouse
Bicher Haj Ibrahim		OPTO ENG - Palaiseau
Brigitte Loiseaux		THALES RESEARCH & TECHNOLOGY FRANCE - PALAISEAU
Bruno Willems		Laboratoire d'Informatique de Grenoble - Grenoble
Caifang Cai		Laboratoire des signaux et systèmes - Gif-sur-Yvette
Charankumar Godavarth		Institut Fresnel - Marseille
Charles Kevrann		INRIA
Charles Soussen		Centre de Recherche en Automatique de Nancy - Vandœuvre-lès-Nancy
Christophe Leroy-Dos Santos		Institut de la Vision - Paris
Christophe Stolz		Laboratoire Electronique Informatique et Image - Dijon
Claude Amra		CNRS, Institut Fresnel - Marseille
Claudiu Bic		Institut d'Optique Graduate School - Laboratoire Charles Fabry - Palaiseau
Clément Apelian		Institut Langevin (ESPCI) - Paris
Clément Dupuy		Institut Langevin - Paris
Corentin Plassart		Laboratoire Charles Fabry - Palaiseau
Corinne Fournier		Laboratoire Hubert Curien - Saint-Etienne
Cosimo Calo		Télécom SudParis / CNRS UMR 5157

David Rousseau
 Elian Dib
 Enric Garcia-Caurel
 Eric Lacot
 Eric Lantz
 Éric Thiébaud
 Falcon Rafael

Fan Wang

Fengchun Dong
 Flora Weissgerber
 Florian Rousset

Franck Marzani

François Goudail

François Lamare

François Moreau
 François Olchewsky
 François Parnet
 François Ramaz
 Frédéric Cassaing
 Frédéric Champagnat
 Frederic Galland
 Frédéric Jolivet
 Gilles Bourgoïn
 Guillaume Druart
 Guillaume Maire

Hervé Sauer

Isabella Buscemi
 Jacques Klossa
 Jean Dellinger

Jean Rehbinder

Jean-Baptiste Laudereau
 Jean-Christophe Olivo-
 Marin
 Jean-Marc Conan
 Jean-Marie Chassot

Jérôme Vaillant

Jihad Zallat
 Joel Teixeira
 Jonas Ogien
 Julien Fade
 Laurent Alacoque
 Laurent Mugnier
 Lijo Thomas
 Lionel Jacobowicz

Lotfi Berguiga

Ludovic Foucault

Marc Allain
 Marc Karnoukian

SAMOVAR - Evry
 Université Lyon 1
 Laboratoire Hubert Curien - Saint-Etienne
 LPICM - Ecole Polytechnique
 LiPhy-UJF Grenoble
 FEMTO ST - Besançon
 Centre de Recherche Astrophysique de Lyon -
 Saint Genis Laval
 Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique
 - Palaiseau
 Laboratoire d'Informatique, Traitement de
 l'Information et des Systèmes - Saint-Etienne-
 du-Rouvray
 LITIS-Université de Rouen - St du Rouvray
 Télécom Paristech - Paris
 CREATIS - Villeurbanne
 Laboratoire Electronique Informatique et Image
 - Dijon
 Institut d'Optique Graduate School - Laboratoire
 Charles Fabry - Palaiseau
 Télécom SudParis / CNRS UMR 5157
 SAMOVAR, Evry - Evry
 LPICM - PALAISEAU
 - Lille
 Institut de Physique de Rennes - Rennes
 INSTITUT LANGEVIN - ESPCI - PARIS
 ONERA/DOTA - Châtillon
 ONERA - Chatillon
 Institut Fresnel - Marseille
 Laboratoire Hubert Curien - Saint-Etienne
 Thales OSA
 ONERA - Palaiseau
 Institut Fresnel - Marseille
 Institut d'Optique Graduate School - Laboratoire
 Charles Fabry - PALAISEAU
 Université Paris-Est Créteil - Créteil
 TRIBVN - Chatillon
 ICube - Strasbourg
 Laboratoire de Physique des Interfaces et
 Couches Minces, Ecole polytechnique -
 Palaiseau
 Institut Langevin - Paris
 Unité d'Analyse d'images quantitative - Paris
 ONERA - Chatillon
 CNRS - Institut Langevin - PARIS
 CEA - Direction de la Recherche
 Technologique - Grenoble
 ICube - Illkirch
 ONERA DOTA-HRA - Chatillon
 Laboratoire Charles Fabry - Palaiseau
 Institut de Physique de Rennes - Rennes
 CEA - Grenoble - Grenoble
 ONERA - Châtillon
 IOGS
 IOGS - Palaiseau
 Laboratoire Joliot Curie, Ecole Normale
 Supérieure de Lyon - Lyon
 Modélisation Intelligence Processus et Systèmes
 - Mulhouse
 Institut Fresnel - Marseille
 Laboratoire ICube - Equipe TRIO - Illkirch

Marie-Anne Burcklen
 Martin Chollat
 Michel Chapron
 Muriel Roche
 Myriam Zerrad
 Nicolas Ducros

 Nicolas Petrochilos

 Nicolas Vannier
 Nicolas Verrier
 Noé Ortega-Quijano
 Olivier Alata
 Olivier Haeberlé
 Olivier Trassard

 Paul Montgomery
 Paul Riot
 Pauline Trouvé
 Philippe Réfrégier
 Pierre Bisiaux
 Pierre Minvielle
 Razvigor Ossikovski
 Rémi Carminati
 Riadh Ben Salah
 Robin Chalumeau
 Romain Pierrat
 Samuel Bole
 Sébastien Vievard
 Sergio Martinez
 Sherazade Aknoun
 Simon Emberger
 Simon Labouesse
 Swapnesh Panigrahi
 Sylvain Lobry
 Tatiana Novikova
 Thibault Viale
 Thomas Benoudiba--
 Campanini
 Thomas Hardin
 Vincent Devlaminck
 William Guicquero
 Xavier Orlik
 Yaneck Gottesman
 Yann Ferrec
 Yann Le Guilloux
 Yannick Caulier
 Yvon Voisin

Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique
 - Palaiseau
 TRIBVN - Chatillon
 ETIS
 Institut Fresnel - Marseille
 Institut FRESNEL - MARSEILLE
 Centre de recherche en imagerie médicale -
 Villeurbanne
 Centre de Recherche en Sciences et
 Technologies de l'Information et de la
 Communication - Reims
 Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique
 - Palaiseau
 Laboratoire Hubert Curien - Saint-Etienne
 Institut de Physique de Rennes - Rennes
 Laboratoire Hubert Curien - Saint-Etienne
 Laboratoire MIPS -UHA- Mulhouse
 INSERM Institut Biomédical de Bicêtre UMS-
 32 - Le Kremlin-Bicêtre
 Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de
 l'informatique et de l'imagerie - Illkirch
 Télécom ParisTech TSI - Paris
 ONERA
 Institut Fresnel - Marseille
 supélec - Gif-sur-Yvette
 CEA - Direction des Applications Militaires -
 LE BARP
 LPICM - Ecole Polytechnique - Palaiseau
 ESPCI-ParisTech - Paris
 XLIM - Futuroscope Chasseneuil
 Institut d'Optique Graduate School - Palaiseau
 Institut Langevin
 LaHC / Renault
 ONERA - Châtillon
 IOGS
 Phasics
 CEA - Grenoble - Grenoble
 Institut Fresnel - Marseille
 Institut de Physique de Rennes - Rennes
 Laboratoire de Traitement et Communication de
 l'Information - Paris
 LPICM Ecole polytechnique - Palaiseau
 ONERA - Université Paris-Sud - Palaiseau
 Laboratoire de l'Intégration du Matériau au
 Système - Talence
 Institut Langevin - Paris
 Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique
 et Signal - Villeneuve-d'Ascq
 CEA-Leti Minatec -
 Onera - toulouse
 Télécom SudParis / CNRS UMR 5157
 SAMOVAR, Evry - Evry
 Onera - Palaiseau
 Sagem Défense Sécurité - Argenteuil
 AREVA
 Laboratoire Electronique Informatique et Image
 - Dijon

5 Résumés des présentations

Dans les pages qui suivent, sont rassemblés les résumés des contributions à ces journées.

15 ans de développement de l'imagerie CMOS, du téléphone portable à l'imagerie non conventionnelle

Jérôme Vaillant

CEA-LETI, Grenoble

jerome.vaillant@cea.fr

À la base de l'acquisition d'images, les imageurs sont généralement caractérisés par leurs capacités d'échantillonnage et de restitution fidèle du signal (bruit, linéarité, sensibilité, etc). Toutefois, ces quinze dernières années ont vu les capteurs d'images en technologie CMOS progresser de façon rapide grâce à de nombreuses innovations dans l'électronique et l'optique au sein même du pixel ainsi que dans les procédés de fabrication [1-3].

Actuellement ces capteurs intègrent, même pour des produits de masse, des technologies auparavant réservées aux capteurs scientifiques (comme l'illumination face arrière ou backside illumination). Ceci a également permis le développement de pixels non-conventionnels tels que les pixels à base de SPAD (Single Photon Avalanche Diode) utilisés en mesure temps de vol [4], les pixels [5-7] à détection de phase pour l'autofocus [8], les capteurs hyperspectraux, etc.

De tels pixels permettent déjà le développement de systèmes d'imagerie non-conventionnels [9]. Pour aller plus loin, l'intégration du design optique/électronique du pixel comme part entière du flot de conception offre un degré supplémentaire dans le co-design.

RÉFÉRENCES

- [1] J. Vaillant and F. Hirigoyen, "Optical simulation for CMOS imager microlens optimization," 2004, Proc. SPIE vol. 5459, Optical Sensing, pp. 200–210.
- [2] M. Cohen, et al., "Fully Optimized Cu based process with dedicated cavity etch for 1.75 μm and 1.45 μm pixel pitch CMOS Image Sensors," IEDM 2006, pp. 812–815.
- [3] A. Crocherie, et al., "From photons to electrons: a complete 3D simulation flow for CMOS image sensor," presented at the Intl. Image Sensor Workshop, 2009.
- [4] C. Veerappan, et al., "A 160x128 single-photon image sensor with on-pixel 55ps 10b time-to-digital converter," in Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers (ISSCC), 2011 IEEE International, 2011, pp. 312–314.
- [5] K. Lee, et al., "SNR performance comparison of 1.4 μm pixel : FSI, light-guide, and BSI," presented at the Intl. Image Sensor Workshop, Hokkaido, Japan, 2011.
- [6] F. Roy, et al., "Challenges in CMOS-based images," Phys. Status Solidi C, vol. 11, no. 1, pp. 50–56, 2014.
- [7] J. Ahn, et al., "7.1 A 1/4-inch 8Mpixel CMOS image sensor with 3D backside-illuminated 1.12 μm pixel with front-side deep-trench isolation and vertical transfer gate," in Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers (ISSCC), IEEE International, 2014, pp. 124–125.
- [8] "Dual Pixel CMOS AF."
http://www.learn.usa.canon.com/app/pdfs/articles/Canon_Developers_Interview_nonfacing_pressquality.pdf
- [9] C. Bruschini, et al., "SPADnet: Embedded coincidence in a smart sensor network for PET applications," Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip., vol. 734, Part B, pp. 122–126, Jan. 2014.

Imagerie polarimétrique à contraste optimal

François Goudail

Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique, CNRS, Palaiseau

francois.goudail@institutoptique.fr

L'imagerie polarimétrique active consiste à illuminer une scène avec un état de polarisation donné et à analyser la lumière rétrodiffusée avec un analyseur de polarisation. Ce type d'imagerie permet de révéler des contrastes qui n'apparaissent pas dans les images d'intensité classique, et trouve de nombreuses applications en télédétection [1], imagerie biomédicale [2], contrôle industriel [3].

L'objectif final de ce genre d'imagerie est souvent de générer une image où les zones d'intérêt apparaissent avec un bon contraste par rapport au fond. Un enjeu important est donc de déterminer les états d'illumination et d'analyse permettant d'optimiser ce contraste [4], et de pouvoir les implémenter sur un système réel [5].

Nous présenterons les avancées qui ont été faites dans ce domaine ces dernières années. Elles comprennent des aspects théoriques, par exemple comment la statistique du bruit dans les images influe sur les états optimaux [6], ou comment il est possible de gérer la présence d'objets d'intérêt multiples dans la scène [7]. Elles recouvrent aussi des enjeux expérimentaux relatifs à la conception et à la mise en œuvre de systèmes d'imagerie permettant de générer et d'analyser n'importe quel état de polarisation sur la sphère de Poincaré [5]. Nous montrerons enfin comment la mise en œuvre conjointe d'un imageur agile en polarisation et d'algorithmes de segmentation d'images ultra-rapides permet de concevoir un système adaptatif maximisant le contraste polarimétrique de manière semi-supervisée [8].

RÉFÉRENCES

- [1] S. Breugnot, P. Clemenceau, "Modeling and performances of a Polarization Active Imager at $\lambda = 806$ nm", *Opt. Eng.*, 39, 2681-2688, (2000)
- [2] M-R Antonelli, A. Pierangelo, T. Novikova, P. Validire, A. Benali, B. Gayet, and A. De Martino, "Mueller matrix imaging of human colon tissue for cancer diagnostics: how Monte Carlo modeling can help in the interpretation of experimental data," *Opt. Express* 18, 10200-10208 (2010).
- [3] O. Morel, C. Stolz, F. Meriaudeau, P. Gorria, "Active lighting applied to three-dimensional reconstruction of specular metallic surfaces by polarization imaging" *App. Opt.*, 45, 4062-4068 (2006).
- [4] F. Goudail, A. Bènière, "Optimization of the contrast in polarimetric scalar images", *Opt. Lett.*, 34(9), 1471-1473 (2009).
- [5] G. Anna, H. Sauer, F. Goudail and D. Dolfi, "Fully tunable active polarization imager for contrast enhancement and partial polarimetry", *Appl. Opt.*, 51 (21), 5302-5309 (2012).
- [6] G. Anna, F. Goudail, and D. Dolfi, "Polarimetric target detection in the presence of spatially fluctuating Mueller matrices", *Opt. Lett.*, 36 (23), pp. 4590-4592 (2011).
- [7] G. Anna, F. Goudail, D. Dolfi, "Optimal discrimination of multiple regions with an active polarimetric imager", *Opt. Express* 19, 25367-25378 (2011).
- [8] G. Anna, N. Bertaux, F. Galland, F. Goudail and D. Dolfi, "Joint contrast optimization and object segmentation in active polarimetric images", *Opt. Lett.*, 37 (16), 3321-3323 (2012).

De l'imagerie laser par réinjection optique à la microscopie plénoptique, via la synthèse d'ouverture optique

W. Glastre, O. Hugon, O. Jacquin, H. Guillet de Chatellus et E. Lacot

UJF-Grenoble 1/CNRS, LiPhy (UMR 5588), Grenoble, F-38401, France

eric.lacot@ujf-grenoble.fr

Un microscope plénoptique combinant la haute résolution de synthèse d'ouverture optique et la grande sensibilité de l'imagerie laser à réinjection optique (interférométrie autodyne) est présenté.

Les principales propriétés de microscopes plénoptiques, telles que la compensation numérique d'aberrations et la refocalisation numérique sur des surface non planes (imagerie pseudo-3D), ont été démontrées expérimentalement en utilisant un dispositif LOFI (Laser Optical Feedback Imaging) volontairement délocalisé, puis un traitement du signal adapté par transformée de Fourier fractionnaire.

De plus, en utilisant la localisation spatiale des photons d'intérêt par marquage acoustique, le rapport signal sur bruit de ce nouveau type de microscope est à la limite quantique.

L'ensemble des propriétés mentionnées ci-dessus indique que le microscope plénoptique LOFI est bien adapté pour l'imagerie en profondeur dans des milieux à la fois diffusants et hétérogènes comme peuvent l'être les tissus biologiques.

RÉFÉRENCES

- [1] W. Glastre, O. Hugon, O. Jacquin, H. Guillet de Chatellus, E. Lacot, "Demonstration of a plenoptic microscope based on Laser Optical Feedback Imaging," *Opt. Exp.* 21, 7294 (2013).
- [2] W. Glastre, O. Jacquin, O. Hugon, H. Guillet de Chatellus, E. Lacot, "Deep and optically resolved imaging through scattering media by space-reversed propagation," *Opt. Lett.* 37, 24821 (2012).
- [3] W. Glastre, O. Jacquin, O. Hugon, H. Guillet de Chatellus, E. Lacot, "Limitation of synthetic aperture laser optical feedback imaging," *J. Opt. Soc. Am. A* 29, 2247 (2012).
- [4] W. Glastre, O. Jacquin, O. Hugon, H. Guillet de Chatellus, E. Lacot, "Synthetic aperture laser optical feedback imaging using a translational scanning with galvanometric mirrors," *J. Opt. Soc. Am. A* 29, 1639 (2012).
- [5] O. Jacquin, W. Glastre, E. Lacot, O. Hugon, H. Guillet de Chatellus, "Acousto-optic laser optical feedback imaging," *Opt. Lett.* 37, 2514 (2012).
- [6] W. Glastre, E. Lacot, O. Jacquin, O. Hugon, H. Guillet de Chatellus, "Sensitivity of synthetic aperture laser optical feedback imaging," *J. Opt. Soc. Am. A* 29, 476 (2012).

10 années de progrès en segmentation d'image par contour actif polygonal et minimisation de la complexité stochastique

Frédéric Galland

Institut Fresnel, CNRS, École Centrale Marseille, Aix-Marseille Université, Marseille

frederic.galland @fresnel.fr

Les techniques par contours actifs statistiques fondées sur la minimisation de la complexité stochastique [1,2,3] nous ont permis ces dix dernières années d'aborder différents problèmes intéressants pour la segmentation d'images fortement bruitées. Ces travaux reposent sur deux approches complémentaires: la mise en œuvre de méthodes statistiques appropriées et le développement de techniques rapides [4,5]. Nous montrerons au cours de l'exposé l'intérêt de cette méthodologie en l'illustrant avec différentes applications et nous mettrons en lumière comment les deux approches complémentaires qui viennent d'être évoquées nous ont permis de progresser en soulevant à chaque fois de nouvelles questions.

REFERENCES

- [1] O. Ruch et Ph. Réfrégier, Minimal complexity segmentation with a polygonal snake adapted to different optical noise models, *Optics Letters*, Vol. 26 (13), pp. 977-979, 2001.
- [2] F. Galland, N. Bertaux, Philippe Réfrégier, Minimum Description Length Synthetic Aperture Radar image segmentation, *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 12 (9), pp. 995-1006, 2003
- [3] F. Galland, A. Jaegler, M. Allain, D. Savéry and Ph. Réfrégier, Smooth contour coding with minimal description length active grid segmentation techniques, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 32 (5), pp. 721-730, 2011.
- [4] C. Chesnaud, Ph. Réfrégier and V. Boulet, Statistical region snake based segmentation adapted to different physical noise models, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 21 (11), pp. 1145-1157, 1999.
- [5] N. Bertaux, F. Galland and Ph. Réfrégier, Multi Initialisation Segmentation with a Non Parametric Minimum Description Length Snake, *Electronics Letters*, Vol. 47 (10), pp. 594-595, 2011.

Acquisition compressive : nouvelles perspectives pour la conception d'imageurs CMOS et applications innovantes

William Guicquero^{1,2}, Antoine Dupret¹, Pierre Vanderghenst²

¹ CEA-LETI, MINATEC Campus, adresse, F-38054 Grenoble, France

² EPFL, Swiss Institute of Technology, Lausanne, Suisse

william.guicquero@cea.fr

Les nouvelles avancées dans le domaine des capteurs d'images (particulièrement en technologie CMOS) tendent à remettre en cause les méthodes classiques employées pour acquérir l'image. C'est en cela que l'acquisition compressive [1] joue un rôle majeur notamment afin de désengorger les convertisseurs Analogique-Numérique, représentant généralement le goulot d'étranglement de ce type de capteurs [2]. De plus, l'acquisition compressive permet de s'affranchir des traitements de compression effectués traditionnellement par un traitement numérique du signal et réalisés par des composants dédiés. L'intérêt est double car cela permet à la fois de réduire de manière conséquente la quantité de données à convertir mais aussi de se passer des traitements numériques externes au capteur. Dans le domaine des capteurs d'images, la principale voie d'exploration ainsi que les applications visées sont basées sur l'emploi de l'acquisition compressive pour diminuer la consommation de ces composants (i.e. 99% de la conso. totale).

Contrairement, ou plutôt, plus largement ; le paradigme de l'acquisition compressive permet de remettre en question ou tout du moins d'étendre la théorie relative aux limites de Nyquist-Shannon. De récents développements dans le champ des capteurs d'images montrent qu'il est possible d'envisager d'autres applications liées au paradigme de l'acquisition compressive. En effet, on peut constater les avancées dans les champs de l'imagerie hyperspectrale [3], de la super-résolution [3], de la grande dynamique [4], de la grande vitesse [5] et de l'échantillonnage non uniforme [6].

En particulier, l'acquisition compressive doit désormais être considérée comme une boîte à outils permettant de définir plus aisément des compromis entre les différentes caractéristiques des capteurs : temps d'intégration, vitesse des convertisseurs, dynamique, résolution, ressources de traitement numérique disponibles (cf. figure 1). Cependant, si l'acquisition compressive permet de relâcher certaines contraintes matérielles au niveau du capteur, il se peut que les données collectées soit difficilement interprétables par la suite et requérant des charges de calculs plus importantes par rapport à des techniques dites classiques. Cependant, les opportunités en termes applicatifs sont vastes (cf. figure 2).

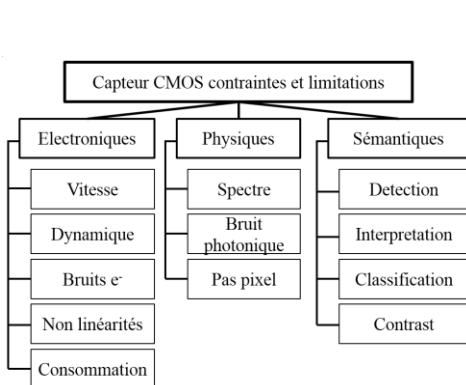


Figure 1 : Contraintes et limitations des capteurs

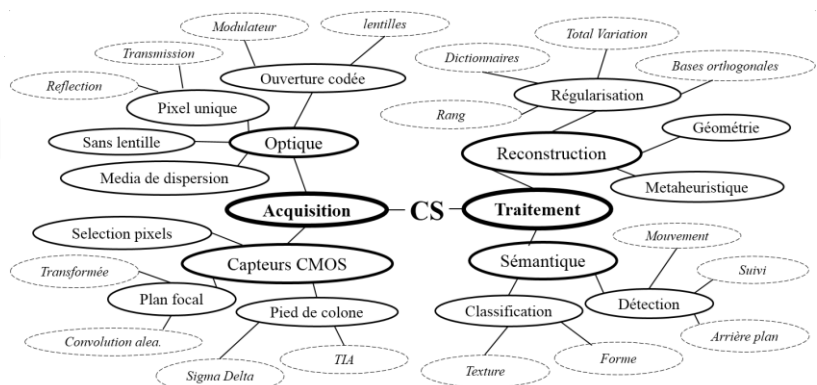


Figure 2 : Champs applicatifs de l'acquisition compressive.

RÉFÉRENCES

- [1] L. Jacques and P. Vanderghenst, "Compressed sensing: When sparsity meets sampling," *Optical and Digital Image Processing – Fundamentals and Applications*, (eds.) Wiley-Blackwell, 2010.
- [2] Y. Oike and A. El Gamal, "Cmos image sensor with per-column $\Sigma\Delta$ adc and programmable compressed sensing," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 48, no. 1, pp. 318–328, Jan 2013.
- [3] W. Guicquero, P. Vanderghenst, T. Laforest, A. Verdant and A. Dupret, "On multiple spectral dependent blurring kernels for super-resolution and hyperspectral imaging," to appear in *Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, 2014 IEEE, vol., no., pp.-, 3-5 Dec. 2014.
- [4] W. Guicquero, A. Dupret and P. Vanderghenst, "Multi-capture High Dynamic Range compressive imaging," *Signals, Systems and Computers, 2013 Asilomar Conference on*, vol., no., pp.143,147, 3-6 Nov. 2013.
- [5] N. Katic, M. Hosseini Kamal, M. Kilic, A. Schmid, P. Vanderghenst and Y. Leblebici, "Power-efficient CMOS image acquisition system based on compressive sampling," *Circuits and Systems (MWSCAS), 2013 IEEE 56th International Midwest Symposium on*, vol., no., pp.1367,1370, 4-7 Aug. 2013.
- [6] W. Guicquero, P. Vanderghenst, T. Laforest and A. Dupret, "On adaptive pixel random selection for Compressive Sensing," to appear in *Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, 2014 IEEE, vol., no., pp.-, 3-5 Dec. 2014.

Single-pixel camera : stratégie d'acquisition non linéaire basée sur les ondelettes

Florian Rousset¹, Nicolas Ducros¹, Françoise Peyrin¹

¹ CREATIS, CNRS UMR5220, INSERM U1044, Université de Lyon, INSA Lyon, Villeurbanne, France.

florian.rousset@creatis.insa-lyon.fr

La single-pixel camera (SPC) permet d'obtenir des petits capteurs, peu chers et efficaces. Son architecture se compose d'une matrice de micro-miroirs (digital micromirror device, DMD) et d'un photodétecteur ponctuel. Le DMD, qui comporte des miroirs que l'on peut indépendamment basculer, peut être utilisé de façon telle à agir comme un filtre spatial.

Nous nous intéressons au problème de la restauration de l'image d'un objet acquit par une SPC, problème originalement formulé dans [1]. Celui-ci consiste à retrouver l'image $\mathbf{f} \in \mathbb{R}^{N \times N}$ d'un objet à partir des I mesures $\{m_i, i = 1..I\}$ obtenues depuis I motifs $\{\mathbf{p}_i \in \mathbb{R}^{N \times N}, i = 1..I\}$ de DMD. Chaque mesure est la projection de l'image sur un motif de DMD. Mathématiquement, $m_i = \langle \mathbf{f}, \mathbf{p}_i \rangle$. Partant d'une série de quelques mesures, l'approche que nous avons retenue consiste à prédire de nouveaux motifs de DMD issus de l'ondelette de Haar en fonction des mesures déjà effectuées. Dai et al. [2] utilisent cette méthodologie en basant leur prédiction de motif sur la relation père-fils entre les coefficients d'ondelettes d'un niveau de résolution à l'autre [3]. Leur stratégie d'acquisition est basée sur un seuillage effectué sur chaque niveau de la décomposition en ondelette et qui permet de décider des éléments à acquérir. Plutôt qu'utiliser un seuillage spécifique à chaque image, nous proposons une stratégie d'acquisition plus générique basée sur une approximation non linéaire [3], qui montre d'excellents résultats.

Soit $j = 1..J$ l'échelle à laquelle notre image $\mathbf{f}$ est observée, J étant le niveau de décomposition de la transformée en ondelette tel que $1 \leq J \leq \log_2 N = R$. Notre stratégie consiste tout d'abord à acquérir une approximation de l'image à l'échelle J , donnant $n_A = 2^{2L}$ coefficients avec $L = R - J$. Cette image est alors transformée en ondelettes sur un niveau et un pourcentage p_J des coefficients de détails de plus forte amplitude sont retenus. Leurs 4 fils donnent les prochains éléments à mesurer au niveau J donnant n_J nouveaux coefficients de détails. A nouveau, parmi ces n_J éléments, un pourcentage p_{J-1} est retenu dont les 4 fils donnent les prochaines mesures au niveau $J - 1$. Cette dernière étape est répétée jusqu'au niveau le plus fin $j = 1$. On montre que le jeu de pourcentage $\mathcal{P} = \{p_1, p_2, \dots, p_J\}$ permet de contrôler le nombre total de coefficients mesurés sur le nombre total de pixels de l'image, ce ratio définissant le taux d'échantillonnage TE. L'image de l'objet est finalement restaurée à partir des coefficients calculés par transformée en ondelettes inverse.

Notre stratégie a été simulée sur plusieurs images tests. Avec un TE de 10 %, elle montre un résultat efficace sur l'image de Lena comme le prouve la Fig. 1. Le tableau 1 compare les PSNR obtenus entre notre méthode et celle de Dai [2]. On remarque notamment que la stratégie non linéaire donne les meilleurs résultats pour un même TE et qu'un même jeu de pourcentages fonctionne pour différentes images, montrant ainsi l'adaptabilité de la méthode.

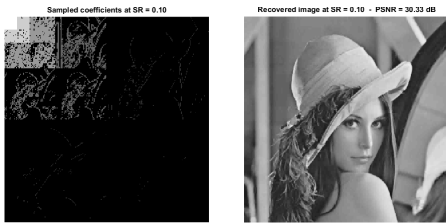


Fig. 1 : Résultat de notre approche sur Lena (512 × 512 pixels). Avec $\mathcal{P} = \{0,05; 0,3; 0,8; 0,95\}$ donnant un TE de 10 %, l'image restaurée montre un PSNR de 30.33 dB.

Test images	PSNR (dB)	PSNR (dB)
	Non linéaire	Seuillage
Lena	30,33	29,84
Peppers	36,07	35,76
Cameraman	32,32	32,05
Gold Hill	27,83	27,70

Tab. 1 : PSNR obtenus pour notre méthode avec $\mathcal{P} = \{0,05; 0,3; 0,8; 0,95\}$ et pour la méthode de Dai avec seuillage [2]. Dans les deux cas, le TE est fixé à 10 %.

Nous avons présenté une stratégie d'acquisition avec une SPC basée sur la théorie des ondelettes. En utilisant une stratégie d'acquisition progressive non linéaire, notre méthode montre de bons résultats, à la fois visuels et numériques. Nous prévoyons de tester cette méthode pour l'imagerie de fluorescence de tissus biologiques.

RÉFÉRENCES

- [1] M. Duarte, M. Davenport, D. Takhar, J. Laska, T. Sun, K. Kelly, and R. Baraniuk, "Single-pixel imaging via compressive sampling," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 25, pp. 83–91, March 2008.
- [2] H. Dai, G. Gu, W. He, F. Liao, J. Zhuang, X. Liu, and Q. Chen, "Adaptive compressed sampling based on extended wavelet trees," *Appl. Opt.*, vol. 53, pp. 6619–6628, Oct 2014.
- [3] S. Mallat, *A Wavelet Tour of Signal Processing, Third Edition : The Sparse Way*. Academic Press, 2008.

Conception and design of a compact birefringent imaging spectrometer in the Mid-infrared

Armande POLA FOSSI¹, Yann FERREC¹, Nicolas Guerineau¹, Nicolas ROUX², Oscar D'ALMEIDA²,
Hervé SAUER³

¹ ONERA, Chemin de la Hunière, 91 123 Palaiseau, FRANCE

² SAGEM DS, 23 avenue Carnot, 91 300 Massy, FRANCE

³ Laboratoire CHARLES FABRY, 2 avenue Augustin Fresnel, 91 127 Palaiseau, FRANCE

armande.pola_fossi@onera.fr

Hyperspectral imaging consists in the acquisition of a scene at many wavelengths. Thanks to the capability to associate each point of the scene to its spectrum, hyperspectral imaging offers the possibility to quickly identify interesting objects in the observed scene. Among the concepts generating the "hypercube", we are developing at ONERA static Fourier Transform spectrometers using lateral shearing interferometers [[1, 2]]. These interferometers duplicate wavefront under study, displace it laterally by a small amount and obtain interference pattern between the original and the displaced wavefronts.

Among this family of interferometers, we chose the birefringent lateral shearing interferometer (BLSI) for our work because it is a one way interferometer and can be therefore miniaturized [3]. Measurements have been made in the visible using a Double-Wollaston (DW) made of Calcite in order to understand how BLSI works and to anticipate the difficulties in the conception of an infrared instrument.

Among the difficulties we wanted to anticipate, there are the quality of the interferogram when manufacturing defects appear and the coupling of wave at anisotrope-anisotrope interface. This study aims also at experimentally validating the Matlab algorithm we are using which has been developed by Hervé Sauer. These results will be presented.

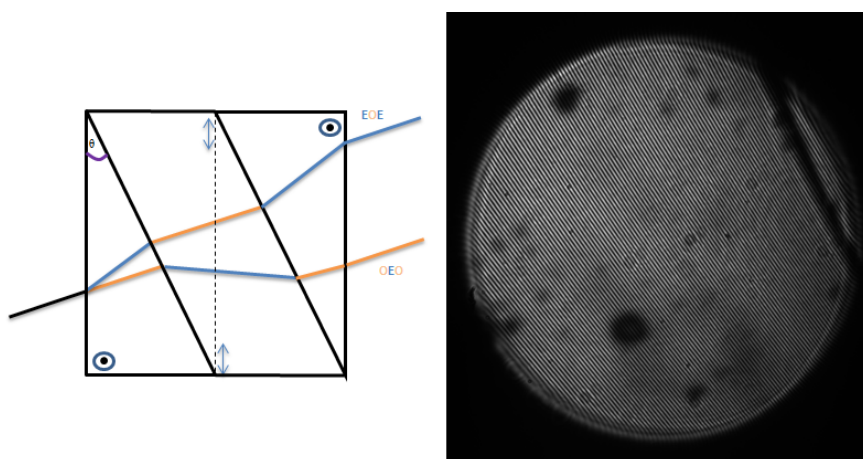


Fig. 1 : Left, drawing of the DW. Right, Fringes patterns observed with a 594 nm laser illumination when the DW is mounted between crossed polarizer and analyzer.

RÉFÉRENCES

- [1] Y. Ferrec, *Spectro-imagerie aéroportée par transformation de Fourier avec un interféromètre statique à décalage latéral : réalisation et mise en oeuvre*. PhD thesis, Université Paris Sud-Paris XI, 2008.
- [2] S. Thetas, S. Bernhardt, M. Caes, C. Coudrain, P. Cymbalista, J. Deschamps, and J. Primot, "Sieleters : a static fourier transform infrared imaging spectrometer for airborne hyperspectral measurements," tech. rep., DTIC Document, 2009.
- [3] M. Francon and S. Mallick, "Polarization interferometers : Applications in microscopy and macroscopy, 1971."

Adaptive, Hyperspectral Imager: Design, Modeling, and Control

Scot McGregor^{1,2}, Antoine Monmayrant^{1,2}, Simon Lacroix^{1,2}
¹CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, F-31400 Toulouse, France
²Univ de Toulouse, LAAS, F-31400 Toulouse, France

antoine.monmayrant@laas.fr

An adaptive, hyperspectral imager is presented. We propose a system with easily adaptable spectral resolution, adjustable acquisition time, and high spatial resolution which is independent of spectral resolution. The system yields the possibility to define a variety of acquisition schemes, and in particular near snapshot acquisitions that may be used to measure the spectral content of given (or automatically detected) regions of interest. The proposed system is modelled, simulated, and experimentally demonstrated. Measurement techniques are proposed for near snapshot acquisition of spectral data as well as video rate acquisition of rapidly adjustable, monochromatic images.

Hyperspectral imaging, that is the measurement of many spectral components for each point of an image has become a key technique in many fields of research and industry [1]. It usually relies on a scanning process to acquire the 3D hyperspectral cube using 2D CCD or CMOS imagers. Novel methods based on co-design allow snapshot hyperspectral imaging [2, 3]. They rely on sophisticated optical setups coupled to complex reconstruction algorithms with fixed trade-offs between spatial, spectral and temporal resolutions. Moreover, careful and detailed calibrations are compulsory for these algorithms to converge.

This contribution presents a dual-disperser setup similar to what was proposed in [4] but with a programmable mask (Fig.1) and associated simple algorithms that alleviate the fixed trade-offs, calibration and computational complexity issues to propose an adaptative hyperspectral imager. This setup (Fig.1(a)) consists of a modified "4-f line" (made of gratings and lenses) with a programmable spatial light modulator (SLM). It acts on the final image as a programmable local spectral filter and in particular the spatial features of the final image (resolution, position of the different components) are totally independent from the programmed spectral features. In particular all the spectral components on a line in the hyperspectral cube are all colocated on the same position on the final image. This colocation property together with the extremely simple relation between the SLM pattern and the filtered final image allows to perform fast hyperspectral acquisition with straightforward reconstruction, allows direct access to the unfiltered image and to design near snapshot hyperspectral imaging where several region of interest in the image are fully characterized in parallel. This contribution will provide a simplified analysis to grasp the key benefits of this approach, a detailed model based on gaussian optics to describe and simulate realistic performances of such a device. It will also show a first experimental demonstration with a prototype (see Fig.1(b)) that uses a folded geometry with a reflective grating and a digital micromirror device (DMD) as a SLM. Experimental demonstration of snapshot hyperspectral imaging of several region of interest will also be presented. Last, extension of the method to provide video rate, random accessible monochromatic spectral imaging will be discussed. The adaptability and simplicity of this new hyperspectral imager paves the way to novel applications, particularly in the field of embedded hyperspectral imaging where resources are limited and real time access to the reconstructed data is key.

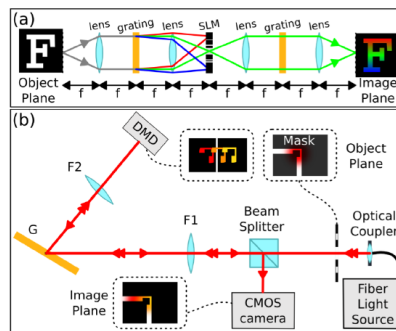


Fig 1. (a) Schematic of an adaptive hyperspectral imager ; (b) Prototype based on reflective grating (G) and digital micromirror device (DMD).

RÉFÉRENCES

- [1] H. Grahn and P. Geladi, Techniques and applications of hyperspectral image analysis. John Wiley & Sons, 2007.
- [2] N. Hagen, R. T. Kester, L. Gao, and T. S. Tkaczyk, "Snapshot advantage : a review of the light collection improvement for parallel high-dimensional measurement systems," Opt. Eng., vol. 51, no. 11, pp. 111702–1, 2012.
- [3] N. Hagen and M. W. Kudenov, "Review of snapshot spectral imaging technologies," Optical Engineering, vol.52, no. 9, pp. 090901–090901, 2013.
- [4] M. Gehm, R. John, D. Brady, R. Willett, and T. Schulz, "Single-shot compressive spectral imaging with a dual-disperser architecture," Optics Express, vol. 15, no. 21, pp. 14013–14027, 2007.

Polarimétrie de Mueller en réflexion par codage spectral de la polarisation, utilisant une swept-source à 100kHz

Aymeric LE GRATIET, Sylvain RIVET, Matthieu DUBREUIL, Yann LE GRAND

Laboratoire de Spectrométrie et Optique Laser, 6 avenue Le Gorgeu, 29 200 Brest, France

Aymeric.LeGratiet@univ-brest.fr

Le LSOL s'intéresse depuis quelques années à la polarimétrie de Mueller par codage spectral de la polarisation [1]. Ce genre inédit de polarimètre permet de faire la mesure d'une matrice de Mueller en un temps record ($\approx \mu s$) grâce à l'utilisation de la longueur d'onde comme support de codage de la polarisation. Dans sa forme précédente [1], le polarimètre utilisait une source large bande (diode superluminescente), des lames biréfringentes (calcite) d'épaisseurs choisies, et un spectromètre (réseau + caméra CCD). Il a été développé pour caractériser de manière dynamique des échantillons en transmission (transparents ou fins) dans un mode non-imageur.

Pour répondre à l'intérêt grandissant de l'utilisation de la polarimétrie de Mueller pour l'imagerie des milieux biologiques (épais et diffusants), il a fallu apporter quelques modifications au montage pour le rendre plus compact et adapté à l'imagerie par balayage en réflexion. Ainsi, la diode superluminescente a été remplacée par une source laser à balayage rapide en longueur d'onde (swept-source), les lames de calcite par des lames de YVO₄ et le spectromètre par une photodiode. La cadence d'acquisition des matrices de Mueller ne dépend ainsi que de la cadence de balayage de la source (100kHz). A noter qu'un cube séparateur, dont l'influence doit être prise en compte via une procédure de calibration particulière, a été introduit pour permettre des mesures en réflexion [2].

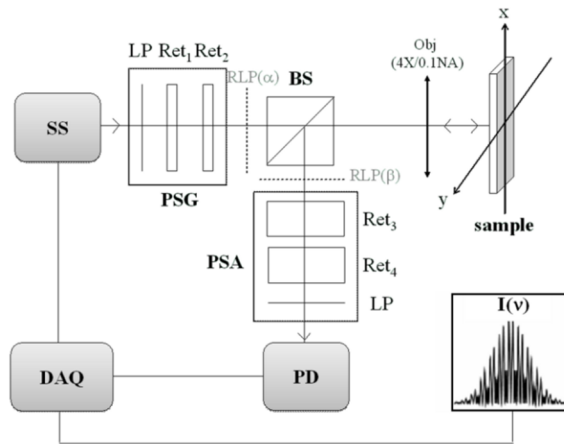


Figure 1: Experimental setup for the snapshot Mueller matrix polarimeter with swept laser source in reflection configuration. SS : Swept source, DAQ : Data Acquisition board, PSG : Polarization State Generator, PSA : Polarization State Analyzer, LP : Linear Polarizer, RLP : Reference Linear Polarizer (for calibration), Ret : Retarder, Obj : Microscope Objective (4X/0.1NA), PD : Photodiode. BS : Beam-Splitter cube.

Dans cette configuration, le polarimètre pourra être intégré dans un microscope à balayage laser pour réaliser des images microscopiques en polarimétrie de Mueller. Il pourra être également couplé avec d'autres modalités de microscopie à balayage (confocale/multiphotonique), et ceci sur le même instrument. Ce couplage servira à évaluer de manière plus exhaustive l'intérêt de la polarimétrie de Mueller pour l'étude d'échantillons biologiques. Nous présenterons le nouveau montage polarimétrique de Mueller ainsi que les procédures de calibration associées, puis sa validation sur des échantillons de référence.

REFERENCES

- [1] M. Dubreuil, S. Rivet, B. Le Jeune and J. Cariou, "Snapshot Mueller matrix polarimeter by wavelength polarization coding", *Optics Express* 15(21), 13660-13668 (2007)
- [2] A Le Gratiet, S. Rivet, M. Dubreuil and Y. Le Grand, "100kHz Mueller polarimeter in reflection configuration", accepted in *Optics Letters* (2015)

Imagerie polarimétrique d'échantillons dichroïques par brisure d'orthogonalité d'états de polarisation circulaires

Noé Ortega-Quijano, Julien Fade, Emmanuel Schaub, François Parnet, Mehdi Alouini

Institut de Physique de Rennes, CNRS, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France

noe.ortega@univ-rennes1.fr

La mesure par brisure d'orthogonalité est une nouvelle modalité de sondage et d'imagerie polarimétrique qui repose sur l'utilisation d'une source bi-fréquence bi-polarisation fournissant deux ondes légèrement décalés en fréquence et de polarisations orthogonales. Lors de l'interaction d'un tel faisceau avec un échantillon dépolarisant ou dichroïque, l'interférence des deux champs provoque un signal de battement à la différence des fréquences optiques $\Delta\nu$, dont la mesure sur un détecteur rapide permet de remonter aux propriétés dépolarisantes et dichroïques de l'échantillon d'une façon directe, rapide et sensible. Cette technique a été tout d'abord validée à l'aide d'une source laser bi-fréquence à 1.5 μm développée à l'Institut de Physique de Rennes [1]. Nous l'avons ensuite implémentée sur un banc de microscopie confocale à balayage laser avec une source bi-fréquence visible à base d'un montage à modulateur acousto-optique [2]. La mesure d'échantillons biologiques a montré que cette technique fournit effectivement des paramètres de contraste additionnels.

Dans ce travail, nous montrons que cette approche est parfaitement adaptée pour la mesure directe des propriétés de diatténuation d'un matériau dichroïque linéaire. En effet, si l'on considère le cas particulier d'états balancés orthogonaux en polarisation circulaire, on peut démontrer qu'après interaction avec un échantillon dichroïque, l'amplitude de l'intensité de battement normalisée par l'intensité continue est une mesure du degré de dichroïsme linéaire de l'échantillon. En outre, la phase du battement, mesurée à l'aide d'une détection synchrone par exemple, fournit directement l'angle d'orientation de l'anisotropie d'absorption. Les premières mesures de vérification montrent que cette méthode permet de sonder complètement les propriétés optiques d'échantillons dichroïques (réflectance, degré et angle de dichroïsme) en une seule mesure, et de façon intrinsèquement découplée. Ceci constitue un avantage très intéressant pour des applications biomédicales en raison de l'interprétabilité immédiate des images (Figure 1). De plus, le fait que l'interaction avec un échantillon biréfringent ne provoquera pas de brisure d'orthogonalité rend cette technique avantageuse pour le dépôt de la mesure par fibre pour des applications endoscopiques.

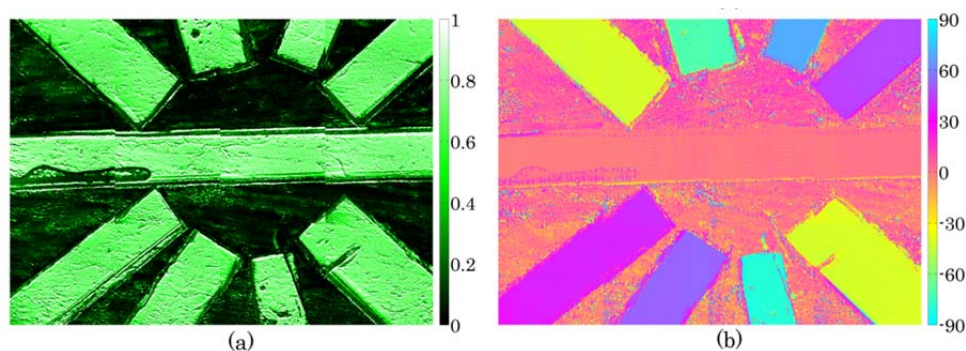


Figure 1 : Degré de dichroïsme linéaire (a) et angle d'orientation (b) pour un échantillon synthétique de 10x7,5 mm constitué d'éléments dichroïques d'orientations variables.

RÉFÉRENCES

- [1] J. Fade and M. Alouini, "Depolarization Remote Sensing by Orthogonality Breaking," *Physical Review Letters* vol. 109, no. 4, p. 043901, 2012.
- [2] E. Schaub, J. Fade, N. Ortega-Quijano, C. Hamel, and M. Alouini, "Polarimetric contrast microscopy by orthogonality breaking," *Journal of Optics* vol. 16, no. 11, p. 122001, 2014.
- [3] N. Ortega-Quijano, J. Fade, E. Schaub, F. Parnet, and M. Alouini, submitted, 2014.

Amélioration de la fusion de donnée en microscopie tomographique diffractive multivue

J. Dupont, X. Orlik

ONERA, avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse

xavier.orlik@onera.fr

Les champs aléatoires donnant lieu à des interférences sont particulièrement complexes à analyser d'un point de vue polarimétrique. De manière classique, on caractérise l'état polarimétrique d'un champ en le projetant suivant 4 états polarimétriques pour en déduire ses paramètres de Stokes.

D'un point de vue expérimental, effectuer ces 4 projections sans modifier le signal à analyser est un véritable challenge lorsqu'il s'agit d'un champ optique aléatoire qui présente de multiples interférences tel un speckle laser. En effet, il faut éviter tout mouvement mécanique lors de la projection sur les différents états polarimétriques. Une solution est d'utiliser des biréfringents variables pilotés en tension, mais le moindre désalignement de leurs axes avec le champ à analyser pourra modifier le front d'onde. Enfin, l'analyse par paramètres de Stokes nécessite de manière classique des soustractions et dans le cadre de l'imagerie, ceci engendre des erreurs importantes dues à la non linéarité des caméras CCD. Afin de contourner ces divers problèmes et de pouvoir analyser le speckle à une échelle spatiale inférieure à celle du grain, nous avons mis au point une nouvelle méthode d'Analyse par Projections Polarimétriques Complètes (APPC). Celle-ci consiste à projeter le signal à analyser non plus sur 4 états polarimétriques mais sur l'ensemble de la surface de la sphère de Poincaré discrétisée.

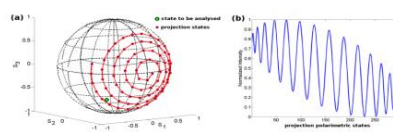


Fig 1. (a) L'état polarimétrique représenté en vert est projeté successivement suivant les états représentés en rouge qui vont décrire l'intégralité de la surface de la sphère de Poincaré discrétisée. (b) La variation d'intensité détectée pendant le balayage précédent caractérise sans ambiguïté l'état polarimétrique analysé.

On obtient ainsi pendant le balayage de la sphère (Fig 1a) une variation d'intensité (Fig 1b) qui est directement reliée à l'état polarimétrique incident. Cette méthode permet de caractériser la précision des résultats obtenus par comparaison des variations expérimentales d'intensités avec les variations théoriques possibles. Elle s'est montrée particulièrement performante : 1% de précision sur les états polarimétriques détectés dans les endroits clairs du speckle (Fig. 2) et 10% de précision pour l'étude des zones sombres où ont lieu les singularités polarimétriques.

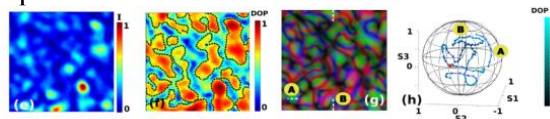


Fig 2. Diffusion sur du papier @532 nm. (a) : intensité du speckle, (f) Degré de Polarisation, (g) état de polarisation où les couleurs RGB sont respectivement égales aux modules des paramètres de Stokes $IS1I$, $IS2I$ et $IS3I$. (h) : trajectoire de l'état polarimétrique dans la sphère de Poincaré pour les segments (A) et (B) définis en (g).

D'autres applications de la méthode APPC seront proposées, notamment en ce qui concerne l'amélioration de l'imagerie de Mueller.

RÉFÉRENCES

- [1] « Polarization analysis of speckle field below its transverse correlation width : application to surface and bulk scattering » Dupont J et. al., Opt. Express; 22(20):24133-41 (Oct, 2014)

Auto-étalonnage et stabilité des polarimètres imageurs

Jihad Zallat¹, Christian Heinrich¹, Marc Karnoukian¹, Alex Lallement, Marc Torzynski, Jean Dellinger¹,

¹Laboratoire ICube, 300 BD Sébastien Brant, 67 412 Illkirch, France

jihad.zallat@unistra.fr

L'étalonnage des systèmes polarimétriques est un aspect fondamental lorsqu'il s'agit d'effectuer des mesures quantitatives de la polarisation de la lumière. Cette étape délicate nécessite d'être effectuée avec un grand soin surtout lorsqu'il s'agit de polarimètres imageurs.

Beaucoup de systèmes de mesure de la polarisation utilisent des éléments de modulation de la phase contrôlés électriquement ce qui leur donne un avantage indéniable en terme de rapidité et de facilité d'utilisation. Cependant, ces éléments sont connus par leur sensibilité à la température ce qui amène à des procédures d'étalonnage récurrentes des polarimètres. Par ailleurs, les procédures d'étalonnage des polarimètres requièrent l'utilisation d'éléments polarisants supplémentaires pour pouvoir les mener à bien.

Dans cette présentation nous présenterons :

- 1) Une nouvelle architecture d'Analyseurs/Générateurs d'états de polarisation (PSA/PSG) basés sur des modulateurs à cristaux liquides. Dans cette architecture, les effets de décalages dus à la température des modulateurs sont auto-compensés. Cette architecture est très stable dans le temps à court et à long terme.
- 2) Une méthode d'auto-étalonnage spectrale utilisable pour tout polarimètre. Cette méthode ne requiert pas l'utilisation d'éléments de polarisation autres que le PSA/PSG.
- 3) Une étude de sensibilité spectrale de la matrice de mesure polarimétrique qui caractérise cette architecture.

Cette architecture a été utilisée pour construire un polarimètre imageur «POLARIS » dédié à l'étude des tissus biologiques. Des résultats images issues de cet instrument sur des expérimentations de biopsies optiques sur des tissus de « petit » animal seront présentés.

RÉFÉRENCES

- [1] Jihad Zallat, M. Torzynski, A. Lallement, Ch. Heinrich, "Dispositif pour compenser la dérive d'un déphasage d'un modulateur d'état de polarisation d'un faisceau lumineux", Brevet international N° PCT n° PCT/FR2014/051539.
- [2] Jihad Zallat, Marc Torzynski, and Alex Lallement, "Double-pass self-spectral-calibration of a polarization state analyzer," Opt. Lett. 37, 401-403 (2012)
- [3] Jihad Zallat et al 2006 J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 8 807 doi:10.1088/1464-4258/8/9/015.

Statistiques de polarisation en milieu désordonné : Prédiction, modélisation et instrumentation

Myriam ZERRAD, Ayman GHABBACH, Gabriel SORIANO, Claude AMRA

Institut Fresnel – Equipe CONCEPT, Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille

myriam.zerrad@fresnel.fr

Mots-clés : Lumière complexe et milieux désordonnés, optique électromagnétique et optique statistique, polarisation et cohérence...

L'observation des milieux désordonnés par des méthodes optiques n'est pas nouvelle ; en témoignent les progrès considérables récemment atteints dans le domaine de l'imagerie en milieu complexe, pour des applications notamment liées au vivant, au spatial... Ces techniques font appel aux interactions lumière/matière de type linéaire ou non-linéaire, harmoniques ou transitoires, et mettent en jeu la microscopie en champ proche ou lointain, la polarisation ou la cohérence, le façonnage ou la correction des fronts d'onde, la tomographie, l'illumination structurée, la déplétion forcée...

Toutefois la majorité de ces techniques est déterministe ; cela signifie que l'on analyse en sortie de système des signaux qui résultent d'une excitation contrôlée à l'entrée, quand bien même cette excitation balaierait un grand nombre de paramètres (longueur d'onde, polarisation, incidence...).

Dans ce cadre, la scrutation stochastique apporte une alternative originale complémentaire des méthodes précitées. Cette analyse est rendue possible au travers de la polarisation partielle de la lumière, caractéristique d'un champ électromagnétique dont les états ne sont que partiellement (statistiquement) connus. En d'autres termes, une lumière partiellement (ou totalement) dépolarisée transporte un désordre temporel que l'on peut projeter sur un milieu désordonné (désordre spatial). Ces propriétés temporelles impactent directement les histogrammes spatiaux des paramètres lumineux (état et degré de polarisation, cohérence temporelle...), dont l'analyse statistique fournit alors de nouvelles signatures spécifiques des milieux sondés. Ces signatures sont également utiles à la quantification des effets mémoire à la traversée de milieux désordonnés, largement utilisés pour l'imagerie en milieu diffusant.

Nous présenterons dans cet exposé les derniers résultats marquants obtenus dans ce domaine en couplant l'optique électromagnétique à l'optique statistique ainsi que le développement d'une instrumentation dédiée permettant de mesurer les histogrammes de dop et de les confronter à la prédiction. Nous verrons ainsi comment les lois de densité de probabilité du degré de polarisation évoluent avec la microstructure des milieux et constituent des signatures pertinentes des milieux complexes.

Travail réalisé dans le cadre du projet ANR TRAMEL (2011-2014)

<http://conceptatfresnel.wix.com/tramel>

REFERENCES

1. M. Zerrad, G. Soriano, A. Ghabbach, and C. Amra, "Light enpolarization by disordered media under partial polarized illumination: The role of cross-scattering coefficients," *Opt. Express* 21, 2787-2794 (2013).
2. G. Soriano, M. Zerrad, and C. Amra, "Enpolarization and depolarization of light scattered from chromatic complex media," *Opt. Express* 22, 12603-12613 (2014)
3. A. Ghabbach, M. Zerrad, G. Soriano, and C. Amra, "Accurate metrology of polarization curves measured at the speckle size of visible light scattering," *Opt. Express* 22, 14594-14609 (2014)
4. A. Ghabbach, M. Zerrad, G. Soriano, S. Liukaityte, and C. Amra, "Depolarization and enpolarization DOP histograms measured for surface and bulk speckle patterns", *Optics Express*, Vol. 22, Iss. 18, p. 21427 (2014)
5. J. Dupont, X.r Orlik, A. Ghabbach, M. Zerrad, G. Soriano, and C. Amra, "Polarization analysis of speckle field below its transverse correlation width : application to surface and bulk scattering," *Opt. Express* 22, 24133-24141 (2014)

Adaptive polarimetric image representation for contrast enhancement of a polarized beacon embedded in fog

Swapnesh Panigrahi¹, Julien Fade¹, Mehdi Alouini¹

¹ *Institut de Physique de Rennes, Campus de Beaulieu 263 av. Général Leclerc, 35042 Rennes, France*

swapnesh.panigrahi@univ-rennes1.fr

Polarimetric imaging provides an alternative means for imaging that has been used in a wide variety of areas like medical imaging [1], machine vision, remote sensing and contrast enhancement through turbid media [2]. In general, polarimetric imaging provides a multidimensional image that needs to be reduced to a single image for interpretation or automatic detection. The final image is produced such that the contrast of the polarimetric non-uniformities in the imaged scene are maximized. In this work, we present the contrast enhancement of polarized light source through fog by using an image representation that is shown to be optimal and differs from the standard image representations used in literature.

We have set up a long distance imaging experiment spanning over a kilometer to obtain polarimetric images of a scene containing an incoherent linearly polarized light source embedded in fog [3]. Using a Wollaston prism-based snapshot polarimetric camera, we obtain two simultaneous images of a scene in orthogonal polarization directions to form a two dimensional polarimetric image. A suitable linear combination of the two images is sought such that the contrast of the polarized source is maximized in the resulting image.

We use contrast-to-noise ratio (CNR) as a local measure of contrast of the source with respect to its immediate neighbouring pixels. A contrast maximizing linear combination is obtained by searching for the maximum CNR in the computational space of all linear combinations. Further, we use a correlated Gaussian noise model to analytically maximize the expression for CNR. In the process, we identify the noise correlation in the polarimetric channels as being the physical parameter that influences the weights of the optimal linear combinations. In case of our experimental conditions, we show that the derived CNR maximizing representation also corresponds to a minimum variance estimator of the mean source intensity in the Maximum likelihood sense [4].

Using such an information theoretical approach, we also compute the optimal gain in contrast that can be obtained by using a polarization sensitive camera as a function of the correlation parameter. We compare the experimentally obtained contrast gain as a function of estimated background correlation and compare it with theoretical predictions and find that they agree well. The derived representation is simple and easily implementable under real-time processing constraints. The study of a such a system in real fog has potential applications in navigation and can serve as an intermediate image for automatic detection or as direct visual aide. Thus, enhancing visibility in obscured weather conditions.

RÉFÉRENCES

- [1] M. P. Rowe, J. S. Tyo, N. Engheta, and E. N. Pugh, "Polarization-difference imaging : a biologically inspired technique for observation through scattering media," *Opt. Lett.*, vol. 20, pp. 608–610, Mar 1995.
- [2] H. Ramachandran and A. Narayanan, "Two-dimensional imaging through turbid media using a continuous wave light source," *Optics Communications*, vol. 154, no. 5, pp. 255 – 260, 1998.
- [3] J. Fade, S. Panigrahi, A. Carré, L. Frein, C. Hamel, F. Bretenaker, H. Ramachandran, and M. Alouini, "Long-range polarimetric imaging through fog," *Appl. Opt.*, vol. 53, pp. 3854–3865, Jun 2014.
- [4] J. Fade, S. Panigrahi, and M. Alouini, "Optimal estimation in polarimetric imaging in the presence of correlated noise fluctuations," *Opt. Express*, vol. 22, pp. 4920–4931, Mar 2014.

Super-résolution en microscopie holographique numérique pour améliorer la reconstruction tridimensionnelle d'hologrammes

Nicolas Verrier¹, Corinne Fournier¹

¹ Université de Lyon, CNRS UMR-5516 Laboratoire Hubert Curien, Université de Saint-Etienne Jean Monnet, 18 rue Professeur Benoît Lauras, 42000 Saint-Etienne

nicolas.verrier@univ-st-etienne.fr

La microscopie holographique numérique est une méthode de diagnostic optique très populaire dans des domaines tels que l'imagerie biomédicale, les contrôles non-destructifs ou la mécanique des fluides. En effet, un hologramme renferme une information tridimensionnelle sur le milieu étudié. L'utilisation de caméras rapides permet d'exploiter pleinement la dimension temporelle et offre ainsi la possibilité de suivre des phénomènes rapides dans l'espace et le temps. Dans ce cadre, la précision de la reconstruction tridimensionnelle des hologrammes numériques est fondamentale, notamment pour la reconstruction de trajectoires d'objets micro-métriques et nanométriques. Cependant, les hologrammes numériques présentent souvent un mauvais rapport signal à bruit et l'utilisation de caméras rapides limite la résolution et la dimension des hologrammes acquis. Ces phénomènes réduisent la précision de la reconstruction.

Récemment, l'utilisation de méthodes de super-résolution numérique (pixel super-resolution), couramment utilisées en imagerie conventionnelle, ont montré leur potentiel pour l'amélioration de la restitution d'images de microscopie sans lentille [1, 2]. Ces approches sont basées sur l'exploitation de la redondance d'information contenue dans une pile d'images légèrement décalées les unes par rapport aux autres. Elles permettent un gain en résolution des hologrammes et repoussent la limite classique de Nyquist-Shannon. Elles restent cependant très sensibles à la présence d'objets statiques ou d'objets ayant un mouvement différent de celui des objets d'intérêt.

L'utilisation d'approches "problèmes inverses" pour la reconstruction d'hologrammes [3, 4] permet, par ailleurs, d'améliorer la précision de la reconstruction 3D. Plutôt que de réaliser une mise au point numérique des objets étudiés, ces approches visent à trouver, au sens du maximum de vraisemblance, le modèle numérique rendant le mieux compte des données expérimentales. Cette approche, est optimale d'un point de vue traitement du signal [5, 6] et permet de concevoir des algorithmes non-supervisés.

Nous proposons de présenter nos travaux démontrant le potentiel de la combinaison des approches inverses et des méthodes de super-résolution numérique [7] pour l'amélioration de la reconstruction d'hologrammes.

RÉFÉRENCES

- [1] W. Bishara, T.-W. Su, A. F. Coskun, and A. Ozcan, "Lensfree on-chip microscopy over a wide field-of-view using pixel super-resolution," *Opt. Express*, vol. 18, pp. 11181–11191, May 2010.
- [2] O. Mudanyali, E. McLeod, W. Luo, A. Greenbaum, A. F. Coskun, Y. Hennequin, C. P. Allier, and A. Ozcan, "Wide-field optical detection of nanoparticles using on-chip microscopy and self-assembled nanolenses," *Nature photonics*, vol. 7, no. 3, pp. 247–254, 2013.
- [3] F. Soulez, L. Denis, C. Fournier, Éric Thiébaud, and C. Goepfert, "Inverse-problem approach for particle digital holography : accurate location based on local optimization," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 24, pp. 1164–1171, Apr 2007.
- [4] A. Bourquard, N. Pavillon, E. Bostan, C. Depeursinge, and M. Unser, "A practical inverse-problem approach to digital holographic reconstruction," *Optics Express*, vol. 21, no. 3, pp. 3417–3433, 2013.
- [5] C. Fournier, L. Denis, and T. Fournel, "On the single point resolution of on-axis digital holography," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 27, pp. 1856–1862, Aug 2010.
- [6] K. I. Mortensen, L. S. Churchman, J. A. Spudich, and H. Flyvbjerg, "Optimized localization analysis for single-molecule tracking and super-resolution microscopy," *Nature Methods*, vol. 7, no. 5, pp. 377–381, 2010.
- [7] N. Verrier and C. Fournier, "Digital holography super-resolution for accurate three dimensional reconstruction of particle holograms," *Optics Letters*, vol. 40, no. 2, pp. 217–220, 2015.

Blind fluorescence structured illumination microscopy: A new reconstruction strategy

Simon LABOUESSE¹, Marc ALLAIN¹, Jérôme IDIER², Sebastien BOURGUIGNON², Penghuan LIU²,
Anne SENTENAC¹

¹ Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel UMR 7249, 13013 Marseille, France

² L'UNAM Université, École Centrale de Nantes, CNRS, IRCCyN, UMR 6597, 44321 Nantes, France

marc.allain@fresnel.fr

Classical wide-field fluorescence microscopy aims at imaging the fluorescence density ρ emitted from a marked biological sample. In the linear regime, the recorded intensity is related to ρ via a simple convolution model. If one proceeds to M distinct acquisitions, the data set $\{y_m\}_{m=1}^M$ is given by

$$y_m = h \otimes (\rho \times I_m) + \varepsilon_m \quad m = 1 \dots M \quad (1)$$

where $\otimes$ is the convolution operator, h is the point-spread function (PSF), I_m is the m -th illumination intensity pattern, and ε_m is a perturbation term accounting for (electronic) noise source in the detection and model errors.

The final resolution of the microscope is ultimately limited by the optical transfer function (OTF), whose cutoff frequency is fixed by the emitted wavelength and by the numerical aperture of the microscope objective. This limit is strict with uniform illuminations, however, structured illuminations can be used to shift high-frequency components of the object into the OTF support [1]. This strategy results in the standard *structured illumination microscopy* (SIM) that resorts to harmonic illumination patterns in order to achieve super-resolution reconstruction.

Because SIM uses the illumination patterns as references, strong artefacts are induced if these patterns are not known with sufficient accuracy [2]. From a practical viewpoint, this condition is very stringent and restricts standard SIM to thin samples or to samples with small refraction indices [2]. The *Blind-SIM* approach proposed in [2] is a potential solution to tackle this problem : it was developed to retrieve the sample fluorescence density without *a priori* information on the illumination patterns. Doing so, a major step forward to extend the potential of SIM techniques is performed. The strategy proposed in [2] relies on the *simultaneous* reconstruction of the fluorescence density and of the illumination patterns. More precisely, joint reconstruction is iteratively achieved through the minimisation of a constrained least-squares problem based on conjugate gradient iterations. However, the convergence time of such a scheme (as reported in [2, Supplementary material]) clearly restricts the applicability of the resulting blind-SIM strategy.

Here, the implementation issues of *Blind-SIM* are revisited and drastically simplified : a novel efficient numerical implementation is proposed, which decreases the execution time by several orders of magnitude. Moreover, this strategy can be highly parallelized, opening the way to real-time blind-SIM reconstructions.

RÉFÉRENCES

- [1] R. Heintzmann and C. Cremer, "Laterally modulated excitation microscopy : improvement of resolution by using a diffraction grating," in *Proc. SPIE, Optical Biopsies and Microscopic Techniques III*, pp. 185–196, 1999.
- [2] E. Mudry, K. Belkebir, J. Savatier, E. Le Moal, C. Nicoletti, and A. Sentenac, "Structured illumination microscopy using unknown speckle patterns," *Nature Photonics*, vol. 6, pp. 312–315, 2012.

Microscopie haute résolution de plasmon de surface et de modes guidés: Application aux cellules vivantes

Lotfi Berguiga², Laura Streppa¹, Elise Boyer-Provera¹, Cristina Martinez-Torres¹, L. Schaeffer³, Juan Elezgaray⁴, Alain Arneodo¹, et Françoise Argoul¹

¹CNRS, UMR 5672, Université de Lyon, ENS de Lyon, France

²CNRS, USR 3010, Université de Lyon, ENS de Lyon, France

³CNRS, UMR 5239, Université de Lyon, ENS de Lyon, France

⁴CNRS, UMR 5248, Université Bordeaux 1-ENITAB, Pessac, France

lotfi.berguiga@ens-lyon.fr

La microscopie de plasmon de surface est reconnue pour sa très grande sensibilité de détection des nanostructures diélectriques confinées au voisinage d'un film mince d'or. L'amplification du champ électromagnétique par la résonance plasmon est à l'origine de la grande sensibilité de la technique. L'excitation du plasmon par un objectif à forte ouverture numérique et une mesure optique par interférométrie hétérodyne poussent la limite de résolution à la limite de diffraction et confèrent au microscope la capacité à observer les cellules biologiques sans marquages [1-6]. Nous avons étendu l'application de ce microscope à la microscopie des modes guidés avec une résolution sublongueur d'onde. En effet dans les objets d'épaisseurs supérieures à la centaine de nanomètre le plasmon de surface laisse place aux modes guidés. Nous montrerons comment pour des films minces, les paramètres indice de réfraction et épaisseur peuvent être déduits des courbes $V(z)$, réponse optique du microscope [7]. Nous illustrerons cette présentation par l'observation de cellules vivantes adhérentes (Myoblastes de ligné cellulaire C2C12) en milieu liquide, et par la visualisation dans le temps du remodelage des complexes d'adhésions. A partir des courbes $V(z)$ nous mettons en évidence pour la première fois le couplage entre le plasmon de surface et les modes guidés dans des cellules fixées (en milieu liquide) révélant l'existence d'une structure homogène à la limite du noyau.

RÉFÉRENCES

- [1] L. Berguiga, S. Zhang, F. Argoul & J. Elezgaray. High-resolution surface-plasmon imaging in air and in water : $V(z)$ curve and operating conditions. *Optics Letters* 32, 509–511 (2007).
- [2] T. Roland, L. Berguiga, J. Elezgaray & F. Argoul. Scanning surface plasmon imaging of nanoparticles. *Physical Review B* 81, 235419 (2010).
- [3] J. Elezgaray, T. Roland, L. Berguiga & F. Argoul. Modeling of the scanning surface Plasmon microscope. *Journal of the Optical Society of America A* 27, 450–457 (2010).
- [4] L. Berguiga, T. Roland, K. Monier, J. Elezgaray & F. Argoul. Amplitude and phase images of cellular structures with a scanning surface plasmon microscope. *Optics Express* 19, 6571–6586 (2011).
- [5] L. Berguiga, E. Boyer-Provera, J. Elezgaray & F. Argoul. Sensing Nanometer Depth of Focused Optical Fields with Scanning Surface Plasmon Microscopy. *Plasmonics* 8, 715–722 (2013).
- [6] E. Boyer-Provera, A. Rossi, L. Oriol, C. Dumontet, A. Plesa, L. Berguiga, J. Elezgaray, A. Arneodo & F. Argoul. Wavelet based decomposition of high resolution surface plasmon microscopy $V(Z)$ curves at visible and near infrared wavelengths. *Optics Express* 21, 7456–7477 (2013).
- [7] L. Berguiga, E. Boyer-Provera, C. Martinez-Torres, J. Elezgaray, A. Arneodo & F. Argoul. Guided wave microscopy : mastering the inverse problem. *Optics Letters* 38, 4269–4272 (2013).

Imagerie polarimétrique pour le diagnostic du cancer du col utérin : une étude préclinique

Jean Rehbinder¹, Stanislas Deby¹, Huda Haddad¹, Benjamin Teig², André Nazac³, Angelo Pierangelo¹
François Moreau¹

¹ LPICM, Ecole polytechnique, CNRS, 91128 Palaiseau, France

²Service d'anatomie pathologique, CHU de Bicêtre, 78 rue du Général Leclerc, 94270 Le Kremlin-Bicêtre, France

³Service de Gynécologie Obstétrique, CHU de Bicêtre AP-HP, 78 rue du Général Leclerc, 94275 Le Kremlin-Bicêtre, France

angelo.pierangelo@polytechnique.edu

Depuis quelques années l'analyse des tissus biologiques en lumière polarisée prend son essor permettant d'envisager des applications cliniques très prometteuses en particulier pour le diagnostic des lésions précancéreuses et cancéreuses dans plusieurs organes. Des études récentes en imagerie de Mueller du col utérin ont montré des résultats très encourageants [1]. En s'appuyant sur ses résultats le LPICM a lancé une étude préclinique en collaboration avec trois hôpitaux parisiens (Institut Gustave Roussy, Kremlin Bicêtre, Institut Mutualiste Montsouris) dans le cadre d'un contrat financé par L'Institut National du Cancer (INCa). Cette étude *ex vivo* qui utilise un polarimètre de type Mueller grand champ en réflexion, va conduire à établir la performance du diagnostic polarimétrique comparée à celle fournie par les pathologistes. Le protocole mis en place s'insère dans la procédure habituelle de l'anatomie pathologique. Les contrastes polarimétriques observés sont comparés avec l'analyse histologique classique qui représente la « vérité de terrain ». Parmi les effets polarimétriques observés sur les pièces de conisations on a choisi d'étudier dans le détail la biréfringence qui semble caractériser les zones saines. On a donc évalué la capacité de la méthode à détecter les zones suspectes en mesurant ses indicateurs de performance (sensibilité et spécificité) sur environ 30 échantillons (à ce jour). Les performances obtenues actuellement atteignent 70% pour la sensibilité et 60% pour la spécificité déjà meilleurs par rapport aux performances moyennes de la colposcopie classique. Une approche multiparamétrique devrait dans le futur permettre d'augmenter significativement ces résultats.

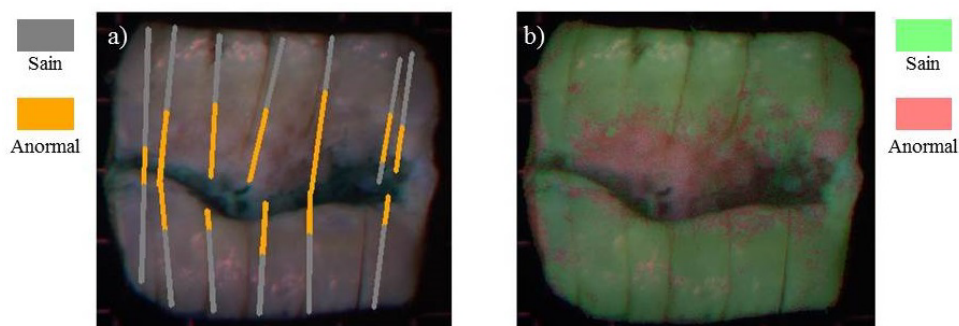


Figure 1. a) Photo d'un échantillon de col utérin *ex-vivo*, le diagnostic histologique est reporté sous forme de traits de couleur à proximité des lignes de coupe. b) La cartographie polarimétrique est ajoutée en transparence sur l'image de l'échantillon

REFERENCES

- [1] A. Pierangelo, A. Nazac, A. Benali, P. Validire, H. Cohen, T. Novikova, B. Haj Ibrahim, S. Manhas, C. Fallet, M.R. Antonelli, and A. De Martino 'Polarimetric imaging of uterine cervix : a case study' Opt. Express, 21, 14120 -14130 (2013).

Imagerie acousto-optique par hole-burning spectral dans des cristaux de $\text{Tm}^{3+}:\text{YAG}$

Jean-Baptiste Laudereau¹, Philippe Goldner², Alban Ferrier², Anne Chauvet³, Thierry Chanelière³ et François Ramaz¹

¹ Institut Langevin - Ondes et Images, CNRS UMR 7587, ESPCI ParisTech, PSL Research University, UPMC, 1 rue Jussieu, 75005 Paris

² Institut de Recherche de Chimie Paris, CNRS UMR 8247, Chimie ParisTech, 11 rue Pierre et Marie Curie, 75005 Paris

³ Laboratoire Aimé Cotton, CNRS UMR 9188, Université P-Sud, Bâtiment 505 Campus d'Orsay, 91405 Orsay
jean-baptiste.laudereau@espci.fr

L'imagerie acousto-optique est une technique couplant lumière et ultrasons qui permet d'accéder au contraste optique en profondeur dans des milieux diffusants (loin au-delà du libre parcours moyen de transport) avec une résolution échographique (le millimètre ou moins). Lorsqu'une impulsion ultrasonore traverse une zone illuminée, elle va, par effet acousto-optique, décaler la fréquence de la lumière de plus ou moins la fréquence ultrasonore. Un système de filtrage adéquat permet alors mesurer l'intensité lumineuse locale. Néanmoins, il est question ici de photons décalés de quelques MHz – à comparer à la fréquence de la lumière – en très faible quantité – environ 0,1% du flux total –, ce qui rend délicat cette opération de filtrage. Nous avons récemment mis au point un système de détection reposant sur de l'holographie dynamique par adaptation de front d'onde dans des cristaux de SPS ($\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$) [1] qui présente l'avantage de fonctionner autour de 800 nm, en plein cœur de la fenêtre thérapeutique optique (région spectrale entre 700 et 1100 nm dans laquelle les tissus biologiques sont le moins absorbant). Ce montage a déjà fait ses preuves *ex-vivo* en détectant des métastases de mélanomes dans des biopsies de foie alors même que l'échographie échoue à les imager [2].

Dans une optique de converger vers une application clinique de l'imagerie acousto-optique, l'étape suivante est l'imagerie de milieux *in vivo*. Malheureusement, ces milieux décorrèlent le speckle sur des temps caractéristiques inférieurs à la milliseconde, rendant délicate l'utilisation du SPS dont le temps de réponse est de l'ordre de quelques millisecondes. Il a été montré que le creusement spectral (hole-burning spectral) dans la raie inhomogène (autour de 793 nm) de cristaux de $\text{Tm}^{3+}:\text{YAG}$ permettait d'obtenir un filtre très étroit (quelques MHz) capable de filtrer directement les photons marqués [3]. Cette mesure du flux de photons marqués est ainsi insensible à la décorrélation du speckle, ce qui en fait un bon candidat pour l'imagerie *in vivo*. Nous proposons ici une technique d'imagerie acousto-optique par hole-burning spectral sous champ magnétique permettant d'obtenir une meilleure efficacité de filtrage.

REFERENCES

- [1] Farahi *et al.* Photorefractive Acousto-Optic Imaging in Thick Scattering Media at 790 Nm with a $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6:\text{Te}$ Crystal. Optics Letters 35, no. 11 (juin 2010)
- [2] Laudereau *et al.* Multi-Modal Acousto-Optic/ultrasound Imaging of Ex Vivo Liver Tumors at 790 Nm Using a $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ Wavefront Adaptive Holographic Setup. Journal of Biophotonics (septembre 2014)
- [3] Li *et al.* Pulsed Ultrasound-Modulated Optical Tomography Using Spectral-Hole Burning as a Narrowband Spectral Filter. Applied Physics Letters 93, no. 1 (juillet 2008)

Identification et sécurisation des capteurs biométriques par une approche OCT (Optical Coherence Tomography)

François LAMARE¹, Yaneck GOTTESMAN¹, Bernadette DORIZZI¹

¹ Télécom SudParis /CNRS UMR 5157 SAMOVAR/ 9 rue Charles Fourier 91100 Evry

francois.lamare@telecom-sudparis.eu

La biométrie est l'ensemble des techniques utilisées pour l'identification de personnes. La modalité biométrique la plus répandue est celle des empreintes digitales. Les capteurs usuels permettent d'acquérir des images 2D d'intensité qui sont exploitées pour l'identification. Les outils utilisés à cette fin sont considérés à l'heure actuelle comme suffisamment optimisés. Un des problèmes critiques rencontrés actuellement en biométrie concerne les failles de sécurité lors de l'étape d'identification. Ces failles sont dues d'après nous à la faible quantité d'informations enregistrée lors de cette étape. Pour pallier à ces défauts de sécurité, des travaux ont été réalisés dans le but d'améliorer les capteurs déjà existants et les méthodes de traitement associées. Ils sont souvent complétés par des dispositifs évaluant la vitalité du tissu examiné (débit sanguin, ...). Malgré ces précautions, les problèmes de sécurité ne sont pas encore résolus. Elles ont en effet encouragé les faussaires à mettre en œuvre de nouvelles techniques de leurre. La sécurisation des capteurs reste donc un défi majeur.

Par conséquent, d'autres alternatives sont à l'étude. Parmi elles, la Tomographie par Cohérence Optique (OCT) est particulièrement intéressante. L'OCT est un capteur sans contact qui permet d'imager en 3D les structures internes des tissus humains. L'OCT a été initialement développé pour des applications médicales. Son introduction en biométrie est par contre beaucoup plus récente. La majorité des travaux dans ce domaine ont surtout visé à montrer son potentiel pour la détection d'usurpation d'identité (spoofing detection). En parallèle, les études sur la pertinence de l'OCT en identification de personnes sont encore peu nombreuses et son potentiel pour réaliser une reconnaissance biométrique sécurisée reste à montrer.

En réponse à cette problématique, nous présenterons une étude sur la faisabilité de l'identification biométrique avec l'OCT, et notamment sur la qualité des images obtenues. Nous détaillerons la méthodologie que nous avons élaborée afin d'évaluer les performances de l'OCT en identification, en regard de celles de capteurs 2D usuels. Cette méthodologie a été mise en œuvre sur une petite base de données d'images 2D classiques et 3D-OCT, acquises grâce à un capteur grand champ que nous avons développé. Les résultats expérimentaux qui seront présentés montrent que dans des conditions d'acquisition normales, la qualité des images OCT est similaire à celles des images des capteurs 2D usuels. Nous montrerons également que dans des conditions d'acquisitions difficiles (humidité du doigt importante), la qualité des images OCT et les performances en vérification sont très stables, contrairement au cas des capteurs 2D.

Par ailleurs, l'OCT ouvre de nouvelles voies en biométrie. L'une d'entre elles consiste à exploiter le derme papillaire (couche située en profondeur entre le derme et l'épiderme) qui possède également une structure en sillons. Nous présenterons alors une étude visant à montrer son intérêt en identification et en sécurisation. Ce travail repose sur l'évaluation de sa stabilité pour un individu, de son caractère discriminant entre des individus différents, et de sa similarité avec l'empreinte classique. Dans le cas où le derme papillaire ressemblerait à l'empreinte classique, il pourrait être utilisé à la place de cette dernière, facilement falsifiable et pouvant subir diverses altérations (cicatrices, humidité,...). Dans le cas où les deux empreintes seraient différentes, le derme papillaire fournirait alors une nouvelle information difficilement accessible par des outils conventionnels, et donc exploitable pour réaliser une identification très sécurisée.

Restauration-Segmentation non supervisée d'images de Mueller en condition d'éclairage non-uniforme

Marc Karnoukian¹, Sylvain Faisan¹, Jihad Zallat¹, Christian Heinrich¹

¹ Laboratoire ICube, 300 BD Sébastien Brant, 67 412 Illkirch, France

karnoukian@unistra.fr

Plusieurs algorithmes de restauration-segmentation d'images codées en polarisation ont été proposés dans la littérature (par ex. [1, 2]). Ces méthodes souffrent de deux limitations importantes : i) le nombre de classes en lesquelles l'image est segmentée n'est pas facile à déterminer a priori, ii) la non uniformité de l'éclairage affecte la qualité de la segmentation et peut aboutir à des erreurs de classification importantes.

Nous proposons ici un algorithme de traitement permettant de segmenter des images polarimétriques qui élimine ces problèmes. Il repose sur une approche globale de segmentation-estimation conjointe tenant compte de l'admissibilité physique des matrices de Mueller tout en s'affranchissant de la non-uniformité de l'éclairage. Le traitement est basé sur le modèle d'observation suivant : pour tout pixel $\mathbf{s}$ de l'image,

$$\mathbf{I}(\mathbf{s}) = \kappa(\mathbf{s}) \mathbf{P} \underline{\mathbf{M}_K}(\mathbf{s}) + \varepsilon(\mathbf{s}),$$

où $\underline{\mathbf{M}_K}(\mathbf{s})$ est la matrice de Mueller associée à la classe K , $\varepsilon(\mathbf{s})$ le bruit de mesure supposé Gaussien et $\mathbf{P}$ est la matrice de mesures polarimétriques. Le terme $\kappa(\mathbf{s})$ tient compte de la non-uniformité de l'éclairage. Le soulignement représente l'opérateur de vectorisation qui, ici, transforme une matrice 4×4 en un vecteur colonne de dimension 16. L'approche globale commence d'abord par initialiser le modèle avec ($K = 1$). L'algorithme d'espérance-maximisation (EM) est utilisé pour estimer les paramètres du modèle. Ensuite, le nombre de classe est augmenté de 1 (on divise une classe en deux en suivant la stratégie décrite dans [2]) si au moins une classe parmi les K classes ne satisfait pas un critère donné. Ce critère est basé sur des tests statistiques : un test mesurant la normalité (Jarque-Bera [3]) ou l'unimodalité (Dip test [5]) des résidus de chaque classe K . La procédure est répétée jusqu'à ce que toutes les classes répondent au critère.

La méthode proposée détermine automatiquement le nombre de classes. Une carte de segmentation est alors extraite à partir des paramètres estimés en utilisant une régularisation de Pott.

Un exemple sur des données synthétiques illustrera l'intérêt de l'approche en comparant les cartes de segmentation issues de notre méthode avec celle issue de [1]. Un second exemple, basé sur des données acquises en laboratoire viendra compléter la présentation où l'on montrera que l'on retrouve les différents éléments constituant la scène imagée.

RÉFÉRENCES

- [1] J. Zallat, C. Heinrich, and M. Petremand, "A Bayesian approach for polarimetric data reduction : the Mueller imaging case.," Optics express, vol. 16, no. 10, pp. 7119–7133, 2008.
- [2] G. Sfikas, Ch. Heinrich, J. Zallat, Ch. Nikou, N. Galatsanos, Recovery of polarimetric Stokes images by spatial mixture models, Journal of the Optical Society of America A, vol. 28, n. 3, pp. 465-474, 2011
- [3] D. Ververidis and C. Kotropoulos, "Gaussian Mixture Modeling by Exploiting the Mahalanobis Distance," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 56, pp. 2797–2811, 2008.
- [4] C. Jarque and A. Bera, "A test for normality of observations and regression residuals," ... Statistical Review/Revue Internationale de Statistique, vol. 55, pp. 163–172, 1987.
- [5] J. A. Hartigan and P. M. Hartigan, "The Dip Test of Unimodality," 1985.

Déconvolution et régularisation à l'aide de l'algorithme Fuzzy C-Means pour la segmentation d'image optiques 3D extrêmement floues

Benoit Lelandais¹, Frédéric Ducongé¹

¹ CEA, DSV, I2BM, MIRCen - CNRS URA2210, LMN - UPS, 18 route du Panorama, 92 260 Fontenay-aux-Roses, France

benoit.lelandais2@cea.fr

L'imagerie fDOT (*fluorescence Diffuse Optical Tomography*) est une technique d'imagerie optique qui permet de reconstruire un signal fluorescent en 3D dans un organisme vivant ou un tissus biologique. Ce type d'imagerie est très utilisé en recherche préclinique chez le petit animal pour suivre *in vivo* la biodistribution de composés fluorescents (par exemple des protéines). Du fait de la diffusion et de l'absorption de la lumière dans les tissus, les images sont extrêmement floues. La segmentation des images fDOT permet de quantifier la quantité de molécules fluorescentes dans les tissus. Seulement, le flou dans les images rend la segmentation difficile, et les mesures effectuées ne correspondent pas à la quantité réelle de molécules fluorescentes. Ainsi, il est important de déconvoluer les images en vue d'améliorer leur segmentation, et ainsi leur quantification.

En imagerie optique, la méthode de déconvolution ML (*Maximum Likelihood*) est souvent utilisée car la non-négativité est assurée. Cependant, elle a le désavantage d'amplifier le bruit. C'est pourquoi régularisation est souvent employée avec cette méthode de déconvolution, telle que la régularisation nommée TV (*Total Variation (norme L1)*), visant à utiliser l'information de voisinage pour réduire le bruit.

Dans cette étude, nous proposons d'utiliser l'algorithme FCM (Fuzzy C-Means) pour régulariser la méthode ML. Soient $\mathcal{I}$ l'image à déconvoluer, $\mathcal{O}$ l'image réelle, $\mathcal{H}$ la PSF (*Point Spread Function*), μ_{ij} le degré d'appartenance du voxel i vis-à-vis de la classe j , et c_j le centroïde de la classe j , avec $j = \{1, \dots, C\}$ où C est le nombre de classes défini par l'utilisateur. La fonction à minimiser est donnée par :

$$J_{TV} = \sum_i -\mathcal{I}_i \ln(\mathcal{H} \otimes \mathcal{O})_i + (\mathcal{H} \otimes \mathcal{O})_i + \lambda \sum_i \sum_j \mu_{ij}^m \|\mathcal{O}_i - c_j\|^2. \quad (1)$$

où $\otimes$ est l'opérateur de convolution, λ est un paramètre de régularisation, et m un paramètre contrôlant le flou. La minimisation de l'équation 1 conduit à la mise à jour alternée de μ , c et $\mathcal{O}$ comme suit :

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_k \left(\frac{\|\mathcal{O}_i - c_j\|}{\|\mathcal{O}_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad c_j = \frac{\sum_i \mu_{ij} \mathcal{O}_i}{\sum_i \mu_{ij}} \quad \mathcal{O}^{t+1} = \frac{\mathcal{O}^t}{1 + 2\lambda \sum_j \mu_{ij}^m (\mathcal{O}_i^t - c_j)} \frac{\mathcal{I}_i}{(\mathcal{H} \otimes \mathcal{O}^t)_i} \otimes \mathcal{H}'_i \quad (2)$$

où $\mathcal{H}'$ est la symétrie de $\mathcal{H}$. L'intérêt de la régularisation proposée est que l'intensité des voxels est concentrée autour des centroïdes des classes. Ainsi, la régularisation dépend du nombre de classes choisi.

Notre méthode a été évaluée sur des images fDOT d'une source fluorescente homogène insérée sous la peau d'une souris, et comparée aux méthodes ML et ML+TV (voir Fig. 1). Avec ML, le bruit est amplifié. Avec ML+TV, le signal reconstruit n'est pas homogène. Notre méthode, à deux classes, donne un résultat de déconvolution qui est homogène, comme souhaité, et qui est segmenté. De plus, la valeur du centroïde correspondant à la région fluorescente permet d'avoir sa concentration moyenne. Par ailleurs, les résultats sur une image simulée ont montré que notre méthode donnait le plus faible taux d'erreur.

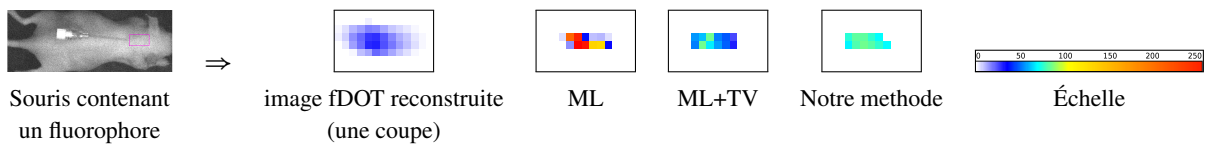


Fig. 1 : Deconvolution d'une image fDOT d'une source fluorescente avec trois différentes méthodes.

L'utilisation de l'algorithme FCM pour régulariser la méthode de déconvolution ML permet d'améliorer la segmentation d'images floues en fournissant : 1- l'image déconvoluée, 2- les degrés d'appartenance des voxels vis à vis de chaque classe et 3- la concentration moyenne de chaque classe.

Méthode de reconstruction 3D en Tomo-PIV exploitant les processus ponctuels marqués markoviens

R. Ben Salah^{1,2}, O. Alata³, B. Tremblais², L. Thomas¹, L. David¹

¹Inst. P', UPR CNRS 3346, Dépt. Fluide, Thermique et Combustion, Univ. Poitiers, 86 000 Poitiers, France

²Lab. XLIM, UMR CNRS 7252, Dépt. Signal, Image, Communication, Univ. Poitiers, 86 000 Poitiers, France

³Lab. Hubert Curien, UMR CNRS 5516, Univ. Jean Monnet, 42 000 Saint-Etienne, France UJF-Grenoble

olivier.alata@univ-st-etienne.fr, benoit.tremblais@univ-poitiers.fr, lionel.thomas@univ-poitiers.fr

La technique tomographique de vélocimétrie par images de particules (Tomo-PIV) a été proposée par Elsinga et al. [1] afin de mesurer localement les trois composantes de la vitesse dans un fluide à partir d'une zone volumique de mesure et d'un ensemble de traceurs (particules). Le volume d'intérêt est éclairé par une source laser. La lumière renvoyée par les particules est acquise par plusieurs (de 3 à 6, habituellement 4) caméras numériques haute-résolution positionnées suivant plusieurs angles de vues (Fig. 1). La mesure de la vitesse nécessite alors la reconstruction de la distribution des particules 3D à partir des images acquises par ces caméras contenant les projections des particules (Fig. 1).

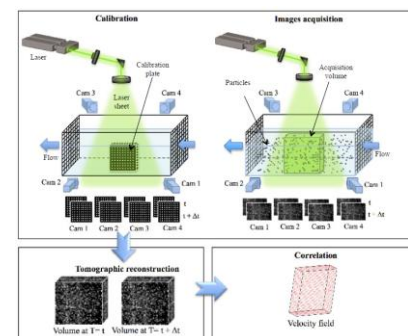


Fig. 1 : Principe de la Tomo-PIV.

Des méthodes de reconstruction algébrique ont d'abord été utilisées [1]. Plus récemment, des méthodes exploitant la parcimonie des volumes à reconstruire ont vu le jour [2]. La méthode que nous avons proposée se situe dans la deuxième catégorie et elle est développée à partir d'un modèle probabiliste : les processus ponctuels marqués markoviens ou processus "objets" qui possèdent une distribution de Gibbs faisant apparaître une fonction d'énergie (somme d'une énergie d'attache aux données et d'une énergie dite "interne") dont la valeur dépend bien entendu de la position, des formes géométriques, et des interactions entre objets voisins [3]. Nous avons donc proposé un processus "objets" 3D adapté au problème de la Tomo-PIV : les objets sont des positions 3D auxquelles sont associées une distribution d'intensité de forme gaussienne. La formulation de l'énergie du terme d'attache aux données provient de la minimisation d'un critère des moindres carrés entre la projection des objets et les images acquises. L'énergie interne est une variante de celle du processus de Strauss [4]. Nous présenterons donc le modèle proposé, puis nous aborderons l'algorithme de reconstruction qui se compose d'une méthode originale d'initialisation d'une population d'objets 3D permettant d'accélérer une méthode d'optimisation stochastique. L'optimisation stochastique est réalisée à l'aide d'un recuit simulé exploitant un algorithme RJMCMC (Reversible Jump Monte Carlo Markov Chain) pour simuler le processus "objets". Les résultats expérimentaux obtenus sur des volumes simulés contenant différentes densités de particules et différents niveaux de bruit montrent l'intérêt de la méthode proposée lorsqu'on la compare à une méthode algébrique optimisée (MinLOS-MART [5]).

RÉFÉRENCES

- [1] G. E. Elsinga, F. Scarano, B. Wieneke, and B. W. van Oudheusden, "Tomographic particle image velocimetry," *Experiments Fluids*, vol. 41, pp. 933–947, 2006.
- [2] D. Schanz, A. Schroder, S. Gesemann, D. Michaelis, and B. Wieneke, "'shake the box' : A highly efficient and accurate tomographic particle tracking velocimetry (tomo-ptv) method using prediction of particle positions," in *PIV13*, 2013.
- [3] F. Lafarge, G. Gimel'farb, and X. Descombes, "Geometric feature extraction by a multi-marked point process," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 32, no. 9, pp. 1597–1609, Sept. 2009.
- [4] R. Ben-Salah, O. Alata, L. Thomas, B. Tremblais, and L. David, "3d particle volume tomographic reconstruction based on marked point process : Application to tomo-piv in fluid mechanics," in *IEEE ICASSP 2014*.
- [5] C. Atkinson and J. Soria, "An efficient simultaneous reconstruction technique for tomographic particle image velocimetry," *Experiments in Fluids*, vol. 47, no. 4-5, pp. 553–568, 2009.

Automatic model selection by using Nested Sampling applied in electromagnetic imaging for non-destructive testing

Caifang Cai¹, Thomas Rodet², Marc Lambert³

¹ L2S - UMR8506, 3 Rue Joliot-Curie, 91192 Gif sur Yvette, France

² SATIE - UMR8029, 61 Avenue du Président Wilson, 94230 Cachan, France

³ GeePs - UMR8507, 11 Rue Joliot-Curie, 91192 Gif sur Yvette, France

caifang.cai@lss.supelec.fr

In Non-destructive Testing (NdT), we are interested in obtaining information about the defects possibly present in the inspected parts. Model selection is a general problem that one can run into when analyzing the shapes, the number of defects and furthermore the influence of nuisance parameters, like the lift-off. In the framework of Bayesian inference, we need to calculate the evidence of the concerned model in order to choose between (or among) models. The calculation of the model evidence is a multi-dimensional integration problem, described as follows

$$Z = p(y|\mathcal{M}) = \int p(y|x, \mathcal{M}) p(x) dx, \quad (1)$$

where Z is the evidence of the considered model $\mathcal{M}$. $p(y|x, \mathcal{M})$, $p(x)$ are the corresponding likelihood and prior model. x , y are vectors of unknown parameters and observations.

To solve this integration problem, Skilling [1] proposed a numerical approximation method called Nested Sampling (NS). This method approximates the model evidence by sampling properly in the parameter space. The term *properly* means that the samples should be taken in the ascending order of the corresponding likelihoods, so the most difficult part in NS method is how to get samples with hard constraint on the likelihood value. Mukherjee *et al.* [2] proposed to use ellipsoidal contours to approach the unknown likelihood contours. This contribution follows the same idea as in [2], proposes a model selection method based on an improved NS algorithm the aim of which is to get independent samples with hard constraint on the likelihood value in a more efficient way. Its efficiency depends on the similarity of the likelihood distribution to a normal distribution.

The performance of this improved NS method is tested against several examples in Eddy-current testing, one of the most used electromagnetic imaging technologies in NdT for detecting defects in conductive materials. The simulation and laboratory controlled experiments all show that this method is able to assign the correct model for the defects of concern. The results also confirm its computational efficiency and model selection sensitivity insisting the fact that metamodels contribute to the efficiency in the most complex cases.

Even though, the method is still limited only for small-dimensional models where the number of the unknown parameters (the dimension of x) is less than 20. In situations for models with a large number of unknown parameters, both the database training in the metamodel and the sampling in the parameter space become impossible.

RÉFÉRENCES

- [1] J. Skilling, “Nested sampling for general Bayesian computation,” *Bayesian Analysis*, vol. 1, no. 4, pp. 833–880, 2006.
- [2] P. Mukherjee, D. Parkinson, and A. R. Liddle, “A nested sampling algorithm for cosmological model selection,” *The Astrophysical Journal*, vol. 638, pp. L51–L54, 2006.

Imagerie de polarisation sur surfaces métalliques liquides

C. Stolz¹ N. Coniglio³, A. Mathieu², O. Aubreton¹

¹ : Laboratoire Electronique Informatique et Image,

² : Laboratoire ICB, département IRM, équipe LTm,

³ : Laboratoire MSMP, Arts et Métiers Paris Tech, Aix en Provence

Christophe.stolz@u-bourgogne.fr

Afin d'améliorer la qualité d'une soudure, l'étude des phénomènes qui régissent le bain de soudure est nécessaire. L'étude de la surface du bain de fusion est l'un de ces paramètres. Les conditions du soudage rendent également la mesure difficile. Actuellement peu de méthodes de mesure de surface ont été adaptées aux bains de soudure [1]. Ce papier présente l'utilisation d'une méthode de polarimétrie passive par division de front d'ondes pour mesurer la topographie du bain de soudure à partir d'un seul point de vue.

Nous avons étudié les rayonnements thermiques émis par le métal liquide chaud pour différents bains de soudages à l'arc (TIG) ou au laser. La longueur d'onde de 810 nm, située dans une fenêtre spectrale aveugle de l'arc de plasma a alors été choisie. L'indice de réfraction du métal liquide et la topographie de la surface du bain de fusion sont déduites de l'état de polarisation du rayonnement. La méthode proposée extrait également la carte de température du bain liquide et offre la possibilité d'étudier l'évolution temporelle de ces grandeurs.

Le principe de mesure est basé sur la technique de "Shape from polarization" [2]. Les paramètres de polarisation, degré et angle de polarisation permettent l'évaluation de la normale en tout point de mesure, la forme étant estimée par intégration. Nous déduisons ici la topographie à partir de l'état de polarisation du rayonnement thermique pour lequel il n'y a plus d'ambiguïté sur l'angle de polarisation.

Le degré de polarisation est alors exprimé grâce aux émissivités des composantes polarisées horizontalement et verticalement [3]. Puisque les émissivités et la topographie sont toutes deux inconnues, nous estimons l'indice de réfraction complexe à partir du champ de température. Les hypothèses associées sont: 1) les bords du bain de soudure sont à la température du liquide, 2) l'émissivité du métal liquide à l'angle zénithal nul est supposée indépendante de la longueur d'onde entre 650 et 810 nm, 3) la radiance du bain est liée à celle du corps noir à la même température par la loi de Boltzmann.

Les séquences acquises ont une durée de 3 secondes. La figure 1, présente un exemple d'évaluation de topographie et de carte de température à 1s du début de l'expérience. La zone de saturation de la carte de température au-delà de 2360K correspond à une zone mal reconstruite du bain. L'observation de la carte de température permet aussi l'étude des flux de chaleur (Marangoni).

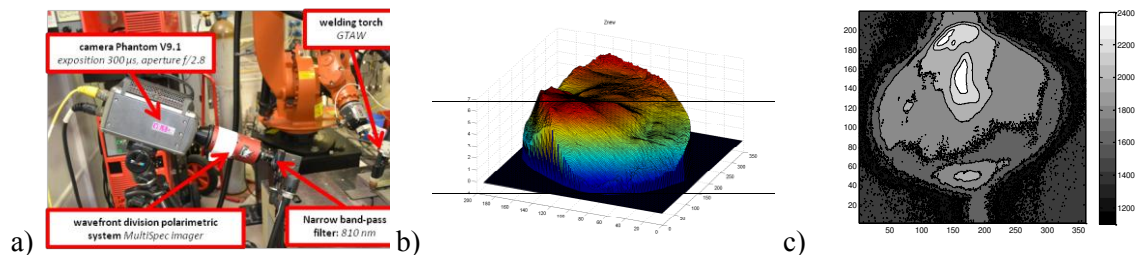


Figure 1 : a) dispositif de mesure dans le cas d'une expérience de soudage TIG; (b) topographie (c) carte de température du bain

RÉFÉRENCES

- [1] C. Mnich, F. Al-Bayat, C. Debrunner, J.P.H. Steele and T. Vincent, "In Situ Weld Pool Measurement Using Stereovision", Japan-USA Symposium on Flexible Automation, Denver, Colorado, ASME, 2004 Vol., 2004.
- [2] O. Morel, C. Stolz, F. Meriaudeau and P. Gorria, "Active Lighting Applied to 3D Reconstruction of Specular Metallic Surfaces by Polarization Imaging", Appl. Opt. Vol. 45 (17), pp. 4062-4068, 2006.
- [3] N. Coniglio, A. Mathieu, O. Aubreton and C. Stolz, "Characterizing weld pool surfaces from polarization state of thermal emissions", Opt. Lett. Vol. 38 (12), pp. 2086-2088, 2013.

Amélioration de la fusion de donnée en microscopie tomographique diffractive multivue

J. Bailleul, B. Simon, M. Debailleul, O. Haeberlé

*Laboratoire MIPS EA2332, Université de Haute-Alsace, IUT Mulhouse,
61 rue Albert Camus, 68093 Mulhouse Cedex, France*

bertrand.simon@uha.fr

La Microscopie Tomographique diffractive (MTD) est une technique qui permet d'imager des échantillons transparents par recombinaison numérique des champs diffusés mesurés, selon le théorème de la tomographie diffractive [1]. La MTD est généralement mise en œuvre soit par rotation d'éclairage (MTD-RI) avec un échantillon fixe [2], soit par rotation de l'échantillon (MTD-RS) [3], avec un éclairage fixe.

En raison du «missing-cone» bien connu dans la microscopie à transmission, la première approche présente une forte résolution anisotrope [2]. La MTD-RS, quant à elle, fournit une résolution quasi isotrope, mais avec une extension réduite des fréquences captées [4].

Pour obtenir une résolution améliorée et isotrope, Il est possible de combiner les deux techniques comme proposé dans Réf. [5]. La Figure 1 (gauche) montre les fonctions de transfert optique (FTO) des trois approches. On notera alors la FTO élargie et remplie obtenue en MTD-RIRS. Nous avons développé un système de rotation de l'échantillon spécialement adapté à l'imagerie haute résolution capable de travailler avec un objectif et un condenseur à grande ouverture numérique ($NA_{\text{obj}} = NA_{\text{con}} = 1,4$).

La principale difficulté de cette approche à recombinaison efficace des acquisitions successives. En effet, la rotation de l'échantillon à l'échelle microscopique induit des mouvements parasites tels que des précessions. Les reconstructions étant très sensibles à ces objets, nous avons donc développé des techniques automatisées pour améliorer la recombinaison de données, et la qualité de l'image finale.

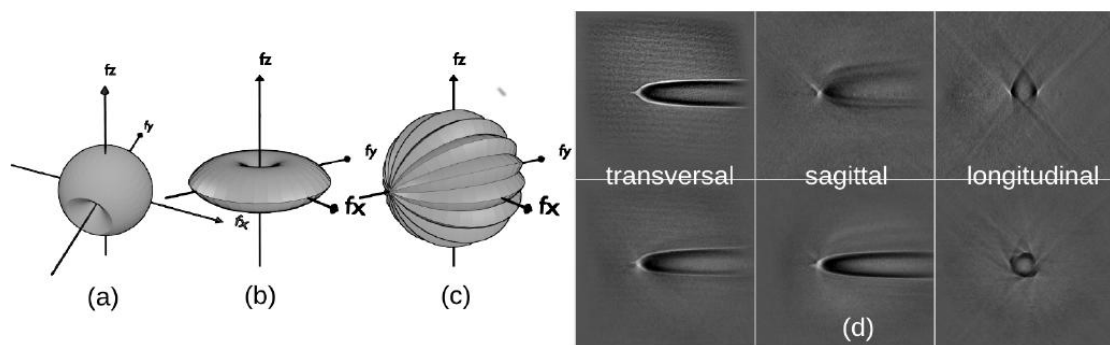


Fig 1. (a) FTO of MTD-RS, (b) FTO of MTD-RI, (c) FTO de l'approche combinée: MTD-RIRS, (d) Exemple de reconstruction obtenue sur une pointe de fibre optique étirée. (diam. 4 μ m) in MTD-RISRI (3 images du bas) à comparer avec les images obtenues en MTD-IR simple (3 images du Haut). L'amélioration de la résolution le long de l'axe optique est notable.

RÉFÉRENCES

- [1] E. Wolf, Opt. Comm. 1, p. 153 (1969)
- [2] M. Debailleul, V. Georges, B. Simon, R. Morin and O. Haeberlé, Opt. Lett. 34, p. 79 (2009)
- [3] S. Vertu, et al., Photonics West 2008, San Jose, Jan. 19-24, Proc. SPIE vol. 6861, paper 686103 (2008)
- [4] S. Vertu, J.-J. Delaunay, I. Yamada and O. Haeberlé, C. Eur. J. of Phys. 7, p. 22 (2009)
- [5] S. Vertu, J. Flüge, J.-J. Delaunay, and O. Haeberlé, Centr. Eur. J. of Phys. 9, p. 969 (2011)

Imagerie tomographique de phase et d'amplitude par OCT plein champ

Antoine Federici¹, Henrique S. Gutierrez da Costa², Audrey K. Ellerbee³, Arnaud Dubois¹

¹Laboratoire Charles Fabry, UMR 8501, Institut d'Optique, CNRS, Univ Paris Sud 11, 2 Av. A. Fresnel, 91127 Palaiseau, France

²Departamento de Informática, Universidade Federal do Paraná-Brazli

³E.L. Ginzton Laboratory and Department of Electrical Engineering Stanford University, Stanford, CA 94305, USA

antoine.federici@institutoptique.fr

Nous présentons un système d'imagerie interférométrique utilisant une source de lumière faiblement cohérente temporellement et spatialement afin de réaliser simultanément des images tomographiques de phase et d'amplitude d'échantillons multicouches. Ce système, basé sur la tomographie par cohérence optique (OCT) plein champ, permet d'atteindre une résolution de sectionnement axiale de 1.8 μm et ce, avec sur un large champ (= 18 mm x 18 mm).

La mesure quantitative de la phase permet de mesurer à l'échelle nanométrique la courbure ou les défauts présents à la surface d'un échantillon. Une mesure tomographique de la phase permet alors de caractériser chacune des surfaces d'un échantillon multicouches de façon non-invasive. Nous avons donc développé, et ce pour la première fois à notre connaissance, un système capable d'effectuer une image tomographique et quantitative de la phase d'une surface multicouches (voir figure 1) avec une source de lumière faiblement cohérente spatialement dépourvue ainsi de bruit de speckle.

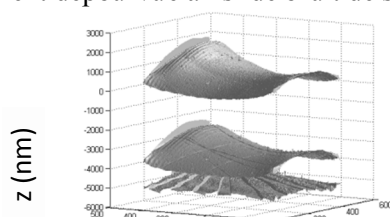


Figure 1 : Schéma de principe du montage d'OCT plein champ à large champ de vision

Le montage repose sur le principe de l'OCT plein champ dont l'agencement conventionnel [1] a été modifié afin d'atteindre un champ élargi (voir figure 2).

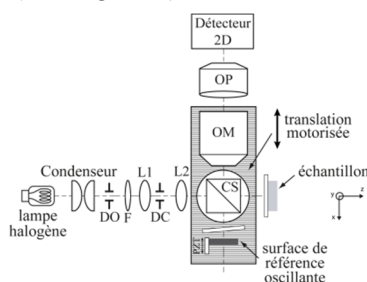


Figure 2 : Schéma de principe du montage d'OCT plein champ à large champ de vision.

Un seul objectif de microscope est ici utilisé et un seul balayage axial est nécessaire afin de produire une image en trois dimensions. Une capacité de sectionnement axiale de 1.8 μm est atteinte grâce à la largeur de la densité spectrale de puissance de la source de lumière thermique utilisée ($\lambda_0 = 790 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 200 \text{ nm}$).

REFERENCES

- [1] A. Dubois, "Phase-map measurements by interferometry with sinusoidal phase modulation and four integrating buckets," J Opt Soc Am A **18**, 1972-1979 (2001).

Tomographie assistée par miroir : vers une super-résolution isotrope en 3D

C. Godavarthi¹, T. Zhang¹, G. Maire¹, P. C. Chaumet¹, H. Giovannini¹, A. Talneau²,
K. Belkebir¹, A. Sentenac¹

¹ Institut Fresnel, Aix-Marseille Université / CNRS, Campus de Saint-Jérôme,
13397 Marseille Cedex 20, France

² Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS, Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France

guillaume.maire@fresnel.fr

La microscopie optique souffre d'une résolution dégradée le long de l'axe optique, qui est au moins trois fois moins bonne que la résolution transverse, et limite fortement ses applications pour l'imagerie tri-dimensionnelle. Ce problème majeur a pour origine l'asymétrie fondamentale de la plupart des dispositifs de microscopie : l'illumination et la détection ont lieu uniquement d'un côté de l'échantillon. Pour obtenir une résolution parfaitement isotrope, il serait nécessaire d'éclairer et d'observer l'échantillon sous tous les angles possibles en trois dimensions, ce qui est difficilement réalisable en pratique. La seule solution efficace proposée jusqu'à présent est la microscopie 4π [1], qui a permis d'obtenir des images spectaculaires en 3D, mais qui est sévèrement limitée en pratique par des contraintes d'alignement très sensibles.

Nous proposons une solution alternative basée sur un microscope conventionnel plein champ en réflexion et sans marquage. Son principe est de déposer l'échantillon sur un miroir, afin qu'il soit illuminé et observé simultanément des deux côtés. Le jeu de mesures consiste à éclairer successivement l'objet sous différents angles d'illumination, et à détecter son champ diffracté en phase et en amplitude, comme cela est effectué en microscopie tomographie diffractive. En utilisant une procédure d'inversion numérique appropriée, prenant en compte la présence du miroir, il est alors possible de reconstruire la carte de permittivité de l'objet en trois dimensions. Dans une étude préliminaire, nous avons validé sur des données synthétiques la capacité de notre approche à reconstruire l'objet avec une grande précision le long de l'axe optique [2]. Nous présenterons ici sa première validation expérimentale sur des nano-objets multi-couches calibrés nécessitant une super-résolution isotrope. La Fig. 1 présente le cas d'un nano-pilier environné de résine, qui comporte deux couches de TiO_2 à l'origine du signal diffracté. Actuellement, nous étendons cette approche à des cellules biologiques déposées sur miroir.

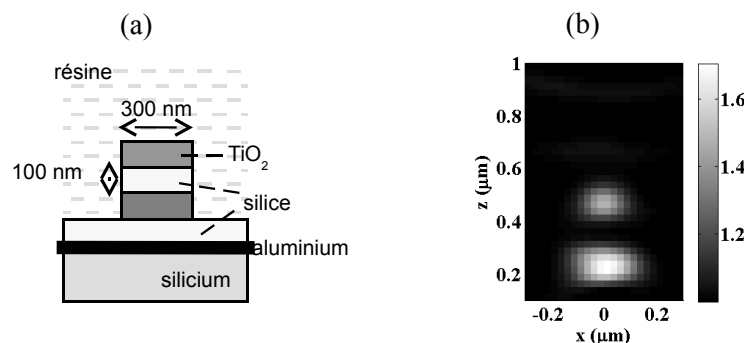


Fig. 1 : (a) Schéma d'un nano-pilier déposé sur miroir d'aluminium et (b) coupe axiale de la carte de permittivité des couches de TiO_2 reconstruite à $\lambda = 633$ nm.

RÉFÉRENCES

- [1] S. Hell and E. Stelzer, "Properties of a 4π confocal fluorescence microscope", *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 9, p. 2159, 1992.
- [2] E. Mudry et al., "Mirror-assisted tomographic diffractive microscopy with isotropic resolution", *Optics Letters*, Vol. 35, p. 1857, 2010.

3D Bragg Projection Ptychography: A new approach dedicated to probe structures in crystalline materials.

S.O. Hruszkewycz¹, M. Allain³,

M.V. Holt¹, M.J. Highland¹, A. Tripathi¹, G.B. Stephenson¹, S. Hong¹, P. Fuoss¹, C. Murray², J. Holt²,
V. Chamard³

¹ Materials Science Division, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, USA

² IBM T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York 10598, USA

³ Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel UMR 7249, 13013 Marseille, France

marc.allain@fresnel.fr

Imaging materials at the nanoscale is a major challenge in nanoscience. Recently, hard X-ray lens-less microscopy has been proposed as an attractive alternative to image complex nanostructures. It makes use of far-field coherent intensity patterns produced by third generation synchrotron sources. Instead of lenses, numerical tools are employed to retrieve the lost phase and, hence, the three-dimensional (3D) diffracted field at the sample position [1,2]. In the *Bragg geometry*, this imaging technique provides sensitivity to the crystalline properties [3] of the probed material. This approach is very promising and can shed new light on a variety of outstanding questions in physics and biology. Finally, a “ptychographic” scan (a 2D scan of the sample surface performed with a finite-size beam spot) adds the further flexibility, most importantly the capability to deal with crystalline objects of arbitrary extension [4].

Here, we will discuss the theory and application of our recently developed 3D Bragg Projection Ptychography (3DPP) approach in imaging strain fields in semiconductor materials [4]. This approach enables 3D imaging of materials structure using scanning probe coherent diffraction data measured at a single incident Bragg angle, *i.e. without any angle diversity*. The ability to image 3D crystals from 2D diffraction patterns is made possible by the Bragg geometry and by incorporating tomography operators into the ptychography reconstruction algorithm. By eliminating the need for angle diversity at every probe position, 3D Bragg Projection Ptychography substantially simplifies and expedites 3D imaging of extended crystals. We demonstrate our nondestructive, dose-efficient technique by imaging strain within a SiGe device stressor, and we show that our results agree with linear elastic strain predictions.

RÉFÉRENCES

- [1] J. Stangl, C. Moccuta, V. Chamard and D. Carbone, Nanobeam X-ray Scattering, Wiley (2013).
- [2] H. N. Chapman and K. A. Nugent, Nature Photonics 4, 833-839 (2010).
- [3] M. A. Pfeifer, Nature 442, 63-65 (2006).
- [4] P. Godard et al., Nature Comm. 2, 568 (2011)
- [5] S.O. Hruszkewycz, M. Allain, M.V. Holt, M.J. Highland, A. Tripathi, G.B. Stephenson, S. Hong, P. Fuoss, C. Murray, J. Holt and V. Chamard, “High resolution three dimensional structural microscopy by single angle Bragg ptychography”, Submitted to Nat. Phot.

Imagerie de contraste par speckle laser et analyses auto-adaptatives pour l'évaluation de la perfusion microvasculaire

Anne Humeau-Heurtier¹, Pierre Abraham², Guillaume Mahé³

¹ Université d'Angers, LARIS - Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes,
62 avenue Notre-Dame du Lac, 49000 Angers, France

² CHU d'Angers, Laboratoire de Physiologie et d'Explorations Vasculaires,
UMR CNRS 6214-INSERM 1083, 49033 Angers, France

³ Pôle imagerie médicale et explorations fonctionnelles, CHU de Rennes,
Inserm CIC 1414, 35033 Rennes, France

anne.humeau@univ-angers.fr

Dans le domaine biomédical, l'imagerie de contraste par speckle laser est une technique optique en plein essor. En effet, cette modalité permet de faire un suivi en continu, en temps réel et de façon non invasive de la perfusion microvasculaire et possède l'avantage de donner des mesures reproductibles [1]. Son principe consiste à illuminer la surface à étudier par une lumière laser. La lumière rétrodiffusée forme un motif de tavelure ("speckle pattern") sur le détecteur constitué d'une caméra. Les globules rouges de la microcirculation étant en mouvement dans les tissus, ce motif de tavelure varie temporellement. Le temps d'intégration de la caméra génère alors une image floue. Le degré de flou est quantifié par le contraste de l'image. La perfusion microvasculaire est alors calculée à partir de la valeur du contraste [2]. Les domaines médicaux d'application de l'imagerie de contraste par speckle laser sont nombreux : suivi de la perfusion microvasculaire chez les sujets diabétiques, étude de la cicatrisation des plaies, mesure du débit sanguin cérébral, etc.

Cependant, même si les applications cliniques de la technique sont variées, l'analyse des images pour l'extraction de données physiologiques particulières en est à ses prémices. C'est pourquoi nous avons développé une méthode auto-adaptative afin de mieux appréhender ces images. Notre méthode s'appuie sur un récent algorithme de décomposition modale empirique amélioré. Outre des aspects instrumentaux, nous présentons ici les résultats obtenus sur des images enregistrées dans différentes conditions physiologiques. Nous montrons que notre algorithme permet d'extraire des motifs sous-jacents. De plus, ces motifs pourraient être utiles pour le diagnostic de certaines pathologies microvasculaires (voir Fig. 1).

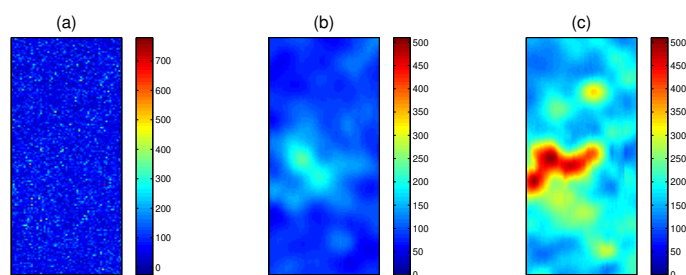


Fig. 1 : (a) Valeurs de perfusion calculées par la technique d'imagerie de contraste par speckle laser enregistrées sur l'avant-bras d'un sujet sain. Images obtenues par notre algorithme auto-adaptatif chez un sujet sain après chauffage cutané local faible (b) et fort (c).

RÉFÉRENCES

- [1] M. Roustit, C. Millet, S. Blaise, B. Dufournet, and J. L. Cracowski, "Excellent reproducibility of laser speckle contrast imaging to assess skin microvascular reactivity," *Microvasc. Res.*, vol. 80, pp. 505–511, 2010.
- [2] A. Humeau-Heurtier, E. Guerreschi, P. Abraham, and G. Mahé, "Relevance of laser Doppler and laser speckle techniques for assessing vascular function : state of the art and future trends," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 60, pp. 659–666, 2013.

Imagerie Radar Haute Résolution 3D à polarisation variable

Pierre Minvielle¹, Pierre Massaloux¹, Jean-François Giovannelli²

¹ CEA, DAM, CESTA, F-33114 Le Barp, France

² Univ. Bordeaux, IMS, UMR 5218, F-33400 Talence, France

pierre.minvielle@cea.fr

Il est présenté une technique rapide d'imagerie radar 3D pour l'identification et caractérisation des contributeurs électromagnétiques qui concourent à la signature d'un objet [1]. La particularité est que les données collectées du champs rétrodiffusé sont formées de mesures de polarisation variable, c'est-à-dire de directions du champs électrique qui varient au cours de la synthèse d'ouverture. Dans ce contexte, l'information semble complètement mélangée. Pour surmonter cette difficulté, un modèle direct, dérivé du classique modèle de réflecteurs isotropes élémentaires ou "points brillants", est développé : il mène à la formulation d'un problème inverse linéaire de grande dimension. Ce problème est résolu au moyen d'une méthode adaptée de régularisation [2] qui permet de déterminer rapidement et simultanément trois cartes ou images 3D de rétro-diffusion (aux polarisations en émission/réception : HH, VV et HV). Le traitement est appliqué à des données issues d'un moyen expérimental sphérique 3D [3] dont les acquisitions ont des variations en spirale (en fonction du gisement θ et roulis φ). La figure 1 illustre une carte 3D de rétrodiffusion (avec surfaces de niveau et coupe sur l'objet).

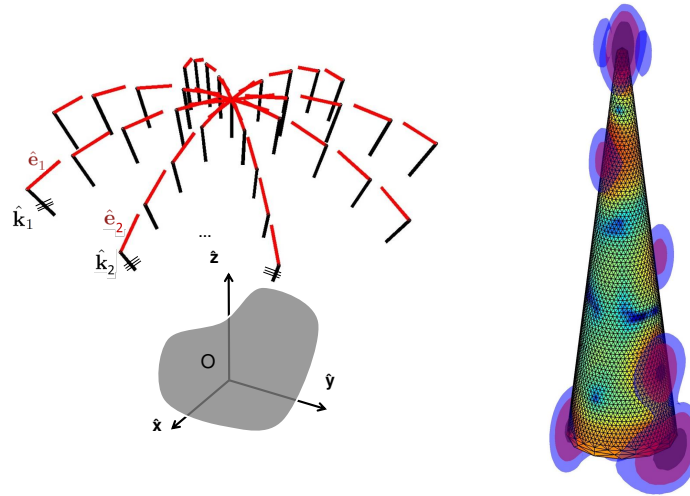


Fig. 1 : A gauche : acquisitions à polarisation variable - A droite : image radar 3D (polarisation HH) d'un cône ($\varphi = 0 - 360^\circ$, $\theta = 0 - 20^\circ$, $f = 8.2 - 12.4$ GHz)

RÉFÉRENCES

- [1] P. Massaloux, P. Minvielle, and J.-F. Giovannelli, "Indoor 3d spherical near field rcs measurement facility : localization of scatterers," in *EUCAP*, 2014.
- [2] R. Boubertakh, J.-F. Giovannelli, A. De Cesare, and A. Herment, "Non-quadratic convex regularized reconstruction of mr images from spiral acquisitions," *Signal Processing*, vol. 86, no. 9, pp. 2479–2494, 2006.
- [3] P. Massaloux and P. Bérisset, "Achieved mechanical accuracy of a 3d rcs spherical near field arch positioning system," in *Annual Meeting of the Antenna Measurement Techniques Association, AMTA*, 2012.

Analyse multifenêtrage de la rugosité d'échantillons de ciment mesurée par différents profilomètres optiques

Paul C. Montgomery¹, Gianto Gianto¹, Fabien Salzenstein¹, Komla L. Apedo², Nicolas Serres³, Christophe Fond², Françoise Feugeas³

¹ Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie (ICube), Unistra-CNRS, UMR 7357, 23 rue du Loess, 67037 Strasbourg, France

² ICube Laboratory, Unistra-CNRS, 2 Rue Boussingault, 67000 Strasbourg, France

³ ICube Laboratory, Unistra-CNRS, INSA Strasbourg, 24 boulevard de la Victoire, 67084 Strasbourg, France

paul.montgomery@unistra.fr

Dans le développement des nouveaux matériaux cimentaires pour construire des ouvrages plus respectueux de l'environnement, la porosité, la morphologie de la surface et la nature chimique du matériau peut influencer la bioréceptivité de sa surface, c'est à dire l'aptitude des micro-organismes environnementaux à former des biofilms sur celle-ci. De tels films sont la source de biocontamination qui peut mener à la dégradation des propriétés structurales des ouvrages avec le temps. La mesure précise de la rugosité de surface et de la topographie est importante pour mieux comprendre cette interaction. Les profilomètres optiques sont bien adaptés à la mesure de la grande rugosité de surface typique de ces matériaux. Néanmoins, chaque technique de profilométrie optique a ses propres limites en termes de résolution axiale et latérale et champ d'observation, ce qui peut donner des résultats différents. Dans cette étude, des échantillons de pâtes de ciment, non polis et polis, ont été mesurés avec la microscopie interférométrique (CSI) [1], et avec la microscopie confocale chromatique (SCM) [2]. Pour pouvoir comparer les résultats des deux techniques, la méthode de multifenêtrage, plus connue en tribologie, a été utilisée pour calculer la valeur moyenne des paramètres de rugosité (H_{mm} , R_a et R_q) à des échelles différentes [2]. Cette technique emploie des fenêtres XY glissantes de plus en plus grandes pour calculer les paramètres de rugosité de la matrice de données XYZ.

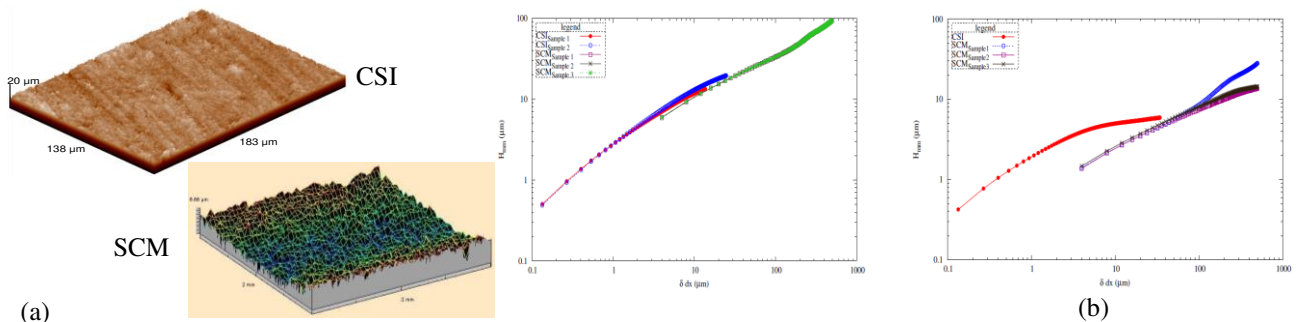


Figure 1 Variation de la rugosité pic/vallée H_{mm} pour des échantillons de pâtes de ciment (a) non polis et (b) polis en fonction de la taille de la fenêtre δdx mesurée avec la CSI et la SCM

Les premiers résultats obtenus montrent une superposition des résultats de H_{mm} des échantillons non polis (Figure 1(a)) et un peu d'écart des résultats pour les échantillons polis (Figure 1(b)). Ces résultats renforcent la notion que la technique de multifenêtrage permet de valider mutuellement les mesures venant de différentes techniques. De plus, elle est un outil puissant présentant un grand potentiel afin d'améliorer la compréhension de l'interaction entre les sondes optiques et les matériaux rugueux.

RÉFÉRENCES

- [1] F. Salzenstein, P. Montgomery, A. Boudraa, "Local frequency and envelope estimation by Teager-Kaiser energy operators in white-light scanning interferometry," *Optics Express*, vol. 22, no. 15, pp. 18325-18334, 2014.
- [2] K. Apedo, C. Munzer, H. He, P.C. Montgomery, N. Serres, C. Fond, F. Feugeas, "Cement Paste surface roughness analysis with Coherence Scanning Interferometry and Confocal chromatic microscopy," *Materials Characterization*, vol. 100, pp. 108-119, 2015.

Fast approximations of shift-variant blur

Rahul Mourya^{1,2}, Loïc Denis^{1,2}, Eric Thiébaud⁴, Thierry Lépine^{1,3}, Jean-Marie Becker¹

¹ CNRS UMR 5516, Laboratoire Hubert Curien, F-42000, Saint-Etienne, France

² Université Jean Monnet, F-42000, Saint-Etienne, France

³ Institute d'Optique, Antenne de Saint Etienne, F-42000, Saint-Etienne, France

⁴ CRAL/CNRS-UMR 5574, Observatoire de Lyon, F-69561, Saint-Genis Laval, France

r.mourya, loic.denis@univ-st-etienne.fr

Image deblurring is essential in high resolution imaging, e.g., astronomy, microscopy or computational photography. Shift-invariant blur is fully characterized by a single point-spread-function (PSF), and blurring is modeled by a convolution, leading to efficient algorithms for blur simulation and removal that rely on fast Fourier transforms. However, in many real situations, blur is not constant throughout the field-of-view (see Fig.1), and thus it necessitates to model variations of the PSF with the locations. These models must achieve a trade-off between the accuracy that can be reached with their flexibility, and their computational efficiency.

Several fast approximations of blur have been proposed in the literature [1, 2]. The connection between different approximations can be established in the light of matrix decomposition of the blurring operator. In [3, 4], we give a unified presentation of these methods, establish the connection between different computational tricks in the literature and the physical sense of corresponding approximations in terms of equivalent PSFs. We go for physically interpretable approximations, and derive an improved approximation that preserves the same desirable low complexity as other fast algorithms while reaching a minimal approximation error.

In this presentation/poster, we compare the theoretical properties and empirical performances of the different blur approximations, and demonstrate that the our proposed general model is preferable for approximation and inversion of a known shift-variant blur. Using our proposed fast shift-variant blur model, we present some initial but promising results on non-blind deblurring of images captured via a commercial achromatic lens system (whose PSF is shown in Fig.1).

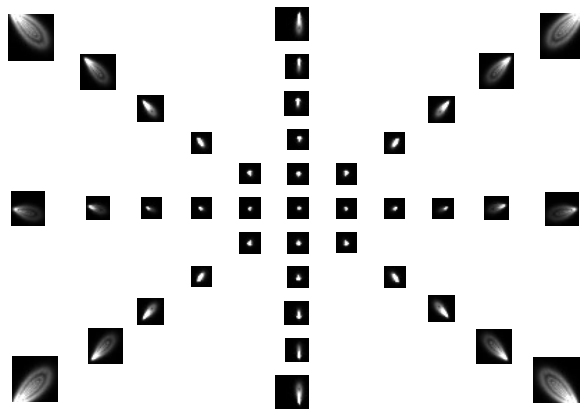


Fig. 1 : Measured PSFs of a commercial achromatic doublet lens system at different locations in the image plane.

REFERENCES

- [1] Nagy J, O’Leary D, “ Restoring Images Degraded by Spatially Variant Blur” in *SIAM J Sci Comp* 19(4) :1063-1082, 1998
- [2] Bardsley J, Jefferies S, Nagy J, Plemmons R, “A computational method for the restoration of images with an unknown, spatially- varying blur” in *Opt Express* 14(5) :1767-1782, 2006
- [3] Denis L, Thiébaud E, and Soulez F, “Fast model of space-variant blurring and its application to deconvolution in astronomy” in *IEEE Int’l Conference on Image Processing (ICIP)*, Brussels, 2011, pp.2817-2820.
- [4] Denis L, Thiébaud E, Soulez F, Becker J-M, and Mourya R, “Fast approximations of shift-variant blur” submitted to *Int’l J Computer Vision (IJCV)*.

Réseau de diffraction pour holographie sans référence

François Olchewsky¹, Jean-Michel Desse¹, Pascal Picart²

¹ Onera, The French Aerospace Lab, 5 boulevard Paul Painlevé, 59000 Lille, France

² Université du Maine, CNRS UMR 6613, LAUM, Avenue Olivier Messiaen, 72085 LE MANS Cedex 9, France
francois.olchewsky@onera.fr

Le montage classique d'interférométrie holographique numérique développé à l'Onera/DAAP est basé sur un montage de type « Michelson ». Il fait interférer une onde de référence plane avec une onde de mesure qui traverse deux fois la veine d'expériences. La sensibilité est donc doublée, ce qui convient parfaitement pour l'analyse des faibles gradients d'indice de réfraction. Pour l'analyse des forts gradients d'indice, une seule traversée serait mieux adaptée, mais cela complique fortement le montage optique, car l'onde de référence doit passer à côté de la veine d'expériences. C'est pour cette raison que l'holographie numérique sans référence a été mise en œuvre [1].

Tout d'abord, un hologramme en réflexion a été réalisé, en dehors de la soufflerie, sur une plaque avec une onde de référence et quatre ondes de mesure. Ces ondes de mesure sont générées par des miroirs disposés en « cerf-volant » (Figure 1) ce qui permet d'enregistrer sur la plaque quatre réseaux de diffraction. Cette plaque est ensuite insérée dans le montage de la Figure 2. L'onde qui a traversé l'écoulement dans la soufflerie est diffractée en quatre ondes au niveau de la plaque. Celles-ci se propagent et interfèrent entre elles au niveau du capteur d'enregistrement. Celui-ci enregistre donc un hologramme numérique produit par la superposition « cohérente » de tous les ordres de diffraction.

La sélection des quatre ordres de diffraction montrés par le plan FFT2D de la Figure 3 donne les gradients de phase suivant les directions horizontale (ordre 1), verticale (ordre 2) et les deux diagonales à -45° (ordre 3) et $+45^\circ$ (ordre 4). L'intégration des différentes cartes de gradients de phase permet d'obtenir le champ de phase du phénomène. La méthode a été testée pour étudier un jet d'air supersonique à 5 bars (Figure 4) comprenant des ondes de détente et de compression. Nous présenterons le dispositif expérimental en détail ainsi que les résultats obtenus qui ont été comparés avec succès à la méthode basée sur l'interférométrie de type « Michelson ».

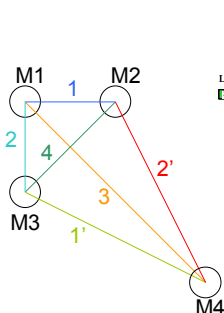


Figure 1 Disposition "cerf-volant" des miroirs lors de l'enregistrement de la plaque holographique

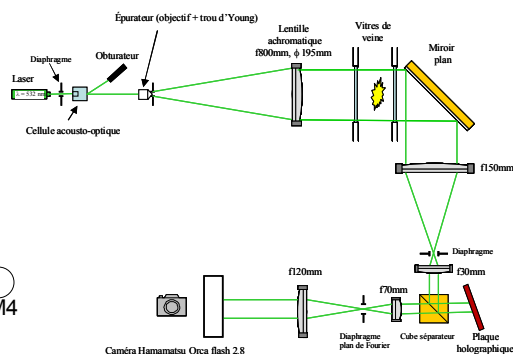


Figure 2 Schéma du montage d'holographie numérique sans référence

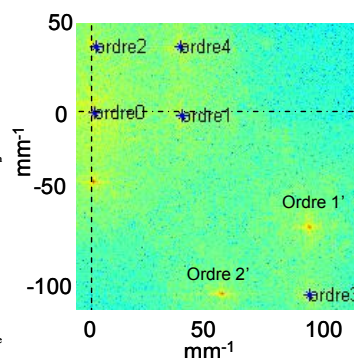


Figure 3 Plan de Fourier de l'image de référence

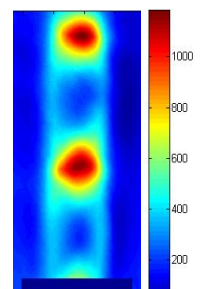


Figure 4 Phase reconstruite d'un jet d'air à 5 bars

RÉFÉRENCES

- [1] P. Picart and M. Malek, "Complex field recovering from in-line digital holography", *Optics Letters*, vol. 38 no. 17, pp. 3230-3232, 2013.

Non-conventional 3D strain imaging using X-ray Bragg ptychography

A. Pateras,^{1,2} M. Allain,^{1,*} P. Godard,¹ L. Largeau,³ G. Patriarche,³ K. Pantzas,³
A. Talneau,³ M. Burghammer,⁴ T. Baumbach,² V. Chamard¹

¹ Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, UMR 7249, 13013 Marseille, France

² ANKA-Institute for Synchrotron radiation, Karlsruhe Institute of Technology - 76344
Eggenstein-Leopoldshafen, Germany, EU

³ Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS, 91460 Marcoussis, France

⁴ European Synchrotron Radiation Facility, BP220, 38043 Grenoble Cedex, France

*marc.allain@fresnel.fr

During the past ten years, there has been a growing interest in ptychographical strain imaging, also known as Bragg ptychography. This technique offers the capability of investigating periodic crystals with size larger than the illumination function and with sub-beam resolution.[1] It consists in acquiring the far-field intensities from the scattering of a coherent beam with a periodic crystal at different but overlapping positions in reflection geometry. It's based in the fact that the wavelength of X-ray radiation is comparable to the interatomic distances and thus, it will give rise to diffraction phenomena, producing peaks of constructive interference known as Bragg peaks. These peaks have in an encoded form all the structural information of the crystal - the complex-valued electron density - which can be obtained with the use of phase retrieval algorithms.[2]

In this work, 3D Bragg ptychography is used to investigate the crystalline properties of an InP/InGaAs structured layer bounded onto a silicon wafer.[3] Projections were acquired at several incidence angles in the vicinity of the InP (004) Bragg peak, stacking up a three dimensional dataset. Inversions of the dataset were done using a ptychographical gradient-based minimization phase retrieval algorithm.[4] The experiment was performed at the ID13 beamline at ESRF with a monochromatic beam focused down to 100nm. Numerical analysis of the given problem was performed beforehand in order to optimize the inversion strategy and to study the possibility of introducing additional physical constraints through regularization approaches.[5] The retrieved 3D image of the sample exhibits the high crystallinity quality of the sample with the expected structural features (thickness and lattice mismatch). Nevertheless, small local lattice rotations have been observed (in the order of 0.02°) and confirmed by modeling simulations. The results demonstrate the high sensitivity of the technique, as well as its exciting perspectives for the imaging of complex organic and inorganic nanostructured materials.

We thank the Erasmus Mundus Joint Doctorate Programme (EMJD) for financial support.

REFERENCES

- [1] P. Godard, G. Carbone, M. Allain, F. Mastropietro, G. Chen, L. Capello, A. Diaz, T. Metzger, J. Stangl, and V. Chamard, "Three-dimensional high-resolution quantitative microscopy of extended crystals," *Nature Communications*, vol. 2, p. 568, 2011.
- [2] D. Sayre, "Some implications of a theorem due to Shannon," *Acta Crystallographica*, vol. 5, pp. 843–843, 1952.
- [3] A. Talneau, C. Roblin, A. Itawi, O. Mauguin, L. Largeau, G. Beaudouin, I. Sagnes, and G. Patriarche, "Atomic-plane-thick reconstruction across the interface during heteroepitaxial bonding of InP-clad quantum wells to Si," *Conference Proceedings - International Conference on Indium Phosphide and Related Materials*, vol. 212101, pp. 130–132, 2012.
- [4] P. Godard, M. Allain, V. Chamard, and J. Rodenburg, "Noise models for low counting rate coherent diffraction imaging," *Optics Express*, vol. 20, no. 23, p. 25914, 2012.
- [5] F. Berenguer, P. Godard, M. Allain, J. M. Belloir, A. Talneau, S. Ravy, and V. Chamard, "X-ray lensless microscopy from undersampled diffraction intensities," *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, vol. 88, pp. 1–6, 2013.

Mesure de profils intra- et inter- pixels sur des détecteurs grands plans focaux par des techniques d'auto-imagerie

Thibault Viale¹, Nicolas Guérineau¹, Laurent Mugnier², Guillaume Druart¹, Sophie Derelle¹

¹ ONERA, Chemin de la Hunière, 91123 Palaiseau, France

² ONERA, 29 Avenue de la Division Leclerc, 92320 Châtillon, France

thibault.viale@onera.fr

Dans les domaines visible et infrarouge, l'avènement des détecteurs grands plans focaux, et leur utilisation à des fins notamment scientifiques (par exemple la mission EUCLID du programme "Cosmic Vision" de l'ESA) nécessite une connaissance de plus en plus pointue de la réponse inter- et intra- pixels allant jusqu'au 10^e de détecteur élémentaire. Depuis la fin des années 1990, l'ONERA s'emploie à mettre au point une technique de mesure de FTM détecteur basée sur l'utilisation de techniques d'auto-imagerie de réseaux de diffraction (effet Talbot) [1]. Bien que cette technique ait été de nombreuses fois utilisée en laboratoire [2], elle nécessite des adaptations et perfectionnements pour répondre aux besoins de précisions exprimés par les acteurs du projet EUCLID (CEA IRFU)[3].

La piste choisie afin d'atteindre ce niveau de précision est d'effectuer un micro-balayage de la mire de sorte à ce qu'un pixel ou une zone de quelques pixels puisse voir une période du motif considéré. Un traitement approprié de déconvolution permet ensuite de remonter au profil pixel à la précision souhaitée. Les performances de ce modèle ont été testées et validées sur des images de simulations bruitées avec un rapport signal sur bruit de 500 (cf fig.1). La prochaine étape est de valider cet algorithme à travers une étude de tolérancement mettant en jeu des images réalistes (décalages des platines de translations par rapport à la position souhaitée, front d'onde incident présentant des aberrations, inhomogénéité d'éclairement, bruit et gain détecteur). Un banc de test a également été mis en place en parallèle en bande visible afin de procéder aux premières reconstitutions de profil pixel durant le premier trimestre 2015.

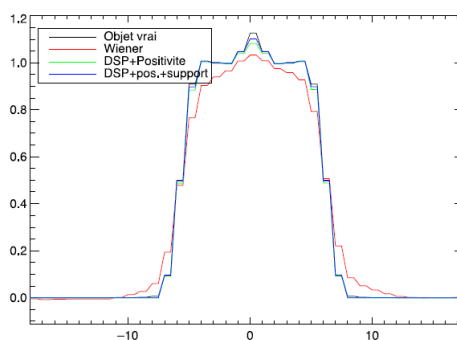


Fig. 1 : Profils en coupe du profil pixel de base et de différentes estimations

RÉFÉRENCES

- [1] N. Guérineau, "Application du phénomène d'auto-imagerie à la caractérisation des matrices de détecteurs infrarouges", Thèse de l'Université Paris-Sud (1996)
- [2] F. de la Barrière, G. Druart, N. Guérineau, S. Rommeluère, L. Mugnier, et al. "Modulation transfer function measurement of infrared focal-plane arrays with small fill factors. Journal of Electronic Materials", February 2012
- [3] C. Ketchazo, T. Viale, et al. "A new technique of characterization of the intrapixel response of astronomical detectors", Proc. SPIE 9154, High Energy, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy VI, 91541Y (23 July 2014).

Détermination polarimétrique de la retardance intrinsèque et de l'orientation tridimensionnelle d'échantillons biologiques biréfringents

Noé Ortega-Quijano^{1,2}, Félix Fanjul-Vélez¹, José Luis Arce-Diego¹

¹ Laboratoire de Techniques Optiques Appliquées, Universidad de Cantabria, Avenida de los Castros s/n, 39005 Santander, Espagne

² Institut de Physique de Rennes, CNRS, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France

noe.ortega@univ-rennes1.fr

La prise en compte de la polarisation de la lumière dans les techniques d'imagerie optique médicale permet d'apporter des paramètres de contraste additionnels importants pour la caractérisation des tissus et pour le diagnostic. Le formalisme le plus utilisé pour caractériser l'interaction de la lumière polarisée avec des échantillons anisotropes et dépolarisants est le calcul de Mueller. Les méthodes d'analyse polarimétrique supposent que l'axe optique des milieux uniaxes est normal à la direction de propagation de la lumière. Pourtant, si l'axe optique est oblique par rapport à celle-ci, l'amélioration du contraste diminue progressivement, jusqu'à la limite où le faisceau se propage dans la direction de l'axe optique et en conséquence il n'y a plus de contraste polarimétrique car le milieu uniaxe devient transversalement isotrope.

Deux méthodes ont été récemment proposées pour surmonter cette difficulté dans le domaine de la polarimétrie de Mueller et de la Tomographie de Cohérence Optique [1,2]. Pourtant, ils utilisent des méthodes numériques approchées. Dans ce travail, nous présentons une nouvelle approche analytique qui repose sur le formalisme des matrices différentielles de Jones généralisées pour le cas tridimensionnel et qui utilise la décomposition différentielle de Mueller comme méthode d'analyse [3,4]. Nous présentons les équations qui permettent de remonter à la retardance intrinsèque de l'échantillon et à l'orientation tridimensionnelle de son axe optique à partir de la mesure de la matrice de Mueller pour deux angles différents d'illumination. Cette méthode a été vérifiée avec des simulations de Monte Carlo polarisé (Figure 1). Les résultats montrent que cette approche permet d'extraire les paramètres intrinsèques sur l'échantillon, évitant ainsi une perte du contraste polarimétrique pour les tissus dont l'orientation est oblique.

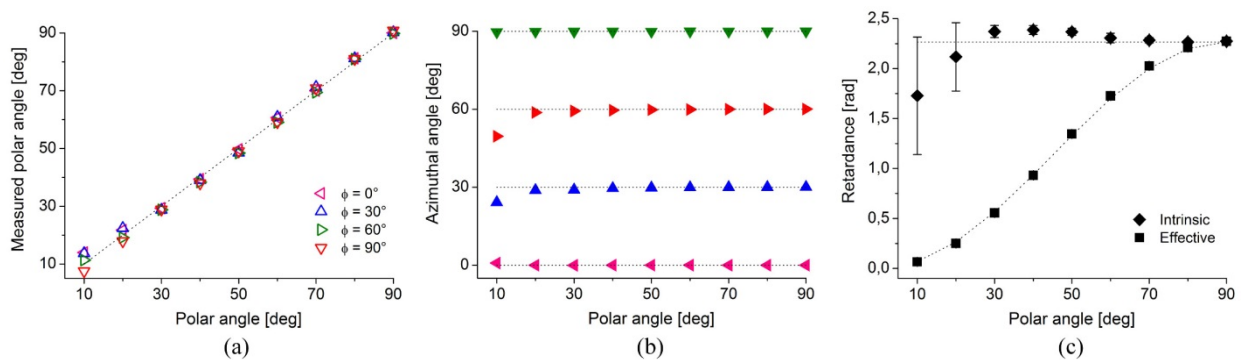


Figure 1 : Comparaison de l'angle de longitude (a) et angle de latitude (b) calculés pour plusieurs orientations maîtrisées de l'axe optique, et (c) retardance intrinsèque obtenue.

RÉFÉRENCES

- [1] N. Ugryumova, S. V. Gangnus, and S. J. Matcher, "Three-dimensional optic axis determination using variable-incidence-angle polarization-optical coherence tomography," *Optics Letters* vol. 31, no. 15 pp. 2305–2307, 2006.
- [2] M. A. Wallenburg, M. F. G. Wood, N. Ghosh and I. A. Vitkin, "Polarimetry-based method to extract geometry independent metrics of tissue anisotropy," *Optics Letters* vol. 35, no. 15, pp. 2570–2572, 2010.
- [3] N. Ortega-Quijano and J. L. Arce-Diego, "Generalized Jones matrices for anisotropic media," *Optics Express* vol. 21, no. 6, pp. 6895–6900, 2013.
- [4] N. Ortega-Quijano, F. Fanjul-Vélez, and J. L. Arce-Diego, "Polarimetric analysis of birefringent tissues with three-dimensional optic axis orientation," *Optics Express* vol. 5, no. 1, pp. 287–292, 2014.

Imagerie polarimétrique active adaptative dans l’infra-rouge

Nicolas Vannier¹, François Goudail¹, Corentin Plassart¹, Matthieu Boffety¹, Patrick Feneyrou², Luc Leviandier², Frédéric Galland³, Nicolas Bertaux³

¹ *Laboratoire Charles Fabry, UMR 8501, Institut d’Optique, CNRS, Univ. Paris Sud 11, Palaiseau*

² *Thales Research and Technology - France, RD128, 91767 Palaiseau Cedex*

³ *Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel UMR 7249, Marseille*

nicolas.vannier@institutoptique.fr

L’analyse de l’information de polarisation de la lumière renvoyée par une scène permet d’obtenir des contrastes invisibles en imagerie d’intensité classique [1]. L’intérêt de l’imagerie polarimétrique a été démontré dans plusieurs domaines [2, 3, 4] comme l’imagerie biologique, le contrôle industriel, la télédétection ou les applications défense, en particulier en décamouflage. En contrôlant la polarisation de la lumière émise et analysée par un système imageur polarimétrique actif, il est possible d’optimiser le contraste entre un objet d’intérêt et le reste de l’image [5].

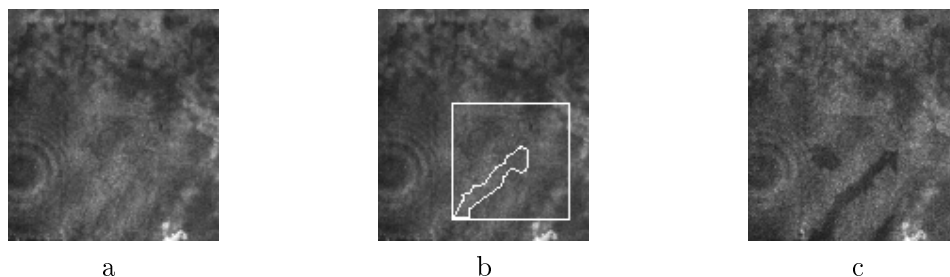


Fig. 1 : Décamouflage d’une plaque de métal semi-ensevelie sous de la boue. (a) image d’intensité classique (b) segmentation de la cible (c) image polarimétrique optimisée.

Nous présenterons le système imageur agile en polarisation que nous avons développé. Il travaille dans le proche infra-rouge et adapte ses états de polarisation d’émission et de réception à la scène observée en utilisant des algorithmes de segmentation d’images [6, 7]. Nous exposerons en particulier les stratégies de pilotage utilisées pour optimiser le contraste d’une cible par rapport au fond dans une scène inconnue. Enfin nous montrerons des résultats d’optimisation de contraste dans des scènes réelles pour des applications de décamouflage (Fig. 1).

RÉFÉRENCES

- [1] G. Anna, F. Goudail, and D. Dolfi, “Polarimetric target detection in the presence of spatially fluctuating mueller matrices,” *Optics Letters*, vol. 36, pp. 4590–4592, 2011.
- [2] J. S. Tyo, M. P. Rowe, E. N. Pugh, and N. Engheta, “Target detection in optical scattering media by polarization-difference imaging,” *Applied Optics*, vol. 35, pp. 1855–1870, Apr 1996.
- [3] Y. Y. Schechner, S. G. Narasimhan, and S. K. Nayar, “Polarization-based vision through haze,” *Applied Optics*, vol. 42, pp. 511–525, 2003.
- [4] A. Pierangelo, B. Abdelali, M.-R. Antonelli, T. Novikova, P. Validire, B. Gayet, and A. D. Martino, “Ex-vivo characterization of human colon cancer by mueller polarimetric imaging,” *Opt. Express*, vol. 19, pp. 1582–1593, 2011.
- [5] G. Anna, H. Sauer, F. Goudail, and D. Dolfi, “Fully tunable active polarization imager for contrast enhancement and partial polarimetry,” *Applied Optics*, vol. 51, pp. 5302–5309, 2012.
- [6] F. Galland and P. Réfrégier, “Minimal stochastic complexity snake-based technique adapted to an unknown noise model,” *Opt. Lett.*, vol. 30, pp. 2239–2241, 2005.
- [7] G. Anna, N. Bertaux, F. Galland, F. Goudail, and D. Dolfi, “Joint contrast optimization and object segmentation in active polarimetric images,” *Optics Letters*, vol. 37, pp. 3321–3323, 2012.

Extension de la profondeur de champ par codage de pupille : optimisation et caractérisation des performances

M.-A. Burcklen¹, F. Diaz¹, F. Leprêtre¹, J. Rollin¹, C. Fontaine¹, A. Delboulbé², M.S.L. Lee², B. Loiseaux²,
A. Koudoli², S. Denel², P. Millet², F. Lemonier², H. Sauer³, F. Goudail³

¹ *Thales Angénieux, bld Ravel de Malval, 42570 Saint-Héand, France*

² *Thales Research & Technology France, 1 av. Augustin Fresnel, 91767 Palaiseau, France*

³ *Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique, CNRS, Université Paris Sud 11, 2 av. Augustin Fresnel, 91127 Palaiseau, France*

marie-anne.burcklen@fr.thalesgroup.com

Les systèmes d'imagerie conventionnels sont traditionnellement conçus en optimisant la combinaison optique de manière à obtenir la meilleure image possible, puis en rehaussant la qualité avec un post-traitement numérique. Une autre approche de conception basée sur les techniques de codage de pupille permet d'augmenter les performances des systèmes existants, notamment la profondeur de champ, et fait l'objet de cette présentation.

Les systèmes d'imagerie à codage de pupille comportent une lame de phase insérée dans un plan pupillaire et un traitement numérique dédié. La lame de phase rend la scène insensible à une contrainte donnée – aberration, tolérances mécaniques, température... – au prix d'une dégradation connue de l'image. Le traitement d'image permet par déconvolution de retrouver la qualité de l'image d'origine. L'amélioration significative de la qualité image est obtenue par conception conjointe de la fonction de phase et du traitement d'image [1, 2].

Dans ces travaux, l'objectif était d'augmenter la profondeur de champ par codage de pupille d'une caméra visible haute-définition ouverte à f/1.2. Un masque de phase binaire multi-anneaux a été optimisé conjointement avec le post-traitement, selon le critère de rapport signal à bruit de l'image restaurée [1]. La réalisation du masque et l'implémentation du traitement numérique sur carte FPGA adaptée permettent d'obtenir un système hybride temps réel et basse consommation qui a été caractérisé.

Pour cela, nous avons mis en place une méthodologie spécifique de mesure de la Fonction de Transfert de Modulation (FTM) à partir de mires à barres. La comparaison des courbes de FTM et de la qualité des images acquises avec le système conventionnel et le système hybride a permis de valider l'apport du codage de pupille pour une augmentation de la profondeur de champ. Pour des qualités d'image des deux systèmes similaires à grande distance (47m), la qualité image du système à codage de pupille reste stable jusqu'à 4.8m alors que celle du système conventionnel décroît à partir de 12m. Ces mesures valident le gain attendu pour ce système d'imagerie à codage de pupille lors de sa conception conjointe.

RÉFÉRENCES

- [1] F. Diaz, F. Goudail, B. Loiseaux, J.-P. Huignard, "Increase in depth of field taking into account deconvolution by optimization of pupil mask," *Opt. Lett.*, vol. 34, no. 19, pp. 2970–2972, 2009.
- [2] F. Diaz, F. Goudail, B. Loiseaux, J.-P. Huignard, "Comparison of depth-of-focus-enhancing pupil masks based on a signal-to-noise-ratio criterion after deconvolution," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 27, 2123–2131, 2010.

Reconstruction de champs instantanés de masse volumique par BOS 3D

François Nicolas¹, David Donjat¹, Francis Micheli¹, Aurélien Plyer², Frédéric Champagnat², Guy LeBesnerais², Philippe Cornic²

¹ ONERA Toulouse, Chemin 2 Avenue Edouard Belin, 31 000 Toulouse, France

² ONERA Chemin de la Hunière, 91 123 Palaiseau, France

francois.nicolas@onera.fr

La Background Oriented Schlieren (BOS) est une technique qui dérive de la vélocimétrie par image de particules et qui exploite la déviation des rayons lumineux. Elle s'apparente à une strioscopie numérique et au-delà de la simple visualisation, elle permet la mesure des gradients d'indice optique au sein d'un milieu. Développée par Meir et Raffel [1], la technique a profitée des avancées réalisées dans le domaine de l'imagerie et des progrès informatiques.

La BOS consiste à réaliser une première image de référence, sans écoulement, d'un fond texturé appelé mouchetis. Une seconde prise de vue a lieu en présence d'un écoulement entre le fond et la caméra. Les variations d'indice optique induites par les effets de température ou de pression conduisent à une déviation des rayons lumineux et donc, à un déplacement apparent des points du mouchetis. Ces déplacements sont calculés à l'aide d'un logiciel de flot optique et sont reliés aux gradients d'indice via l'équation d'Eikonal.

La technique étant relativement simple, nous avons mis en place un système multi-points de vues afin de remonter au champ de masse volumique [2]. Afin de résoudre les problèmes de tomographie et d'intégration simultanément, une approche directe a été choisie. Le problème étant de très grande taille et souffrant d'un mauvais conditionnement, nous cherchons une solution des moindres carrés régularisée. La convergence vers la solution est menée par un algorithme de gradient conjugué avec un calcul automatique du pas. Le calcul faisant intervenir des étapes de lancer de rayons très coûteuses en temps de calcul, notre code de reconstruction a été implémenté sous GPU.

Une étape de validation a tout d'abord été menée sur des données synthétisées à partir d'un calcul de CFD. Puis, un banc d'essai dédié a également été mis en place (Figure 1). Cette géode est constituée de 12 caméras et de leur mouchetis associé. Ce moyen d'essai unique permet la reconstruction du champ de masse volumique dans un cube 50cm de côté, discrétisé en 27 millions de voxels (Figure 2).



Figure 1 : Banc d'essai BOS 3D

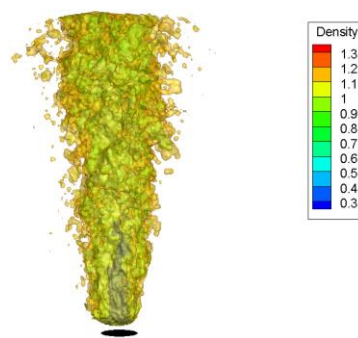


Figure 2 : Reconstruction d'un jet chaud par BOS 3D

REFERENCES

- [1] Richard, H., Raffel, M., Rein, M., Kompenhans, J., & Meier, G. E. A. (2002). *Demonstration of the applicability of a Background Oriented Schlieren (BOS) method*. In *Laser Techniques for Fluid Mechanics* (pp. 145-156). Springer Berlin Heidelberg.
- [2] Todoroff, V., Le Besnerais, G., Donjat, D., Micheli, F., Plyer, A., & Champagnat, F. (2014). *Reconstruction of instantaneous 3D flow density fields by a new direct regularized 3DBOS method*. In *Int. Symp. on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanic*, Lisbon.