

LIU Penghuan

Optimisation statistique et numérique pour la microscopie à éclairement structurée non contrôlé

La microscopie à éclairements structurés (structured illumination microscopy, SIM) permet de dépasser la limite de résolution en microscopie optique due à la diffraction, en éclairant l'objet avec un ensemble de motifs périodiques parfaitement connus. Cependant, il s'avère difficile de contrôler exactement la forme des motifs éclairants. Qui plus est, de fortes distorsions de la grille de lumière peuvent être générées par l'échantillon lui-même dans le volume d'étude, ce qui peut provoquer de forts artefacts dans les images reconstruites.

Récemment, des approches dites blind-SIM ont été proposées, où les images sont acquises à partir de motifs d'éclairement inconnus, non-périodiques, de type speckle, bien plus faciles à générer en pratique. Le pouvoir de super résolution de ces méthodes a été observé, sans forcément être bien compris théoriquement. Cette thèse présente deux nouvelles méthodes de reconstruction en microscopie à éclairements structurés inconnus (blind-speckle-SIM) : une approche conjointe et une approche marginale.

Dans l'approche conjointe, nous estimons conjointement l'objet et les motifs d'éclairement au moyen d'un modèle de type Basis Pursuit DeNoising (BPDN) avec une régularisation en norme l_{pq} . La norme l_{pq} est introduite afin de prendre en compte une hypothèse de parcimonie sur l'objet.

Dans l'approche marginale, nous reconstruisons uniquement l'objet et les motifs d'éclairement sont traités comme des paramètres de nuisance. Notre contribution est double. Premièrement, une analyse théorique démontre que l'exploitation des statistiques d'ordre deux des données permet d'accéder à un facteur de super-résolution de deux, lorsque le support de la densité spectrale du speckle correspond au support fréquentiel de la fonction de transfert du microscope. Ensuite, nous abordons le problème du calcul numérique de la solution. Afin de réduire à la fois le coût de calcul et les ressources en mémoire, nous proposons un estimateur marginal à base de patches. L'élément clé de cette méthode à patches est de négliger l'information de corrélation entre les pixels appartenant à différents patches.

Des résultats de simulations et en application à des données réelles démontrent la capacité de super-résolution de nos méthodes. De plus, celles-ci peuvent être appliquées aussi bien sur des problèmes de reconstruction 2D d'échantillons fins, mais également sur des problèmes d'imagerie 3D d'objets plus épais.

Mots-clés : imagerie super-résolue, optimisation numérique, éclairement de speckle, estimation à minimum de contraste, parcimonie conjointe.

Visa du Directeur de Recherche

