

Reconstruction d'images médicales par apprentissage de dictionnaires convolutifs

Titre :	Reconstruction en imagerie médicale par apprentissage de dictionnaires convolutifs
Mots clefs :	Reconstruction d'image ; problème inverse ; optimisation numérique ; apprentissage automatique ; apprentissage profond
Instituts :	LaTIM, INSERM UMR 1101 LMBA, CNRS UMR 6205
Financement :	Université de Bretagne Occidentale (UBO) : 50% CDE ED BS (fléchée) + 50% CDE MathSTIC (fléchée)
Directeur :	Alexandre BOUSSE <code>alexandre.bousse@univ-brest.fr</code>
Co-directeur :	Franck VERMET <code>franck.vermet@univ-brest.fr</code>
Encadrant :	Jacques FROMENT <code>jacques.froment@univ-ubs.fr</code>
Début de la thèse :	Septembre 2021

Profil recherché

- Master en mathématiques appliquées ou mathématiques pures ;
- Connaissances en optimisation numérique ;
- Bon niveau en programmation (Matlab ou Python) ;
- Bon niveau en anglais.

Résumé du projet L'imagerie médicale par tomodensitométrie (TDM) permet de reconstruire des images anatomiques par des mesures d'atténuation des rayons X. En mathématiques, il s'agit d'une application des problèmes inverses. L'acquisition des mesures par le scanner n'est pas une opération instantanée : une durée d'acquisition minimale est requise afin de récolter suffisamment d'information et de réduire le bruit. Les acquisitions courtes et à faible dose sont préférables en clinique mais elles produisent des images de mauvaise qualité. Inversement, les acquisitions longues permettent une réduction du bruit mais elles augmentent la dose délivrée au patient (radioactivité).

Ce projet a pour ambition de développer des nouvelles méthodes de reconstruction d'image TDM par apprentissage automatique (*machine learning*), plus particulièrement par apprentissage de dictionnaire convolutif. Cette approche permet d'obtenir une représentation parcimonieuse des images avec une base entraînée à partir d'une base de données ; cette représentation peut être ensuite approfondie pour former un réseau neuronal convolutif (apprentissage profond, ou *deep learning*).

Le projet de thèse se concentrera sur les aspects mathématiques et apprentissage du problème. Les points suivant seront abordés :

- l’analyse mathématique du problème inverse (stabilité, variance) ;
- le développement de nouvelles méthodes d’apprentissage de dictionnaire convolutif pour la représentation des images ;
- les algorithmes d’optimisation non-convexes avec mélange de pénalités L^1 et L^2 pour la reconstruction par maximum de vraisemblance pénalisé ;
- l’extension en réseau neuronal convolutif ;
- l’utilisation de ces méthodes en imagerie TDM ;

Hypothèses, questions posées, identification des points de blocage Au cours des dernières décennies, de nouvelles méthodes de reconstruction des images médicale avec contrôle du bruit, telles que la reconstruction itérative basée modèle [1] avec terme de pénalité [2]. Les méthodes d’acquisition comprimée, ou *compressed sensing* utilisent la parcimonie pour résoudre des système sous-déterminés, comme par exemple en reconstruction TDM avec peu de projections. Plus récemment, les méthodes d’apprentissage automatique permettent aux méthodes de reconstruction d’*apprendre* des caractéristiques de l’image depuis une base de donnée, sous la forme de *dictionnaires* estimés par des algorithmes d’apprentissage [3].

Les méthodes de reconstruction par apprentissage de dictionnaire sont coûteuses en temps de calcul (*NP*-difficile) et de mémoire. Les récentes méthodes par apprentissage de dictionnaire convolutif pourraient lever ce verrou scientifique, grâce à l’utilisation de dictionnaires de *filtres*, peu coûteux en ressources car invariants par translation [4]. Les contraintes de parcimonie de ces filtres pourraient également être intégrées dans l’apprentissage de réseaux convolutifs profonds (*deep learning*). C’est l’approche qui sera privilégiée pour ce travail de thèse.

Approches méthodologiques et techniques envisagées Les dictionnaires de filtres doivent être en mesure de fournir une représentation jointe parcimonieuse des images multimodales. Plusieurs choix sont possibles, comme les filtres de synthèse ou les filtres d’analyse [5].

L’information apprise par ADC sera combinée aux données brutes des scanners sous la forme d’un terme de pénalité ajouté au terme d’attache aux données. L’estimation des paramètres se fera sur la base de cette fonction de coût.

Les algorithmes d’optimisation devront permettre (i) l’encodage parcimonieux des images, (ii) l’apprentissage des dictionnaires et la (iii) reconstruction des images. (i) et (ii) peuvent être effectués avec des méthodes de type Lagrangien augmenté pour optimisation L^1+L^2 [6], tandis que la reconstruction pourront s’effectuer avec des méthodes de transfert d’optimisation [7] couplées avec des algorithmes quasi-Newton de type Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) [8].

Environnement scientifique et positionnement dans le contexte régional, national et international Cette thèse s’effectuera au sein de l’équipe ACTION du LaTIM (unité Inserm 1101), en partenariat avec le LMBA.

L’équipe ACTION du LaTIM comporte trois axes de recherche : reconstruction d’image, dosimétrie et radiothérapie, et optimisation du traitement par modèles multiparamétriques. L’axe reconstruction travaille sur les méthodes numériques de reconstruction d’image en TDM et en tomographie par émission de positons (TEP). La recherche se fera avec l’axe reconstruction d’image, et sera dirigée par Alexandre BOUSSE (maître de conférences UBO, HDR MathSTIC).

Le Laboratoire de Mathématiques de Bretagne Atlantique (LMBA) regroupe la majorité des mathématiciens dans l’Ouest-Bretagne (environ soixante membres permanents). Il bénéficie des tutelles du CNRS (UMR 6205), de l’Université de Brest et de l’Université de Bretagne Sud. Les thèmes de recherche représentés couvrent une large partie des domaines mathématiques, depuis

les aspects théoriques jusqu'aux plus appliqués. On peut distinguer trois grands thèmes, organisés autour d'équipes et de séminaires : Géométrie et topologie ; Systèmes dynamiques, probabilités et statistique ; Analyse, phénomènes stochastiques et applications.

La recherche se fera avec l'axe Systèmes dynamiques, probabilités et statistique, sous la co-direction de Jacques FROMENT (Professeur au LMBA à Vannes) et Franck VERMET (Maître de conférences HDR au LMBA à Brest).

Références

- [1] L. A. SHEPP et Y. VARDI, « Maximum Likelihood Reconstruction for Emission Tomography, » *IEEE Transactions on Medical Imaging*, t. 1, n° 2, p. 113-122, 1982.
- [2] A. R. DE PIERRO, « A modified expectation maximization algorithm for penalized likelihood estimation in emission tomography, » *IEEE Transactions on Medical Imaging*, t. 14, n° 1, p. 132-137, 1995.
- [3] S. RAVISHANKAR, R. R. NADAKUDITI et J. A. FESSLER, « Efficient sum of outer products dictionary learning (SOUP-DIL) and its application to inverse problems, » *IEEE Transactions on Computational Imaging*, t. 3, n° 4, p. 694-709, 2017.
- [4] C. GARCIA-CARDONA et B. WOHLBERG, « Convolutional dictionary learning : A comparative review and new algorithms, » *IEEE Transactions on Computational Imaging*, t. 4, n° 3, p. 366-381, 2018.
- [5] I. Y. CHUN et J. A. FESSLER, « Convolutional analysis operator learning : Acceleration and convergence, » *IEEE Transactions on Image Processing (preprint)*, 2019.
- [6] S. BOYD, N. PARIKH, E. CHU, B. PELEATO et J. ECKSTEIN, « Distributed Optimization and Statistical Learning via the Alternating Direction Method of Multipliers, » *Foundations & Trends in Machine Learning*, t. 3, n° 1, p. 1-122, 2010.
- [7] K. LANGE, D. R. HUNTER et I. YANG, « Optimization Transfer Using Surrogate Objective Functions, » *Journal of Computational and Graphical Statistics*, t. 9, n° 1, p. 1-20, 2000.
- [8] Y.-J. TSAI, A. BOUSSE, M. J. EHRHARDT, C. W. STEARNS, S. AHN, B. H. HUTTON, S. ARRIDGE et K. THIELEMANS, « Fast Quasi-Newton Algorithms for Penalized Reconstruction in Emission Tomography and Further Improvements via Preconditioning, » *IEEE Transactions on Medical Imaging*, t. 37, n° 4, p. 1000-1010, 2018.