

Compte rendu du Projet TSAI : Lecture et Analyse d'un article scientifique

Oscar Gledel, Emilien Sanchez

January 13, 2026

Ce projet, effectué dans le cadre de l'UE de M2 "*Traitement de Signal et Applications en Imagerie*", a pour but de produire une analyse d'un article scientifique dans le domaine de l'imagerie médicale. Notre choix s'est porté sur l'article "*Windowed Radon Transform and Tensor Rank-1 Decomposition for Adaptive Beamforming in Ultrafast Ultrasound*", par Samuel Beuret et Jean-Philippe Thiran, publié en Janvier 2024 dans *Transactions on Medical Imaging*, Vol. 43.

Le travail demandé peut être différent selon l'article sélectionné, les données à dispositions étant variables et dépendantes du sujet de l'article. Dans notre cas, il nous a été demandé d'effectuer et de rapporter les tâches suivantes :

- Lire, comprendre et analyser l'article.
- Comprendre et analyser le code fourni en complément de l'article.
- Reproduire les résultats obtenus dans à l'aide du code et des données fournies en complément de l'article.

Nous structurerons donc notre rapport selon ces axes de travail, en commençant par un résumé de l'article fait de notre point de vue. Nous détaillerons ensuite le travail effectué autour du code et des données pour reproduire les résultats de l'article, et ferons un parallèle avec ce que nous en avons compris.

1. Résumé de l'article

A. Contexte et problématiques. Cet article s'inscrit dans une problématique liée aux ultrasons ultra-rapides. La plupart des images obtenues à l'aide de cette méthode sont victimes d'un effet d'aberration de phase, qui génère un bruit complexe à effacer avec des filtres simples. Ces aberrations sont dues à une supposition forte qui était faite jusque là : la vitesse du son est constante dans les tissus. Cet article vise donc à solutionner ce problème d'aberration au travers d'une méthode mathématique combinant transformée de Radon et décomposition en tenseur de rang 1.

B. Termes importants. Dans un premier temps, définissons les différents termes du titre de l'article, qui sont important à traiter selon nous pour la compréhension du papier.

- **Windowed Radon Transform.** La transformée de Radon est une méthode qui permet de convertir une image acquise en un ensemble de distances et d'angles depuis lesquelles les ondes sont revenues au capteur. En utilisant cette transformation, on peut transférer un problème d'aberrations des intensités dans le résultat obtenu vers un problème de cohérence du signal (déformation et inclinaison du signal).

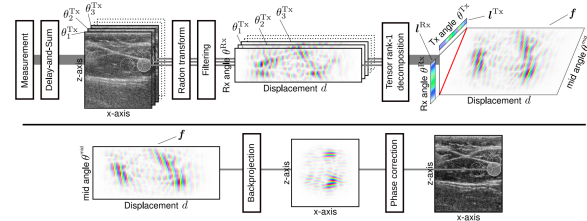


Fig. 1. Schéma extrait de l'article. "Summary of the proposed method. Top row: beamforming of a single complex radio-frequency image per insonification, followed by windowed Radon transform and filtering. Tensor rank-1 decomposition is then performed patch-wise according to (19) and Algorithm 1. The phase and magnitude of complex numbers are encoded by the hue and darkness of the depicted colors, respectively. Bottom row: reconstruction of a patch from the result of tensor decomposition, followed by the reconstruction of the output image from the whole set of patches according to Algorithm 2."

- **Tensor Rank-1 Decomposition.** La décomposition en tenseur de rang 1 consiste à extraire la composante la plus significatives d'un tenseur source. Un tenseur est un objet mathématique d'ordre 3 (le vecteur est d'ordre 1, la matrice d'ordre 2).
- **Adaptive Beamforming.** Le beamforming est une méthode combinant l'application d'un décalage temporel entre les signaux (focalisation) et d'une somme pondérée de ces signaux (apodisation). L'adaptive beamforming ajoute une notion de filtrage spatial au beamforming pour limiter le bruit qui arrive aux capteurs.
- **Ultrafast Ultrasounds.** C'est une méthode ultrasonore qui s'appuie non pas sur la focalisation (qui limite la cadence en raison du retard que l'on doit appliquer au signal), mais sur une notion de plans et d'ondes divergentes, pour produire un signal.

L'objectif de cet article est de solutionner, au travers de ces différentes méthodes combinées, le problème des aberrations de phase dans les images ultrasonores. Ces aberrations sont liées à la variabilité de la vitesse du son dans les tissus, qui n'est pas prise en compte par les méthodes classiques.

La méthode présentée fait le choix de corriger le signal à une échelle locale plutôt que globale, en utilisant le fenêtrage de la transformée de Radon ainsi que l'aspect spatial lié à cette transformation.

C. Étapes du traitement. Ainsi, cet article présente une méthode qui peut être résumée au travers de la figure 1. Dans un premier temps, plutôt que de travailler sur des signaux bruts, cette méthode applique la transformée de Radon sur des images pré-formées, permettant ainsi d'obtenir ce que

l'on appelle un sinogramme de l'image, qui simplifie l'analyse directionnelle des signaux.

Une fois ce sinogramme obtenu, les auteurs de l'article font une supposition forte : les signaux qui ne sont pas du bruit sont forcément structurés et propres. Ainsi, ils peuvent avancer que les signaux utiles (i.e. ceux qui ne sont pas du bruit) sont compris dans les premières composantes d'une décomposition du tenseur que forme le sinogramme. La méthode consiste donc ensuite à appliquer une décomposition en tenseur de rang 1 du sinogramme, opération qui va servir à filtrer le bruit pour n'extraire que les signaux dont l'empreinte est propre.

Finalement, les signaux obtenus par cette décomposition sont utilisés pour reconstruire une image propre, qui ne contient plus les aberrations de phases qui étaient présentes initialement.

2. Résultats & Reproductions

Dans cette section, nous observerons les résultats obtenus dans le papier tout en les comparant à nos résultats lors de la reproduction des tests.

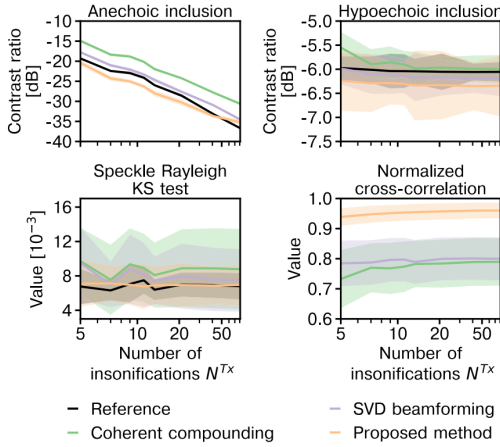


Fig. 2. Extrait de l'article. "Evolution of the average image quality metrics with respect to the number of insonifications. The metrics are computed over 10 speckle realizations of the phantom and depicted with their standard deviations"

Les figures 2 et 3 montrent respectivement la qualité d'image obtenue sur des jeux de test (sous forme de métriques d'évaluation) et une application sur des données réelles.

Ce que l'on peut déjà constater, c'est que la méthode du papier est toujours meilleure ou équivalente sur les données de test. La seule métrique sur laquelle elle n'est pas forcément meilleure est le *Speckle Rayleigh KS test*, mais elle semble plus constante sur l'ensemble des niveaux d'insonification.

Pour ce qui est des résultats visuels obtenus dans l'article, on constate clairement que cette méthode surpasse les autres en terme de qualité de détails. En particulier pour les zoom de la seconde image (figure 3), on observe facilement que la courbure dans le zoom du haut, ou les tâches dans le zoom du bas, sont bien plus nettes et visibles avec la méthode du papier.

Finalement, les résultats que nous avons pu reproduire de ce papier à l'aide du code qui nous a été fourni (figure 4), montrent que la méthode fonctionne bien. On constate qu'il s'agit de la seconde image de l'exemple, et on distingue facilement que notre résultat colle parfaitement à celui présent

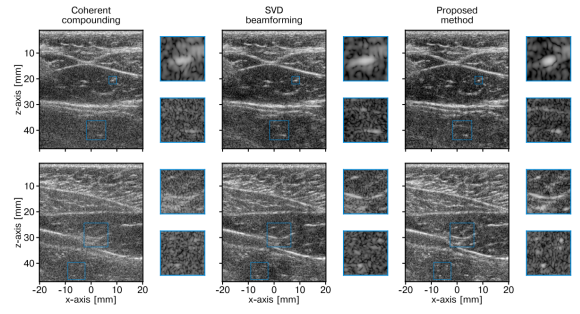


Fig. 3. Extrait de l'article. "Two in-vivo images of an abdominal wall (top and bottom row), using 9 plane wave insonifications and displayed with a 60 dB dynamic range. Results of coherent compounding, SVD beamforming and the proposed method are depicted. Areas of interest are highlighted in blue."

dans la figure. Le détail de l'analyse du code que nous avons fait, ainsi que les manipulations pour passer d'une approche parallèle sur GPU à une approche CPU sont disponibles dans le compte rendu de code associé au GitHub.

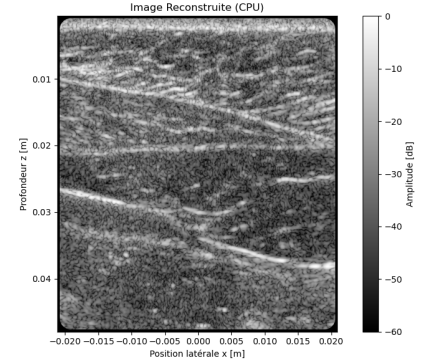


Fig. 4. Résultats obtenus lors de nos tests en faisant fonctionner l'algorithme fourni en complément de l'article sur les données de paroi abdominale (*abdominal wall*).