

Abstract:

To improve the safety (low dose) and the productivity (fast acquisition) of a X-ray CT system, we want to reconstruct a high quality image from a small number of projections. The classical reconstruction algorithms generally fail since the reconstruction procedure is unstable and suffers from artifacts. A new approach based on the recently developed "Compressed Sensing" (CS) theory assumes that the unknown image is in some sense "sparse" or "compressible", and the reconstruction is formulated through a non linear optimization problem (TV/ ℓ_1 minimization) by enhancing the sparsity. Using the pixel (or voxel in 3D) as basis, to apply the CS framework in CT one usually needs a "sparsifying" transform, and combines it with the "X-ray projector" which applies on the pixel image. In this thesis, we have adapted a "CT-friendly" radial basis of Gaussian family called "blob" to the CS-CT framework. The blob has better space-frequency localization properties than the pixel, and many operations, such as the X-ray transform, can be evaluated analytically and are highly parallelizable (on GPU platform). Compared to the classical Kaiser-Bessel blob, the new basis has a multiscale structure: an image is the sum of dilated and translated radial Mexican hat functions. The typical medical objects are compressible under this basis, so the sparse representation system used in the ordinary CS algorithms is no more needed. 2D simulations show that the existing TV and ℓ_1 algorithms are more efficient and the reconstructions have better visual quality than the equivalent approach based on the pixel or wavelet basis. The new approach has also been validated on 2D experimental data, where we have observed that in general the number of projections can be reduced to about 50%, without compromising the image quality.

Keywords: tomography, compressed sensing, TV and ℓ_1 algorithms, blobs, radial functions

Résumé :

Afin d'améliorer la sûreté (faible dose) et la productivité (acquisition rapide) du système de la tomographie par rayons X (CT), on cherche à reconstruire une image de haute qualité avec un faible nombre de projections. Les algorithmes classiques ne sont pas adaptés à cette situation: la reconstruction est perturbée par artefacts donc instable.

Une nouvelle approche basée sur la théorie récente du "Compressed Sensing" (CS) fait l'hypothèse que l'image inconnue est "parcimonieuse" ou "compressible", et formule la reconstruction en un problème d'optimisation (minimisation de la norme TV/ ℓ_1) afin de promouvoir la parcimonie. Pour appliquer CS en CT avec le pixel (ou le voxel en 3D) comme la base de représentation, il nécessite une transformation de parcimonie, de plus il faut la combiner avec le "projecteur du rayon X" qui applique sur une image pixelisée. Dans cette thèse, on a adapté une base radiale de famille Gaussienne nommée "blob" à la reconstruction en CT par CS. Le blob a une meilleure localisation spatiofréquentielle que le pixel, et des opérations comme la transformée en rayons X, peuvent être évaluée analytiquement et elles sont facilement parallélisables (sur le plate-forme GPU). Comparé au blob classique du Kaiser-Bessel, la nouvelle base a une structure multi-échelle: une image est la somme des translations et des dilatations d'un chapeau Mexicain radial. Les images médicales typiques sont compressibles sous cette base, ce qui entraîne que le système de la représentation parcimonieuse intervenu dans les algorithmes ordinaires de CS n'y est plus nécessaire. Des simulations numériques en 2D ont montré que, comparé à l'approche équivalente basée sur la base de pixel ou d'ondelette, les algorithmes du TV et du ℓ_1 existantes sont plus efficaces et les reconstructions ont de meilleures qualités visuelles. Cette nouvelle approche ont été également validée sur des données expérimentales bi-dimensionnelles, où on a observé que le nombre de projections peut être réduit jusqu'à 50%, sans pour autant compromettre la qualité de l'image.

Mots clés : tomographie, compressed sensing, algorithmes TV et ℓ_1 , blobs, fonctions radiales.