

X線CT画像におけるメタルアーチファクト低減のための サイノグラム構造に基づいた補間法と評価

宮岡慧[†] 加納徹[†] 小関道彦[‡] 赤倉貴子[†]

東京理科大学[†] 信州大学[‡]

1 はじめに

X線コンピュータ断層撮影(CT)装置は、被写体内部を非破壊で画像化することが可能である。しかし、被写体内部に金属があると放射状のアーチファクトを引き起こし、金属の周辺部が不鮮明になる問題が生じる。これをメタルアーチファクトと呼ぶ。このメタルアーチファクトを低減する手法として、投影補間法がある。Kalenderらは、欠損した投影データを投影角度ごとに線形補間するアルゴリズムを提案し、メタルアーチファクト低減を図った[1]。この手法は計算コストが軽く、簡便に実装ができるためX線CT装置に組み込みやすい。しかし、投影角度ごとに適用する手法であるため、十分な改善であるとはいえない。そこで、加納らは、サイノグラムの構造に沿って投影補間を行う、サイノグラム補間法を提案した[2]。しかし、欠損値が連続し、サイノグラム構造が破綻した状態で投影補間する場合は、利用できるサインカーブが減少し、十分な精度の補間を行うことができない。そこで、本研究では、事前に分断距離を縮小する矩形補間を行い、サイノグラム構造を保った状態で投影補間を行うことで、メタルアーチファクト低減を図る。そして、複数の数値ファントムを扱い、本手法の有効性を示す。

2 提案手法の概要

本章では、利用できる非金属領域のサインカーブを増やしたサイノグラム補間法を提案する。最初に、金属領域と非金属領域のセグメント化を行う。次に、非金属領域に対して、分断が短くなるように矩形補間を行う。最後に、補正した投影データを再構成し、金属領域の再構成画像を挿入することで、改善した再構成画像を得る。これらの手順について詳しく説明する。また、提案手法の流れを図1に記載する。

2.1 サインカーブの抽出

サイノグラムとは、被写体に対して周囲360度方向からX線を照射することで取得した、投影データを縦に並べたものである。また、サイノグラムは被

写体の位置座標ごとにサインカーブをもつ。それらのサインカーブに対して、加納らの提案したサインカーブ連続性の評価より、抽出を行う。

2.2 金属領域と非金属領域のセグメント化

順投影を行ったサイノグラムから、非金属領域と金属領域にセグメント化する。その方法として、2.1節で述べた連続性の評価を用いて、順投影によって得たサインカーブから金属領域を抜き出す。また、サイノグラム上の金属領域は欠損値に置き換え、このサイノグラムを非金属領域として扱う。

2.3 周辺情報を考慮した非金属領域の補間

非金属領域が描くサインカーブ上で、欠損値が連続している長さを「分断距離」と呼ぶ。この分断距離が長くなると、サインカーブに沿った線形補間が困難となり、利用できるサインカーブが減少する。この問題を解決するため、Mahnkenらが提案した近傍値を用いた周辺情報を考慮した補間法[3]を用いて、分断距離が十分に短くなるような矩形補間を行う。このとき、最適な補間幅と矩形数を設定するため、再構成画像の評価指標である、SSIM(Structural Similarity)が最大となる組み合わせを探索する。探索範囲として、投影数: P とすると、補間幅: $L = \{1, 2, \dots, \lfloor \frac{P}{5} \rfloor\}$ 、矩形数: $k = \{1, 2, \dots, \lfloor \frac{P}{2L} \rfloor\}$ と設定する。そして、この矩形補間と許容分断距離を短くしたサイノグラム補間法を適用した、非金属領域内における、各投影角度の欠損値の数が最大となるような角度を、矩形補間の中心: θ_k として決定する。その中心を基準に、始点: $\theta_k - \frac{L}{2}$ 、終点: $\theta_k + \frac{L}{2}$ の領域に矩形補間を適用する。この方法によって、十分に分断距離が短くなった、非金属領域のサイノグラムを得ることができる。

2.4 サインカーブによる非金属領域の補間

2.3節で取得した非金属領域のサイノグラムに対して、サインカーブを用いた補間法を適用する。そのさい、十分な補間が行えるように、許容分断距離を $\frac{P}{8}$ と設定する。そして、分断に対してサインカーブに沿って線形補間を行う。許容分断距離を短くすると、サインカーブに沿った線形補間後に、非金属領域内に欠損値が残る場合があるため、Mahnken補間を再度適用する。そして、分断のない完全なサイノグラムを得ることが可能となる。

Development of a New Interpolation Method based on Sinogram Structure for Metal Artifact Reduction in X-ray CT and Its Evaluation

Kei Miyaoka[†] Toru Kano[†] Michihiko Koseki[‡] Takako Akakura[†]
Tokyo University of Science[†] Shinshu University[‡]

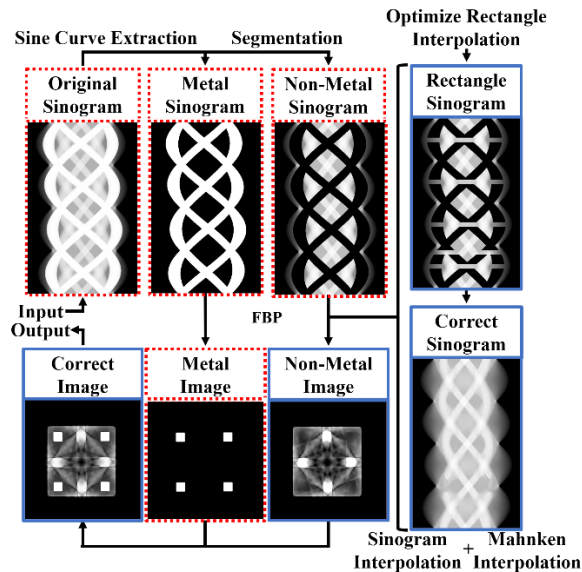


図1：提案手法の流れ

2.5 再構成画像の作成

完全なサイノグラムに対して逆投影を行い、非金属領域の再構成画像を得る。このとき、逆投影にはFBP(Filter Back Projection)法を使う。また、フィルタとして Shepp-Logan フィルタを用いる。そして、非金属領域の再構成画像に金属領域の画像を挿入することで、メタルアーチファクト低減をした再構成画像を得ることができる。

3 実験

3.1 実験方法

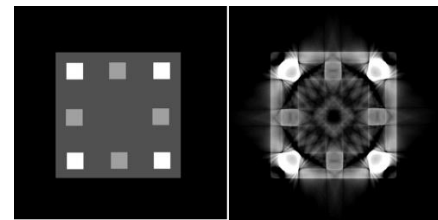
本研究では、著者らが開発したシミュレーションシステムを使って、実験を実施する。実験対象とする数値ファントムの画像と通常の再構成画像を図2に記載する。また、実験条件として、総ピクセル数：512×512、ピクセル長：0.200 mm、投影数：800 とする。そして、評価指標として、RMSE(Root Mean Squared Error)と SSIM を用いる。

3.2 実験結果

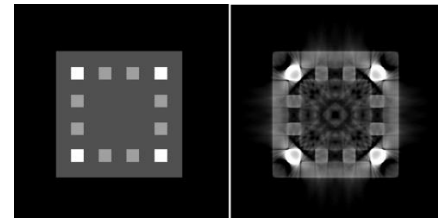
各再構成画像の結果を図3，樹脂領域における RMSE と SSIM の評価を表1にまとめる。この結果から、(a)のファントムでは、RMSE, SSIM とともに提案手法が最も良い結果であるといえる。(b)のファントムでは、各評価指標の差は小さいが、提案手法の方がアルミの輪郭を再現できている。この結果から、提案手法がメタルアーチファクト低減に有効であることが示唆される。

4 まとめ

本研究では、分断距離を縮小し、サイノグラム補間法を適用することで、メタルアーチファクト低減を図った。その結果、各数値ファントムにおいて、再構成画像が改善し、有効性を示すことができた。

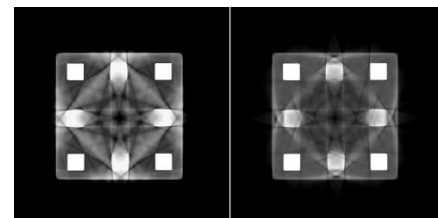


(a)鉄，アルミ，樹脂（鉄の数:4，アルミの数:4）

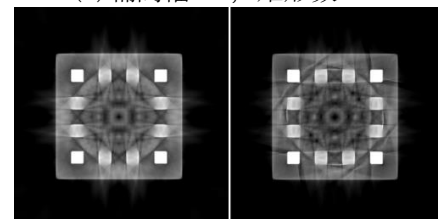


(b)鉄，アルミ，樹脂（鉄の数:4，アルミの数:8）

図2：数値ファントム(左)と通常の再構成画像(右)



(a) 補間幅:22, 矩形数:6



(b) 補間幅:118, 矩形数:3

図3：線形補間法(左)と提案手法(右)の再構成画像

表1：樹脂領域における RMSE と SSIM の結果

補間手法	ファントム(a)		ファントム(b)	
	RMSE	SSIM	RMSE	SSIM
通常	818.83	0.54526	682.20	0.58057
線形補間	190.60	0.84756	198.51	0.75597
提案手法	184.77	0.88252	200.13	0.75616

しかし、樹脂中央部においては、欠損が大きく十分に改善できているとはいえない。そのため、今後は、分断縮小時の補間の形状などを変更して、改善していく予定である。

参考文献

- [1] Kalender, W.A., Hebel, R. and Ebersberger, J.: Reduction of CT artifacts caused by metallic implants, *Radiology*, Vol.164, No.2, pp.576-577 (1987).
- [2] 加納 徹, 小関 道彦: 二次元的なメタルアーチファクト低減手法と三次元データへの拡張, 計測自動制御学会論文集, Vol.50, No.9, pp.633-639 (2014).
- [3] Mahnen, A.H., Raupach, R., Wildberger, J.E., et al.: A new algorithm for metal artifact reduction in computed tomography: In vitro and in vivo evaluation after total hip replacement, *Investigative Radiology*, Vol.38, No.12, pp.769-775 (2003).