

生体軟組織用 X 線 CT 装置の開発 (硬組織領域から発生するアーチファクトの影響)

Development of the Improved X-ray CT Device for Soft Tissues (Influences of CT artifacts caused by hard tissues)

正 小関 道彦 (東工大) 佐藤 慎平 (東工大)
正 木村 仁 (東工大) 正 伊能 教夫 (東工大)

Michihiko KOSEKI, Shinpei SATO, Hitoshi KIMURA and Norio INOU:

Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

Keywords : X-ray CT, Image reconstruction, CT artifact, Soft tissue, Filtered back projection.

1 はじめに

近年、生体組織の画像情報を取得するため、X 線 CT や MRI が臨床で広く活用されるようになってきている。特に、X 線 CT 装置は低価格化が進み、最近では個人開業医院にも設置されるケースが増えてきた。しかし、X 線 CT は主に生体硬組織を撮影の対象としており、軟組織の鮮明な画像を得ることは非常に困難である。これは、生体を低強度の X 線で CT 撮影すると骨などの X 線吸収係数が高い物質からアーチファクトと呼ばれる放射状のノイズが画像に発生するためである。X 線 CT は MRI に比べ高解像で鮮明なスライス画像を得ることが技術的に容易であり、硬組織と同様に軟組織についても X 線 CT で明瞭なスライス画像を得ることができれば、その活用範囲は大きく広がるものと予想される。

そこで本研究では、鮮明な生体軟組織の X 線 CT 画像を出力することを目的とし、新しい画像再構成アルゴリズムを開発する。本稿では、ラットの乾燥下顎骨について CT 撮影を行い、骨領域に起因するアーチファクトが周囲の CT 値に与える影響を明らかにする。

2 アーチファクトの低減手法

前報 [1] において、インプラントなどの金属が生体内に存在する場合に CT 画像に発生するメタルアーチファクトを低減する手法を提案した。メタルアーチファクトは、金属と生体組織の X 線吸収係数が極端に異なるために生じるアーチファクトである。本研究で対象とする軟組織領域に発生するアーチファクトも、硬組織と軟組織の X 線吸収係数の差によって引き起こされる問題として捉えることが可能なため、提案手法の適用を試みた。

前報 [1] で提案したメタルアーチファクト低減手法は、投影データ改変手段および繰り返し計算に基づく誤差低減手段からなる。

投影データ改変手段: 投影データのメタル透過領域を改変することによってアーチファクトを大幅に低減することを目的としている。まず、投影データにおいてメタルを通過したと判断される部位を抽出し、メタル形状のスライス画像を得る。次に、メタル部位に適当な X 線吸収率を設定し、計算機内での仮想投影を行う。そして、元の投影データと仮想投影によって得られた投影データを合成したデータを用いて画像再構成を行う。

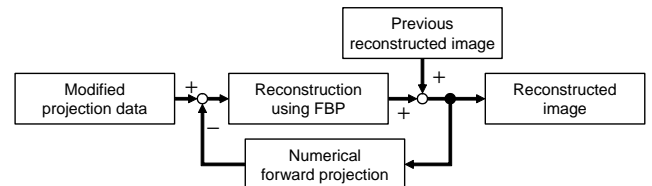


Fig. 1: Block diagram of accuracy improvement algorithm.

誤差低減手段: 本手段は逐次近似的アルゴリズムであり、繰り返し計算によって再構成画像の誤差を低減することを目的としている。本アルゴリズムのブロックダイアグラムを図 1 に示す。本アルゴリズムは、再構成の結果得られるスライス画像を計算機内で仮想投影して作成した仮想投影データと、CT 装置が出力する投影データの差分を再構成し、前回スライス画像に加算することによって効率的に誤差を低減することを特徴としている。

3 ラット下顎骨の CT 画像再構成

提案した手法をラットの乾燥下顎骨に対し適用した。下顎骨の左奥歯部には直径約 0.8mm の軟鉄線を埋設し、金属インプラントを模擬している。撮影には市販のマイクロ X 線 CT 装置 (コムスキャンテクノ (株): ScanXmate-C100) を用い、以下の 3 通りの方法により画像再構成を行った。

- CT 装置が出力する投影データをそのまま使用
- 投影データ改変手段を適用
- 投影データ改変手段および誤差低減手段を適用

図 2 は、CT 装置が出力する投影データをそのまま使用し、画像再構成手法として一般的な FBP 法によって再構成して得られた画像である。再構成画像は 512×512 の画素を有しており、分解能は約 $80 \mu\text{m}/\text{pixel}$ である。

空気領域の CT 値の正確さについて考察するため、それぞれの手法で再構成した画像について、図 2 中に白線で示す $y = 128$ の CT 値プロフィールを図 3 に示す。 $y = 128$ の領域には骨体は存在しておらず空気だけであるため、CT 値は -1000 で一定となっていることが望ましい。

図 3(a) は、CT 装置が出力する投影データをそのまま使用して再構成した場合のプロフィールである。 $x = 300 \sim 320$ 付近に現れている高い値は、軟鉄を原因とするメ

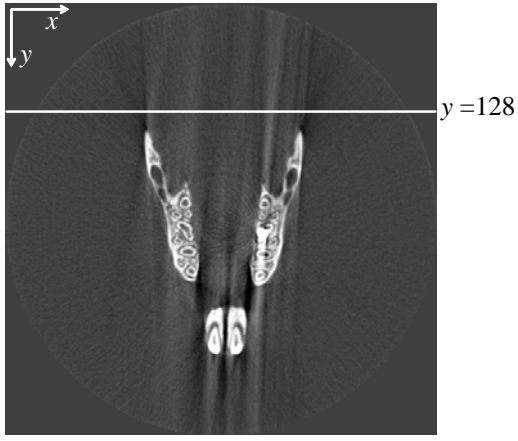
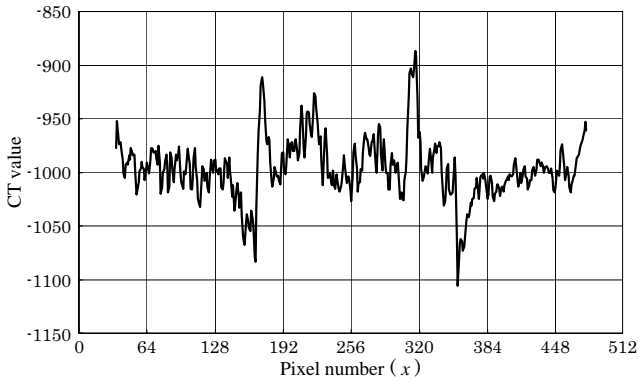
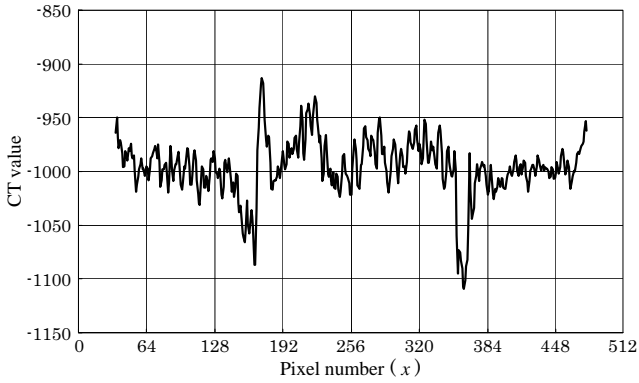


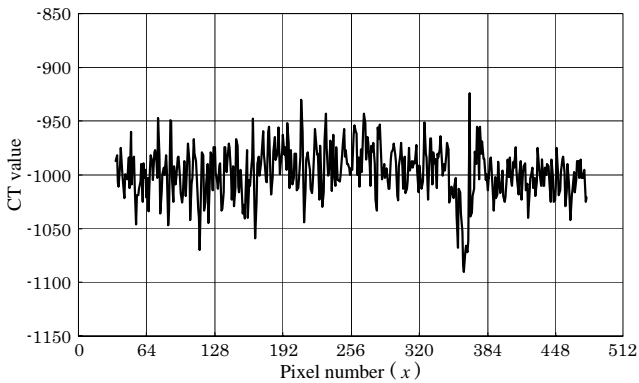
Fig. 2: CT image of a rat's dry mandible.



(a) Reconstruction using original projection data.



(b) Reconstruction using revised projection data.



(c) Reconstruction by an iterative algorithm.

Fig. 3: CT value profiles along a white line in Fig. 2.

Table 1: Analysis of variance of the CT value profiles.

	average	variance
(a)	-996.27	816.09
(b)	-995.89	747.24
(c)	-997.79	570.21

タルアーチファクトであり、その他の変動が骨領域を原因とするアーチファクトを示している。

図 3(b) は、投影データ改変手段を適用した場合のプロフィールである。図 3(a) に見られたメタルアーチファクトが大幅に低減されていることがわかる。しかし、その他の領域のプロフィールには図 3(a) と大きな違いが見られず、投影データ改変手段だけでは骨領域に起因するアーチファクトの低減は困難であることがわかった。

図 3(c) は、投影データ改変手段および誤差低減手段を適用した場合のプロフィールである。依然として CT 値 -1000 を中心とした変動が残っているが、変動の大きさは減少し、全体に渡って均一化している。

最後に、各プロフィールについて分散分析を行った結果を表 1 に示す。平均値については、3 種類の再構成結果で有意差は見られない。しかし分散値については、提案手法を用いることによって小さくなっていることがわかる。特に、誤差低減手段を適用することにより分散値は大幅に減少しており、骨領域に起因するアーチファクトの低減に対しても本手段が高い効果を持つことがわかった。

4 まとめ

今回は簡単のためラット乾燥下顎骨を用いて、空気領域の CT 値に対するアーチファクトの影響について検討を行った。筆者らが提案するメタルアーチファクト低減手法において、投影データ改変手段は金属のように大幅に高い CT 値を有する領域に対して有用であるが、骨体領域に起因するアーチファクトについては効果が低いことがわかった。そして、骨体領域に起因するアーチファクトを低減するためには、繰返し計算に基づく誤差低減手段を加えることが有効であることを確認した。

アーチファクトは、X 線吸収係数の差異が原因になるだけでなく、同一材質でも透過厚さにより X 線吸収量が非線形に変化する現象も大きな要因となっている。今後、それらの要因を総合的に考慮した再構成アルゴリズムに発展させたいと考えている。

謝辞

本研究は、文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) (課題番号 17700423) によって行われた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 橋本周平・小関道彦・木村仁・伊能教夫: X 線 CT 画像に基づく個別有限要素モデリング (金属アーチファクト低減を目的とした画像再構成アルゴリズムの提案); 第 17 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集 [04-48], (2005), 133-134