

ニューラルネットワークを用いた Dual-Energy X線 CT における実用規模での再構成

土方 柚樹

指導教員：戸田 尚宏

1 はじめに

X線CT (X-ray Computed Tomography) は、X線源を人体の一断面に沿って回転させ、その透過強度をX線検出器によって検出した後、計算機によって断面画像を再構成する医療画像診断装置である [1]。近年、X線の減弱係数はエネルギーごとに異なるため、Alvarezら [2] により提案された、医療診断分野におけるX線において人体などを構成する減弱係数が光電効果とコンプトン散乱の2つの要素で概ね記述できることを利用した方法である Dual-Energy 法が用いられるようになってきた。従来 Dual-Energy 法を行うためには、各ビームラインについて Newton-Raphson 法による求解を必要とし、多くの時間を要していた。西山 [3] はニューラルネットワークを用いて従来法の計算時間を解決する方法を提案したが実用規模での再構成はできていなかった。本研究では、これを解決する方法を提案する。

2 先行研究

Dual-Energy 法は断層像の各ピクセル (x, y) における減弱係数 $\mu(\varepsilon, x, y)$ (ε はエネルギー) を光電効果のエネルギー特性 $X_1(\varepsilon)$ とコンプトン散乱のエネルギー特性 $X_2(\varepsilon)$ により

$$\mu(\varepsilon, x, y) = \alpha(x, y)X_1(\varepsilon) + \beta(x, y)X_2(\varepsilon)$$

と表現し、2種類のエネルギー分布を持つX線投影データ $I_1(\tau)$, $I_2(\tau)$ から画像のそれぞれのピクセルにおける光電効果の係数 $\alpha(x, y)$ とコンプトン散乱の係数 $\beta(x, y)$ を推定する方法である。

西山 [3] は、Dual-Energy 法によるX線CT再構成をニューラルネットワークを用いて、推定値 $\hat{\alpha}(x, y)$, $\hat{\beta}(x, y)$ を得る方法を提案した。図1に西山 [3] が使用したネットワークの概形を示す。

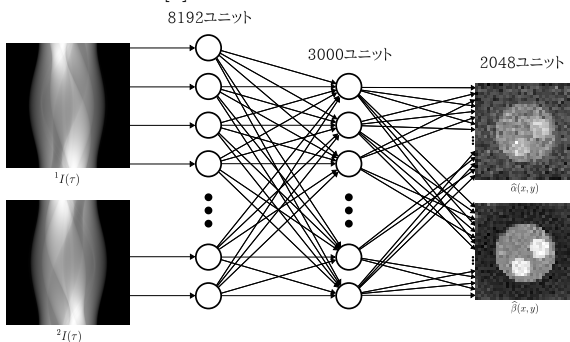


図1 西山 [3] が使用したネットワークのモデル

しかし、この方法では実用規模の再構成像を出力するネットワークは非常に大きなものとなり、構築するには現在の計算機環境は十分ではなく、最大で 32×32 サイズの小規模の断層像でしか検証できなかった。

3 提案法

本研究で提案する方法は、入力を1対のビームラインの測定値、出力を $\alpha(x, y)$ と $\beta(x, y)$ の投影データ $s_\alpha(\tau)$, $s_\beta(\tau)$ とするネットワークを構築し、ネットワークの出力に対し、従来の再構成アルゴリズムを適用することで再構成を行う方法である。この方法ではネットワークの大きさが再構成画像のピクセル数に左右されることがなく、現在の計算機環境で実用規模への応用を見込むことができると考える。本研究で使用したネットワークの概形を図2に示す。

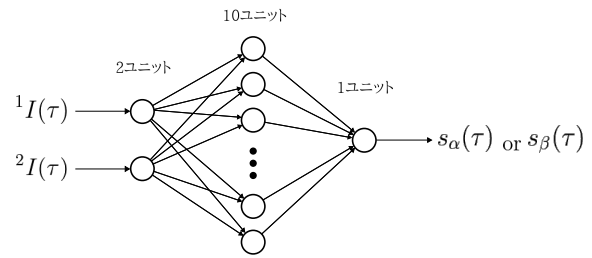


図2 本研究で使用したネットワークのモデル

4 数値実験

Newton-Raphson 法を用いた従来法と提案法の比較を以下に示す。図3, 6は真の画像, 図4, 7は従来法, 図5, 8は提案法による推定画像 (128×128) である。また表1は両方法における相関係数と、係数推定及び再構成における所要時間を示している。

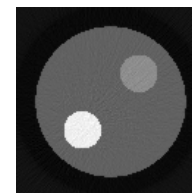
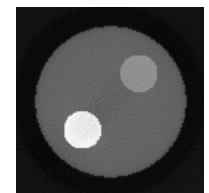
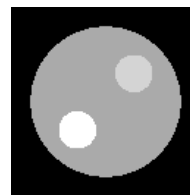
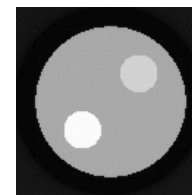
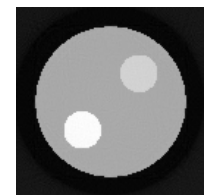
図3 真の α 図4 従来法の $\hat{\alpha}$ 図5 提案法の $\hat{\alpha}$ 図6 真の β 図7 従来法の $\hat{\beta}$ 図8 提案法の $\hat{\beta}$

表1 ネットワーク推定の相関係数と再構成時間

	$\alpha(x, y)$	$\beta(x, y)$	再構成時間
ネットワーク	0.900	0.818	7 [s]
従来法	0.896	0.818	112 [s]

5 まとめ

数値実験の結果、小さなネットワークを用いることで、従来法に比べ短い時間で同程度の精度の Dual-Energy X線CTの実用規模での画像再構成が可能であることが確認できた。また今後の課題として、X線のエネルギー分布を変更した際にニューラルネットワークの学習から行う必要がある、といったネットワークの対応力の低さが挙げられる。

参考文献

- [1] Hsieh, Jiang : "Computed Tomography: Principles, Design, Artifacts and Recent Advances", SPIE Press, Bellingham (2003).
- [2] Alvarez, R.E. and Macovski, A. : "Energy-selective reconstructions in x-ray computerised tomography", Physics in Medicine and Biology, 21, pp.733-744 (1976).
- [3] 西山拓見, 戸田尚宏 : "Dual-Energy X線CTにおけるニューラルネットワークを用いた再構成", 令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, E4-5 (2021).