

X線撮影における動的ビームストップ法の精度向上

浜島 蓮 指導教員：戸田 尚宏

1 はじめに

X線撮影は、被写体にX線を照射し、透過したX線の量によって被写体内部の構造を画像化する画像検査法の一つである。被写体にX線が入射する際に、X線と被写体が相互作用することで、直接線の一部が散乱線として発生する。X線像においては散乱線は得られるX線画像のコントラストの低下を招いてしまうため、患者と検出器の間にグリッドを装着することが一般的である。一方、近年では高齢化や感染症による在宅医療や安静が必要な患者のためにポータブルX線装置が利用されることが多くなっている。こうした装置では、適切な位置にグリッドを設置することが困難であり、用いられないことが多く、診断上問題になることが多い。そうした中、FPD(Flat Panel Detector)と呼ばれる検出器の利用を前提とし、X線管と被写体の間に配置された鉛等のブロック(以下ビームストップ)を移動させ、複数回のX線照射によって、直接線と散乱線の両方を含んだ画像と散乱線のみを含んだ画像を取得し、差分によって散乱線を除去する方法が提案されている[1]。

先行研究[2]では、FPDの時間的に連続なデータを収集する能力を利用してビームストップの動作中の動画像を取得することで、X線管とFPDがどのような位置関係で設置されたかがわからない場合でも、FPDの設置位置を推定し、散乱線を除去することの可能性が示された。

しかし、先行研究では一部のパラメータの推定精度が悪いという問題があった。そこで、本研究ではFPDを鉛直軸(ϕ)回りに 45° 回転させることによって、FPDがどの方向に傾いても画像に一定の変化をもたらすようにすることで、FPDの設置位置推定の精度を向上させることを目的とし、数値的にその性能を評価する。

2 ビームストップ法

ビームストップはグリッドとは設置箇所が異なり、図1に示したように鉛等の格子状の遮蔽物を、X線管と被写体の間に設置する。遮蔽物を設置することによって、光子が検出器に到達する領域①と到達しない領域②が作られる。遮蔽されている領域には散乱線のみが到達し、遮蔽されていない領域には、直接線と散乱線の両方が到達している。ビームストップをずらし、再度照射することによって、全ての領域について、散乱線のみが到達する部分、直接線と散乱線が到達する部分を求めることが可能である。従って、直接線と散乱線が到達する領域から散乱線のみが到達する領域のX線量を差し引くことによって、直接線のみの画像を求めることができる。

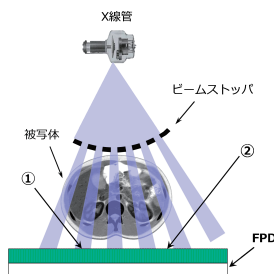


図1 ビームストップによる撮影

3 動的ビームストップ法 [2]

3.1 FPDの設置位置のパラメータ化

FPDの位置推定を導入するにあたり、設置位置のパラメータ化を行う。図2に示したようにFPDの設置位置は、ワールド座標系 X, Y, Z におけるFPDの4つの端点の内の1点 (x, y, z) とそのFPDが持つローカル座標系 a, b, c における各座標軸周りの回転角 (θ, ψ, ϕ) によって確定する。これら6つを合わせて設置位置パラメータベクトル \mathbf{p} とする。ここで、FPDは回転角 θ, ψ, ϕ の順番で座標軸回転するものとする。

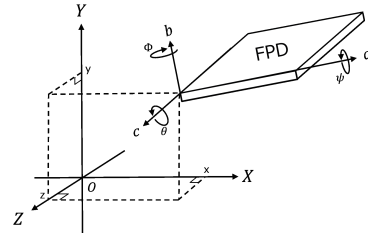


図2 設置位置パラメータ \mathbf{p}

3.2 撮影データとモデルのマッチングによる設置位置の推定

FPDは動画像も取得可能であるため、それを利用する。ビームストップが移動し、直接線と散乱線がFPDに到達する領域①と散乱線のみがFPDに到達する領域②も時間 t とともに移動する。この時撮影される動画像は3次元データ $N(x, y, t)$ として記録される。

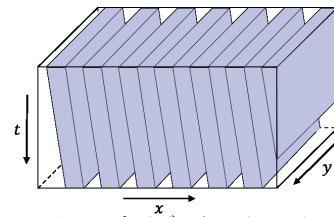


図3 3次元データ $N(x, y, t)$

撮影において、時刻 t におけるビームストップの位置及び、X線管焦点の位置は既知であるため、設置位置 \mathbf{p} が与えられれば、モデルによって3次元動画像における高線量領域と低線量領域を理論的に求めることが可能である。これを $M(\mathbf{p}; x, y, t)$ として撮影データ $N(x, y, t)$ と相関係数によって比較し、最も評価が高くなる \mathbf{p} を探索することでFPDの設置位置を推定することが出来る。

動的ビームストップ法によって推定されたパラメータを以下表1に示す。最大値の探索に用いる各軸の探索範囲の分割数を N とする。

表1 各係数の推定値

係数	N=4	N=5	N=6	真値
x	-11.94474	-12.07948	-12.10069	-12.0
y	100.37525	100.99394	101.26472	100.0
z	12.06044	11.89305	11.88908	12.0
θ	2.48066	-2.45173	-2.97100	1.0
ϕ	0.30366	-0.13289	-0.21220	0.0
ψ	0.38385	-2.51504	-1.85073	1.0

以上の結果から、動的ビームストップ法で未知の設置位置パラメータを概ね推定できることが分かる。

しかし、特に θ , ψ において推定された値は絶対値で3倍程度もずれており、この方法で推定される画像はアーティファクトが発生し、正確な画像を推定することは難しい。

4 従来法 [2] の問題と原因

動的ビームストップ法は、図1のように設置された FPD に対し、計算機内における仮想的な X 線撮影に際して計算機内のシミュレーションにより水平移動、回転させることで高線量領域と低線量領域に変化が起こることを利用し、実測データとの相関係数が高い FPD の位置を用いて推定を行うというものが従来の推定方法であるが、この方法において、設置位置パラメータにおける ψ が 0 度の時と 10 度傾いた時の状態は図4, 5 のようになる。なおここでは、青色のブロックをビームストップ、下の白色の板が FPD とし、上部からの光を X 線に見立てている。

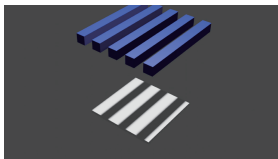


図4 $\psi = 0$

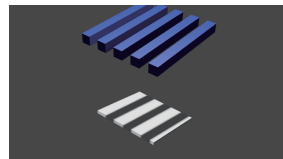


図5 $\psi = 10$

これらの画像を比較すると、FPD が ψ 方向に傾いても低線量領域が変化しておらず、傾きによって実測データとの相関係数の変化が少なく、正確に推定が行えないことが考えられる。したがって、この推定法においては、画像の高線量領域と低線量領域に変化がつかないように FPD を動かすことが重要である。

5 提案法

FPD が ψ 方向に傾いても低線量領域が変化するように本研究では、FPD をあらかじめ ϕ 方向に 45 度回転させておく方法を提案する。 ϕ 方向に 45 度回転させることで、FPD が ψ 方向に傾いたとしてもビームストップと平行に傾かないため、高線量領域と低線量領域がある程度変化するようになることを考える。FPD を ϕ 方向に 45 度傾け、 x と z の座標を調整し FPD が中心に来るようにする。 ϕ が 0 度の時と 45 度の状態はそれぞれ図6, 7 のようになる。低線量領域を比較しやすいように図形を表示した (図中矢印)。

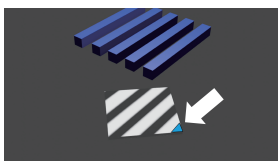


図6 $\phi = 45, \psi = 0$

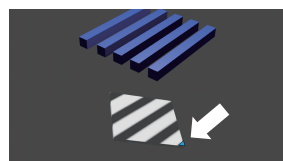


図7 $\phi = 45, \psi = 10$

実際に、FPD が傾いていない画像と ψ 方向に 10 度傾いた画像とで相関係数を比較したものを表2に示す。 ϕ を 45 度にしたことで高線量領域と低線量領域の変化が大きくなり、FPD の位置推定を行うためにより良い効果が得られると考える。

表2 傾ける前の画像との相関係数

	相関係数
$\phi = 0$	0.85722
$\phi = 45$	0.78352

6 数値実験

本研究で推定された設置位置パラメータを以下表3に示す。

表3 提案法による各係数の推定値

係数	N=4	N=5	N=6	真値
x	-0.00468	-0.05527	-0.02918	0.0
y	100.47833	99.65754	100.39026	100.0
z	16.98705	16.93686	16.99484	17.0
θ	1.05434	3.38575	1.48369	1.0
ϕ	45.00788	44.67918	44.88349	45.0
ψ	1.07307	0.34994	1.39003	1.0

次に、従来法と提案法それぞれの設置位置パラメータによって推定された画像を以下に示す。尚、照射光子数は 1.0×10^8 、画像は黒化度を用いて表示する。

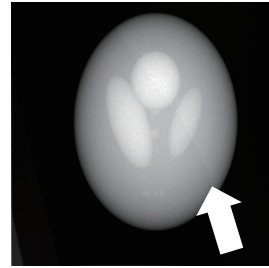


図8 従来法

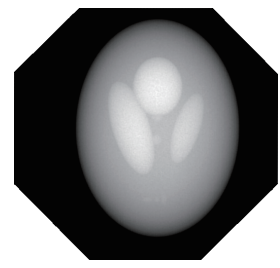


図9 提案法

従来法には斜めに筋状のアーティファクト (図中矢印) が生じていることが分かる。また、数値的な比較を行うために、真の画像との相関係数と各ピクセルの平均二乗誤差を求める。以下の表4に結果を示す。

表4 相関係数と平均二乗誤差の比較

	相関係数	平均二乗誤差 (/pixel)
従来法	0.99554	0.29927
提案法	0.99979	0.05807

表4を見ると、従来法より提案法の方が真の画像との相関係数が高く、平均二乗誤差も小さくなっており、推定精度が向上していることが分かる。

7 まとめ

先行研究 [2] では、FPD の位置関係が正確にわからない状態でのシミュレーションを可能にするために、FPD の設置位置をパラメータ化し FPD が傾いた体系でのシミュレーションを行うことで、FPD がどのように設置されていてもビームストップにより散乱線を除去する方法を構築した。

本研究では、先行研究の課題となっていた FPD の傾きに関する係数の推定精度が低いという課題を改善する一つの方法として、FPD をビームストップに対して 45 度回転させることで、FPD の位置推定の精度向上の効果を検証した。画像のアーティファクトや相関係数など、視覚的だけでなく数値的にも精度が向上していることが確認できた。

参考文献

- [1] 川上莉奈, 戸田尚宏, "ビームストップによる X 線画像の散乱線低減効果について", 生体医工学シンポジウム, 2A-18, 2018.
- [2] 赤塚 寛斗, 戸田 尚宏, "動的ビームストップによる X 線撮影における散乱線除去", 信学情報 MBE2020-40, PP.11-14, 2021.