

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 24 日現在

機関番号：72602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25461907

研究課題名(和文)画像誘導放射線治療における計算フィルター及び物理フィルターによる画質改善

研究課題名(英文)Improvement of image quality using estimated filters and physical filters in image-guided radiation therapy

研究代表者

作美 明(Sakumi, Akira)

公益財団法人がん研究会・有明病院 放射線治療部・その他

研究者番号：30360556

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：治療加速器に取り付けられたコーンビームCTの画質は位置照合としては使用できるが、線量再計算、腫瘍の変化などを導出するためには画質改善が必要となる。そこで本研究では、まず物理的コリメータを用いて散乱X線測定の実験を行い、かついろいろな体型を模擬したモンテカルロ計算を行い、前出の測定結果を考慮した代表的な散乱成分のデータベースを取得した。また検出器においての過大X線検出における検出飽和にも着目し、その補正カーネルを求めた。これらのデータと逐次近似再構成を行うことによって画質改善が得られ、線量再構成や逐次放射線治療に応用できる可能性ができた。

研究成果の概要(英文)：Although the image quality of the cone beam CT (CBCT) with a radiation therapy accelerator can be used as position matching, it is necessary to improve the image quality for a dose reconstruction in CBCT, also tumor shift. In this study, at first, we obtained scattering phenomena from experiments using a physical collimator and obtained a database of representative scattering components from the Monte Carlo simulation. We also focused attention on detection saturation of excessive X-rays into the detector, and obtained correction functions. These data were used together with the iterative reconstruction method. Then the image quality was improved and seems to use for dose reconstructions and adaptive therapy.

研究分野：医学物理

キーワード：コーンビームCT画質改善 画像誘導放射線治療 実線量分布 治療中の腫瘍移動、変化 逐次放射線治療

1. 研究開始当初の背景

現在の高精度放射線治療を支える技術の柱として、以下の3つを挙げることができる：

- 1) 投与線量分布の高精度化
- 2) 治療前に実施する線量検証
- 3) 治療患者(の臓器)位置の再現性

理想的な線量分布を実現するため、逆計算により放射線の空間的な線量強度分布を求めて放射線量を変調する手法(強度変調放射線治療、Intensity Modulated Radiation Therapy; IMRT)が確立してからも投与線量分布の改善の努力は続けられ、最近では放射線射出部分(ガントリ)を連続的に回転させながら強度変調放射線治療をおこなうVMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy)が開発されている。IMRTやVMATに代表される投与線量分布の高精度化は、正常組織の線量を減らしながらがん病巣への大線量の投与を可能にする一方、その事実は照射量や位置の精度が悪いと致命的な結果を引き起こしかねないことを意味する。そのため、シミュレーション上の線量分布が現実に再現されているかどうかを確認することは、重要な臨床作業の1つとなっている。また、最近の放射線治療装置リニアックには、治療用 MV 放射線の直交軸方向に診断用 kV エックス線装置が搭載されており、治療毎に診断用 kV エックス線による CBCT を撮影し、治療計画時の患者の臓器位置を再現してから治療を行なう手法が取られている。

通常ファンビームと違いコーンビームでは患者体内から散乱してきたX線も同時に検出してしまい、この散乱がノイズとなり画質のコントラストの劣化、シェーディング・アーチファクト等の形成、CT 値の空間均質性等が劣化してしまう。特に全骨盤領域を取るために関心領域(FOV)を広げると更にノイズ成分が増えてしまい、ファンビームである通常のCT像に比べると画質劣化は著しい。

2. 研究の目的

本研究では、CBCTの画質劣化に強く影響するファクターを実験的に理論的に導出する。考えられる要素として、検出範囲が通常ファンビームより幅広いため、取得体からの散乱、検出器そのものの検出ロスがあげられる。

そこで物理コリメータと水ファントムを用いて散乱線や検出器の挙動を実験的に求め、かつそれを再現するモンテカルロシミュレーションを構築する。そしてそのモンテカルロシミュレーションを代表的なCT画像に反映し散乱カーネル、及び検出劣化カーネルを求め、CT再構成に組み込むことにより、散乱コーンビームCT像でも通常ファンビームCT画像同程度の画像を取得することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、まず物理コリメータを用いて

水ファントム、及び空気における診断X線の照射野外の散乱線測定の実験を行い、照射野外における散乱線の振る舞いや検出器の動作を確認する。次に、様々な体型を想定し、BMIを元にした体型別のCT画像と実験で用いた水ファントムを用いたモンテカルロ計算を行う。水ファントムでの結果を前回の測定結果と比較し、モンテカルロシミュレーションに反映させる。これにより体型別の散乱成分のデータベース(BMIを基準に5パターン用意)を取得する。

かつ検出器における検出飽和などの検出ロスにも着目し、その補正カーネルを求める。

これらの散乱補正カーネルを逐次近似アルゴリズムに組み込むことにより、散乱成分や検出ロスの影響が除かれたCBCT画像を取得する。

4. 研究成果

コーンビームCT装置にはX線管球の直後にコーンビームの撮影範囲を決定するためのコリメータが設置されている。このコリメータは頭尾方向の撮影範囲が患者断面で10cm、15cm、20cmと変えていくことができる。

撮影範囲が大きいほど、頭尾方向が長い画像を取得することができるが、長い像ほど散乱成分の影響を強く受け画質が劣化する。そこで、このコリメータの幅を任意で変えることによってコリメータ幅と散乱線の影響、特に診断X線の照射野外での振る舞いを検出した。コリメータの位置に可変できる鉛ブロックを設置しFOVを変化させることによって照射野外の散乱の変化を測定し、全体の散乱を実験的に見積もった。鉛厚は8mmとし、減衰率を1/1000以下とした。散乱線の挙動は測定できたが、コリメータを絞った状態でも、電流値・測定時間をあげた場合、遮蔽部分の検出器からの出力イメージのベースラインが大幅に増加することがわかった。これは使用されているフラットパネルディテクタがCsIを用いた間接式検出器であり、検出飽和やハレーションがシンチレータ内で強く起きていることが考えられる。またフラットパネルから出力される画像は強度調整が自動で行われていることも判明した。

実験に並行してファントム内、ないし患者内でのX線の振る舞い、散乱や二次X線生成をモンテカルロシミュレーション手法にて計算した。まず単一エネルギーにおける体内での散乱を求め、エネルギー幅を順次変えていき最後に積層させた結果を実験値と比較した。水ファントムにおける散乱はX線管の電流値が低い場合再現されたが、骨盤などの厚い部位を取得するための電流・照射時間が大きい結果は再現されなかった。そこで2次元Shepp logan phantomという、CT再構成でよく使用されるデジタルファントムを用い、過小な信号はノイズのため大きく検出され、かつ飽和するほどの大信号は途中から歪み

はじめ最後はフラットになることを仮定し、コリメータ開放時に電流・照射時間毎に取得したデータを用いてシグモイド関数で近似したフィルターを作成した。ファントムに投影した像にこのシグモイドフィルターを加味し通常の CT 再構成で用いられている Filtered Back Projection(FBP)法を用いて再構成した。得られた画像は CBCT 画像でよく見受けられるシェーディング・アーチファクトが観察され、飽和による影響を確認した。

得られた散乱カーネル、逆シグモイドカーネルを投影画像に組み込み、散乱や検出口スの影響を減らすための CT 再構成法であるが、2015 年ぐらいから逐次近似再構成法が市販の CT 装置に実装された。この手法は 1980 年代にその基礎が構築されたが演算時間がよく使われる FBP 法に比べ圧倒的に長く暫く実用されなかった。しかし市販のグラフィックボード (GPU ボード) でも演算させることが可能となったため、逐次近似再構成法に実装させた。

CBCT 画像から逐次的に散乱成分、検出口ス成分を改善する方法は、以下の通りである。

(1) 得られた透視画像からまず初期の CBCT を FBP アルゴリズムにて求め、基礎の画像を得る。

(2) 基礎の画像に近い像を既に計算した散乱ファクターデータテーブルより近似的に取得し、散乱カーネル成分を得る。

(3) 再サイノグラムから散乱成分を引き、再構成し、再々サイノグラム取得、差異データを取得、差分が小さくなるまで繰り返す。

散乱カーネル、検出口ス除去カーネル、及び逐次近似再構成法により、CBCT 画像の画質改善が得られ、線量再構成や逐次放射線治療に応用できうる可能性ができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11 件)

Sakuramachi M., Igaki H., Ikemura M., Yamashita H., Okuma K., Sekiya N., Hayakawa Y., Sakumi A., Takahashi W., Hasegawa H., Fukayama M., Nakagawa K., "Comparison of gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging with pathological findings in brain metastases after gamma knife radiosurgery; case series with autopsy cases", *Oncology Letter, to be published.*

Sakumi A., Miyagawa R, Tamari Y, Nawa K, Sakura O, Nakagawa K.

"External effective radiation dose to workers in the restricted area of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant during the third year after the Great East Japan Earthquake.

J Radiat Res. 2016 Mar;57(2):178-81. doi: 10.1093/jrr/rrv073."

Tamari Y, Kuroda Y, Miyagawa R, Nawa K, Sakumi A., Sakata N, Mizushima N, Sakura O, Iwamitsu Y, Takemura K, Nakagawa K.

"A report that Fukushima residents are concerned about radiation from Land, Food and Radon.

J Radiat Res. 2016 Jul;57(4):418-21. doi: 10.1093/jrr/rrw017."

Yamashita H., Takenaka R, Sakumi A., Haga A., Otomo K, Nakagawa K.

"Analysis of motion of the rectum during preoperative intensity modulated radiation therapy for rectal cancer using cone-beam computed tomography.

Radiat Oncol. 2015 Jan 8;10:2. doi: 10.1186/s13014-014-0311-6."

Igaki H., Sakumi A., Mukasa A, Saito K, Kunimatsu A, Masutani Y, Hanakita S, Ino K, Haga A., Nakagawa K., Ohtomo K.

"Corticospinal tract-sparing intensity-modulated radiotherapy treatment planning.

Rep Pract Oncol Radiother. 2014 Jul 15;19(5):310-6. doi: 10.1016/j.rpor.2014.01.002."

Shiraishi K., Futaguchi M, Haga A., Sakumi A., Sasaki K, Yamamoto K, Igaki H., Ohtomo K, Yoda K, Nakagawa K.

"Validation of planning target volume margins by analyzing intrafractional localization errors for 14 prostate cancer patients based on three-dimensional cross-correlation between the prostate images of planning CT and intrafraction cone-beam CT during volumetric modulated arc therapy.

Biomed Res Int. 2014;2014:960928. doi: 10.1155/2014/960928."

Nakagawa K., Haga A., Sasaki K, Kida S, Masutani Y, Yamashita H., Takahashi W, Igaki H., Sakumi A., Ohtomo K, Yoda K.

"Lung tumor motion reproducibility for five patients who received four-fraction VMAT stereotactic ablative body radiotherapy under constrained breathing conditions: a preliminary study.

J Radiat Res. 2014 Nov;55(6):1199-201. doi: 10.1093/jrr/rru055."

Yamashita H., Yamashita M, Futaguchi M, Takenaka R, Shibata S, Yamamoto K, Nomoto A, Sakumi A., Kida S, Kaneko Y, Takenaka S, Shiraki T, Nakagawa K.

"Individually wide range of renal motion evaluated by four-dimensional computed tomography.
Springerplus. 2014 Mar 7;3:131. doi: 10.1186/2193-1801-3-131."

Haga A, Magome T, Takenaka S, Imae T, Sakumi A, Nomoto A, Igaki H, Shiraishi K, Yamashita H, Ohtomo K, Nakagawa K.

"Independent absorbed-dose calculation using the Monte Carlo algorithm in volumetric modulated arc therapy.
Radiat Oncol. 2014 Mar 14;9:75. doi: 10.1186/1748-717X-9-75."

Takahashi W, Yamashita H, Omori M, Kitaguchi M, Shibata-Kobayashi S, Sakumi A, Nakagawa K.

"The feasibility and efficacy of stereotactic body radiotherapy for centrally-located lung tumors.
Anticancer Res. 2013 Nov;33(11):4959-64."

Nakagawa K, Haga A, Sakumi A, Yamashita H, Igaki H, Shiraki T, Ohtomo K, Iwai Y, Yoda K.

"Impact of flattening-filter-free techniques on delivery time for lung stereotactic volumetric modulated arc therapy and image quality of concurrent kilovoltage cone-beam computed tomography: a preliminary phantom study.
J Radiat Res. 2014 Jan 1;55(1):200-2. doi: 10.1093/jrr/rrt105."

〔学会発表〕(計 5 件)

Sakumi A, Haga A, Yamashita H, Takahashi, W, Yoda K, Nakagawa K.

"Impact of baseline shifts on 4D cone-beam CT images using a 4D phantom driven by lung tumor motions", ESTRO35, 2016/4/29-5/3, Turin, Italy.

Sakumi A, Miyagawa R, Tamari Y, Sakura O, Nakagawa K.

"Exposure Dose of Workers in The Restricted Area; Litate Village in 2013" 15th International Congress of Radiation Research, 2015/5/25-29, Kyoto, Japan.

Sakumi A, Haga A, Yamamoto K, Takahashi W, Yoda K, Nakagawa K.

"Impact of a Low Transmission Multileaf Collimator on the Parotid Grand Dose in Head and Neck Volumetric Modulated Arc Therapy Planning: A Dose-Volume Histogram Comparison Between 2-Step Adaptive and Simultaneously Integrated Boost Techniques", ASTRO56th Annual Meeting, 2014/9/14-17, San Francisco convention

center, USA.

Sakumi A, Kuroda R, Tamari Y, Sakura O, Nakagawa K.

"Research on exposure dose of people working in Litate Village"
第 107 回日本医学物理学会学術大会、2014/4/10, パシフィコ横浜.

Sakumi A, Haga A, Shiraishi K, Yamashita H, Yoda K, Nakagawa K.

"Evaluation of an intrafraction 4D cone-beam CT (CBCT) imaging system using a 4D lung tumor phantom driven by measured tumor motions for a lung cancer patient" International Conference on Medical Physics(ICMP) 2013, 2013/9/1-4, Brighton Centre UK.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

作美 明 (SAKUMI AKIRA)
公益財団法人がん研究会有明病院・放射線治療部・研究助手
研究者番号: 0360556

(2) 研究分担者

芳賀 昭弘 (HAGA AKIHIRO)
東京大学・医学部附属病院・助教
研究者番号: 30448021

白石 憲史郎 (SHIRAISHI KENSHIROU)
帝京大学・医学部・准教授
研究者番号: 40447404

山下 英臣 (YAMASHITA HIDEOMI)
東京大学・医学部附属病院・講師
研究者番号: 70447407

中川 恵一 (NAKAGAWA KEIICHI)
東京大学・医学部附属病院・准教授
研究者番号: 80188896

井垣 浩 (IGAKI HIROSHI)
国立研究開発法人国立がん研究センター・中央病院・医長
研究者番号: 90361344

(3)連携研究者
無し

(4)研究協力者
無し