

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 1 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560449

研究課題名（和文）高品質 CT 画像のための連続動的再構成法の開発

研究課題名（英文）Development of Continuous-Time Dynamical Reconstruction Method for High-Quality CT Image

研究代表者

吉永 哲哉（YOSHINAGA TETSUYA）

徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・教授

研究者番号：40220694

研究成果の概要（和文）：医用 CT 装置の画像再構成法として連続動的再構成法を考案し、理論解析、数値解析、アナログ電子回路の試作、および診断用 X 線 CT 装置を用いた数値実験を行った。提案法を従来法（フィルタ補正逆投影法、期待値最大化法などの逐次法）と比較した結果、提案法はアーチファクトや雑音による再構成画像への影響が逆投影法と比較して軽減され、品質が高いことが検証された。さらに、少数方向の投影に対しても有効性が確認され、被曝線量の劇的な低減が可能であることを示しており、提案法の実機 CT 装置への実用化が期待される。

研究成果の概要（英文）：A continuous-time dynamic image reconstruction (CIR) system for medical computed tomography (CT) was proposed, and it was investigated through theoretical analysis, numerical analysis, creation of a prototype consisting of analog electronic circuits, and numerical experiments using a real X-ray CT scanner. Our CIR system could reconstruct images with almost the same quality as those of iterative methods without production of whitish broken-line artifacts and undesired negative pixel values. The results indicate that the use of hardware customized for the CIR system can reduce X-ray doses for a human body in clinical CT scanning.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：信号処理, CT, 画像再構成, 連続法, 非線形力学系, ハイブリッドシステム

1. 研究開始当初の背景

医用 CT（コンピュータ断層）装置の画像再構成法としてフィルタ補正逆投影法と逐次法が知られている。逐次法は逆投影法よりも高品質の再構成画像を与えるが、臨床において一般的に用いられているの

は、処理のハードウェア化が可能な逆投影法である。

2. 研究の目的

本研究代表者は、逐次法と同等の品質が得られ、処理のハードウェア化が可能な、

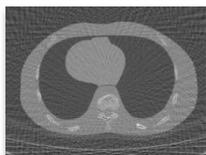
新しいアイデアに基づく方法を考案した。提案法の理論・数値解析、および実用化に向けた諸問題の解決を行うことが本研究の目的である。本研究の達成により、医用CT画像において、再構成画像の高品質化と演算速度の高速化という、従来までの代表的な2つの画像再構成法のそれぞれの長所を合わせもつ第3の方法が開発できることになる。医療におけるCT装置の重要性と普及率の高さを考慮すると、本研究成果が医療分野に与える効果は大きい。

3. 研究の方法

理論解析については、非線形動的力学系理論を用い、真の再構成画像に対応した平衡点の安定性を証明する。数値解析については、投影データに加法的な雑音を注入し、理論解析が困難な状況での平衡点への収束性の性質を検討する。提案法を実現するアナログ電子回路を試作する。実際のX線CT装置を用いて投影データを収集し、提案法と従来法による再構成画像の品質を比較検討する。以上の解析・実験結果から、提案法のアーチファクト削減効果や分解能などの性能を評価する。

4. 研究成果

提案法の処理系は、不連続ベクトル場をもつ微分方程式系で記述される。部分系の解に対する共通リアプノフ関数を見いだすことに成功し、リアプノフ定理を用いて、平衡点が大域的に漸近安定であることを理論的に証明することができた。処理系をアナログ電子回路実装し、理論通りの出力結果がミリ秒オーダーの演算時間で得られることがわかった。数値実験および実機実験により、提案法はアーチファクトや雑音による影響が逆投影法と比較して軽減され、画像の品質が高いことが検証された(下図)。さらに、少数方向の投影に対しても提案法の有効性が確認された。低管電圧や低線量にもかかわらず従来法と比較して、高品質な再構成画像が高速に得られることは、被曝線量の劇的な低減が可能であることを示しており、今後は実機への実用化により、国民の健康生活の維持に大きく貢献できると期待される。



従来法



提案法

実際のX線CT装置を用いた再構成画像

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15件)

1. Omar M. Abou Al-Ola, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Common Lyapunov function on Kullback-Leibler divergence for a switched nonlinear system, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol.2011, No.Article ID 723509, 2011. (査読あり) doi:10.1155/2011/723509

2. Ken'ichi Fujimoto, Omar M. Abou Al-Ola and Tetsuya Yoshinaga, Implementation of continuous-time image reconstruction system in analog electronic circuit, *Far East Journal of Electronics and Communications*, Vol.6, No.1, pp.13--25, 2011. (査読あり)

<http://www.pphmj.com/abstract/5870.htm>

3. Omar M. Abou Al-Ola, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Block continuous-time image reconstruction for computed tomography, *Far East Journal of Dynamical Systems*, Vol.14, No.1, pp.51--70, 2010. (査読あり)

<http://www.pphmj.com/abstract/5504.htm>

4. Chika Ueda, Omar M. Abou Al-Ola, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Iterative Method Based on a Discretization of Continuous-Time Image Reconstruction for Computed Tomography, *Journal of Signal Processing*, Vol.14, No.4, pp.293--296, 2010. (査読あり)

<http://www.risp.jp/Product.html>

5. Ken'ichi Fujimoto, Omar M. Abou Al-Ola and Tetsuya Yoshinaga, Continuous-Time Image Reconstruction Using Differential Equations for Computed Tomography, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations*, Vol.15, No.6, pp.1648--1654, 2010. (査読あり)

DOI:10.1016/j.cnsns.2009.06.025

[学会発表] (計43件)

[国際学会]

1. Kiyoko Tateishi, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Convergence of Iterative Method as Discretization of Continuous-Time Image Reconstruction System for Computed Tomography, *Proc. of the 2012 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing*, pp.489--492, 2012. 3.4, マリオットホテル(アメリカ合衆国ホノルル)

2. Yuusaku Yamaguchi, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Theoretical and

Experimental Study of Continuous-Time Image Reconstruction System for Computed Tomography, Proc. of the 2012 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp.485--488, 2012.3.4, マリオットホテル (アメリカ合衆国ホノルル)

3. Yuusaku Yamaguchi, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Extended Continuous-Time Image Reconstruction for Computed Tomography, EPOS in European Congress of Radiology 2012, 2012.3.1, オーストリア国際会議場 (オーストリア共和国ウィーン)

4. Yuusaku Yamaguchi, Omar M. Abou Al-Ola, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Numerical Study of Continuous-Time Image Reconstruction for Computed Tomography, EPOS in European Congress of Radiology 2011, 2011.3.4, オーストリア国際会議場 (オーストリア共和国ウィーン)

5. Omar M. Abou Al-Ola, Ken'ichi Fujimoto, Tetsuya Yoshinaga and Kazuyuki Aihara, Common Lyapunov function for a switched nonlinear dynamical system, Proc. of the 1st International Symposium on Innovative Mathematical Modelling, p.94, 2011.2.28, 東京大学 (東京都目黒区)

6. Omar M. Abou Al-Ola, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Stability of a Switched System for Continuous-time Tomographic Image Reconstruction, Proc. of 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.115--118, 2010.9.5, 国際文化センター (ポーランド共和国クラクフ)

7. Chika Ueda, Omar M. Abou Al-Ola, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Iterative method based on a discretization of continuous-time image reconstruction for computed tomography, Proc. of the 2010 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp.223--226, 2010.3.3, マリオットホテル (アメリカ合衆国ホノルル)

8. Omar M. Abou Al-Ola, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Properties of a switched system for continuous-time tomographic image reconstruction, Proc. of the 2010 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp.219--222, 2010.3.3, マリオットホテル (アメリカ合衆国ホノルル)

9. Omar M. Abou Al-Ola, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Dynamics of Continuous-Time Image Reconstruction System for Computed Tomography, Proc. of

2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.627--630, 2009.10.18, シャトレーゼガトーキングダムサッポロホテル (札幌市)

[国内学会]

1. 山口 雄作, 藤本 憲市, 吉永 哲哉, 連続 CT 画像再構成法の拡張による効果, 中四国放射線医療技術フォーラム 2011, 2011.11.26, 米子コンベンションセンター (米子市).
2. 吉永 哲哉, 先端数理に基づく CT 画像再構成, 医用画像情報学会, 2011.10.22, 徳島大学 (徳島市).
3. 立石 貴代子, 藤本 憲市, 吉永 哲哉, 拡張連続法の離散化に基づく CT 画像再構成, 第 34 回日本生体医工学会中国四国支部大会プログラム講演抄録, 18 頁, 2011.10.22, 徳島大学 (徳島市).
4. 山口 雄作, 藤本 憲市, 吉永 哲哉, 拡張連続法を用いた少数方向投影からの CT 画像再構成, 第 34 回日本生体医工学会中国四国支部大会プログラム講演抄録, 17 頁, 2011.10.22, 徳島大学 (徳島市).
5. 山口 雄作, 藤本 憲市, 吉永 哲哉, 連続 CT 画像再構成法の性能評価, 医用画像情報学会 平成 22 年度春季 (第 159 回) 大会, 2011.2.5, 九州大学 (福岡市).
6. 山口 雄作, 藤本 憲市, 吉永 哲哉, 連続法を用いた CT 画像再構成の特徴, 中四国放射線医療技術フォーラム 2010, 2010.10.30, 高知市文化プラザ (高知市).
7. 山口 雄作, 藤本 憲市, 吉永 哲哉, 連続法による CT 再構成画像の性質, 第 33 回日本生体医工学会中国四国支部大会プログラム講演抄録, 20 頁, 2010.9.24, 岡山大学 (岡山市).
8. 藤本 憲市, 吉永 哲哉, 連続時間 CT 画像再構成法の電子回路実装, 第 25 回生体・生理工学シンポジウム論文集, 277~280 頁, 2010.9.23, 岡山大学 (岡山市).
9. 上田 知佳, 藤本 憲市, 吉永 哲哉, 連続 CT 画像再構成法の離散化に基づく逐次法, 第 32 回日本生体医工学会中国四国支部大会プログラム講演抄録, 17 頁, 2009.11.28, 広島国際大学 (広島市).
10. Omar M. Abou Al-Ola, Ken'ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Property of Equilibrium Existed in Continuous-Time Image Reconstruction System With Subsets for Medical Tomographic Image, Proc. of the Electronics, Information and Systems Conference Electronics, Information and Systems Society, I.E.E. of Japan, pp.951--956, 2009.9.3, 徳島大学 (徳島市).
11. 藤本 憲市, アボウ アルオラ M. オマル, 吉永 哲哉, 電子回路を用いた連続 CT 画

像再構成, 平成 21 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, 67~72 頁, 2009.9.3, 徳島大学 (徳島市).

[図書] (計 2 件)

1. Ken' ichi Fujimoto and Tetsuya Yoshinaga, Continuous-Time Image Reconstruction for Computed Tomography in Computed Tomography: New Research (J. H. Park Ed.), Nova Science Publishers, 2012.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: CT 装置, CT 装置における画像再構成方法, 及び電子回路部品

発明者: 吉永哲哉, 藤本憲市

権利者: 徳島大学

種類: 特許

番号: 特願 2008-317758, 特開 2010-136958

出願年月日: 2008 年 12 月 13 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://weblog.medsci.tokushima-u.ac.jp/miee/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉永 哲哉 (YOSHINAGA TETSUYA)

徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・教授

研究者番号: 40220694

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

藤本 憲市 (FUJIMOTO KEN' ICHI)

徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・助教

研究者番号: 20300626