

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 28 日現在

機関番号：10106
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2012～2014
 課題番号：24592825
 研究課題名(和文)統計的画像再構成法による歯顎顔面部X線CT画像における金属アーチファクトの除去

 研究課題名(英文)Statistical iterative reconstruction for streak artefact reduction when using multi-detector CT to image the dento-alveolar structures

 研究代表者
 早川 吉彦(HAYAKAWA, Yoshihiko)

 北見工業大学・工学部・准教授

 研究者番号：70164928

 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：統計的画像再構成法によって歯顎顔面領域のX線CT画像上の金属アーチファクトを軽減する方法を研究した。まず逐次近似法ML-EM法を使い、演算を高速化するOS-EM法をその後採用した。歯顎顔面部では薄いスライスで撮影され、隣り合う画像には似た解剖構造が描出される。そこでアーチファクトのない画像の投影データをもとに次々と隣接する画像を処理した。処理を高速化するために小さなROIの設定やGPGPUマシンとCUDAプログラミングで処理した。また歯科矯正装置によるアーチファクトがある画像も処理した。それぞれ良好な結果を得た。またコーンビームCT画像でも3Dフィルタや領域拡張法も適用してト軽減を図った。

研究成果の概要(英文)：The objective was to reduce metal-induced streak artifact on oral and maxillofacial X-ray MDCT images by developing the fast statistical image reconstruction algorithm. When metallic prosthetic appliances exist in the oral cavity, the appearance of metal-induced streak artefacts is not avoidable. Adjacent CT images often depict similar anatomical structures in thin slices. Images were processed by the successive iterative restoration method where projection data were generated from reconstructed image in sequence. The maximum likelihood-expectation maximization algorithm was applied. Next, the ordered subset-expectation maximization was examined. A small region of interest setting was designated. A GPGPU machine and CUDA programming were applied. Algorithms reduced metal-induced artifacts using the sequential processing method. The GPGPU realized the high performance. The CBCT image quality improved in combination with the 3D Gaussian-Laplacian filtering and region growing methods.

研究分野：歯学，医用画像工学，医学物理学，放射線技術学，画像認識，画像解析，医療情報

キーワード：統計的画像再構成法 逐次近似法 歯顎顔面画像診断 X線CT 金属アーチファクト 歯科放射線画像診断 ストリーク・アーチファクト

1. 研究開始当初の背景

(1) 歯顎顔面領域の X 線 CT 画像には、口腔内歯列に存在する非可撤性義歯等の存在によって著しい金属(ストリーク)アーチファクトが存在するのが常である。これまでに、統計的画像再構成法である逐次近似法を応用して、このようなアーチファクトの大幅な軽減を図れることを示してきた(1. Kondo A et al, 2010)。その後、successive iterative restoration と名付けた方法で処理をしたところ、解剖学的構造の再現性を高く保ちながら、金属アーチファクトの軽減を図ることができた(2. Dong J, et al, 2011)。

(2) また、平成 22(2010)年度と 23(2011)年度には、(独)日本学術振興会の二国間交流事業共同研究(ドイツとの共同研究)の研究費が交付された。その研究費も利用しながら、研究協力者(海外共同研究者)の Cornelia Kober (Professor, Faculty of Life Sciences, Hamburg University of Applied Sciences, Hamburg, Germany) との交流・共同研究を続け、今回の研究課題でも一緒に議論しながら行える環境にあった。

2. 研究の目的

(1) 統計的画像処理法による工夫で、歯顎顔面領域の X 線 CT 像における金属アーチファクトの軽減を図る。

(2) 逐次近似法の ML-EM (Maximum Likelihood-Expectation Maximization Algorithm) 法や OS-EM (Ordered Subset-Expectation Maximization) 法を使い、その最適化を図る。

(3) ソフトウェア的に計算時間削減を図る。

(4) ドイツの研究者・学生のアドバイスとして、上顎の歯によるアーチファクトは上方から、下顎の歯によるアーチファクトは下方からのアプローチで解決しようというものである。これによって、「解剖学的構造物の形態再現性」をより高いものにしようという提案である。その発想を取り入れた画像再構成処理アルゴリズムを開発する。

(5) ハードウェア的に計算時間の削減を図る。「GPU プロセッサによって演算速度の高速化を図ること」も目的とした。ポータブル GPU ワークステーションで処理が高速になり実用的にできることを示す。

3. 研究の方法

(1) 私たちの方法は次の事実を基づく。歯顎顔面部では薄いスライスで撮影されていて、隣り合うスライスには非常に似た解剖学的構造が描出されている。アーチファクトのない画像の隣には弱く出る画像があり、徐々に強くなっているスライスがある。そこで、

アーチファクトのない画像のプロジェクトンデータをもとに次々と隣接する画像を処理していく (successive processing)。また、上顎の画像は head to foot で処理し、下顎の画像は逆方向 (reverse processing) とした。

(2) 統計的画像再構成法を利用して X 線 CT 画像上のメタル・アーチファクトを軽減する方法について研究を行った。まず逐次近似法 ML-EM (Maximum Likelihood-Expectation Maximization Algorithm) 法を使ったが、画質に影響せずに演算を高速化できる OS-EM (Ordered Subset-Expectation Maximization) 法をその後は採用した。

(3) 顎骨内でアーチファクトの発生している部位にできるだけ小さな ROI を設定することと GPGPU マシンと CUDA プログラミングで処理することである。また、歯科矯正用ワイヤやブラケットによる不規則なアーチファクトが存在する画像に対する処理も行った。

4. 研究成果

(1) 本研究期間の直前に、引用文献 1 と 2 に示すように、逐次近似法に ML-EM 法を採用して、金属アーチファクトが削減できることを示した(1. Kondo et al. 2010)。また、successive iterative restoration と名付けた方法で解剖学的構造の再現性を向上できたことを示した(2. Dong J et al, 2011)。本研究は、その延長上にあつて、パラメータの最適化、演算の高速化、実用化への課題、コーンビーム型 CT への応用を検討したことになる。

(2) 逐次近似法を ML-EM 法に代えて OS-EM 法を採用することは、パラメータの組み合わせも最適化したので、アーチファクト軽減効果や画質に影響を与えずに高速演算化、すなわち計算時間の大きな削減ができた。(3. Dong J et al, 2013)

(3) 小さな ROI の設定を採用しても、計算時間の大きな削減ができた。(3. Dong J et al, 2013)

(4) ポータブル GPU ワークステーションというハードウェアの能力向上と、それに最適化されたプログラミング CUDA によって、計算時間の大きな削減ができた。実現可能な画像再構成処理のパフォーマンスとのコストとの関係を提示できた。(4. Dong J et al, 2014)

(5) 以下 5 つの図は、平成 26(2014)年 11 月 6 日、札幌で行われた「ビジネス EXPO 共催行事、シーズ・ニーズマッチングフェア」という産学連携のイベントで発表したものである。

図 1 ~ 図 3 の結果は、今回の科学研究費の交付を受けるにあたって、その準備となった

研究成果である。特に図3はその直前の成果である。そして、図4と図5は、今回の科学研究費の交付期間（3年間）に執筆し、国際学術雑誌に掲載された査読付き論文の内容の一部にあたる。

図1は、Iterative restorationにおける繰り返し回数の最適化を示している。Kondo et al. (2010) で発表した。50回まで示しているが、それ以上繰り返しても顕著な変化はないとした。

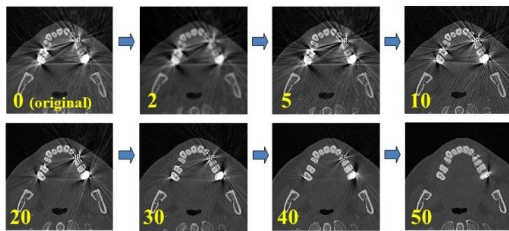
図2は、Successive iterative restorationの説明である。次から次へと、プロジェクションデータを利用した画像処理を繰り返していき、解剖学的構造の変化を最適化するものである。この方法を“Successive iterative restoration”と名付けて論文を書き、査読者（もちろん匿名）にも納得していただいた。

図3は、ML-EM法と比較しながらOS-EM法のパラメータを最適化しているところである。パラメータの最適化を論文の内容にすると、同じような画像をたくさん並べなくてはならなくなる。その困難さをうまく回避しながら論文を作成した。

図4は、最適化されたOS-EM法におけるパラメータで、なおかつROI（関心領域）を小さくして画像処理を行っているところである（3. Dong J, et al, 2013）。これによって、当初より計算時間は大きく削減された。

図5は、ブラケットやワイヤのような歯科矯正治療装置によるイレギュラーなアーチファクトのある症例で試みた例である。高速演算を可能にするGPGPUマシンのためのCUDAプログラミングで、計算時間を大きく削減したことを示している（4. Dong J, et al, 2014）。

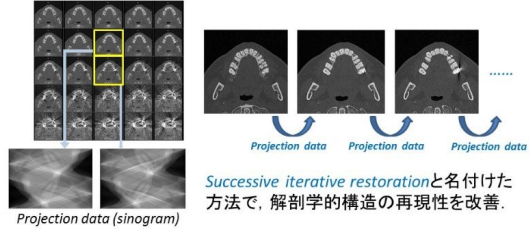
・2008年頃から、私たちは統計的画像再構成法（逐次近似法）を「金属アーチファクト軽減」に応用してきた。



Kondo A, Hayakawa Y, Dong J, Honda A. Iterative correction applied to streak artifact reduction in an X-ray computed tomography image of the dento-alveolar region. *Oral Radiology* 2010; 26: 61-5.

図1 Iterative restorationにおける繰り返し回数の最適化（1. Kondo A, et al, 2010）

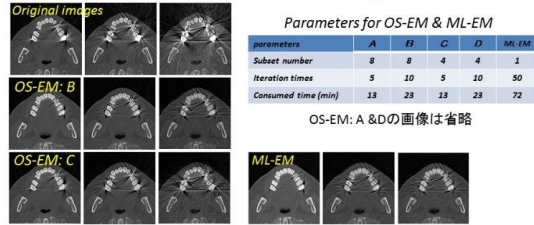
・2008年頃から、私たちは統計的画像再構成法（逐次近似法）を「金属アーチファクト軽減」に応用してきた。



Dong J, Kondo A, Abe K, Hayakawa Y. Successive iterative restoration applied to streak artifact reduction in X-ray CT image of dento-alveolar region. *International Journal of Computer Assisted Radiology & Surgery* 2011; 6: 635-40.

図2 Successive iterative restorationの説明(2. Dong J, et al, 2011)

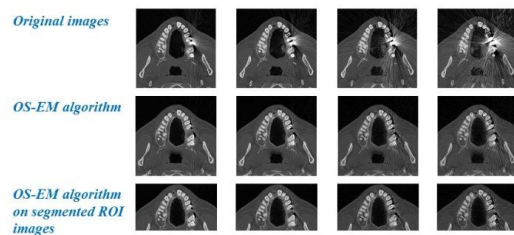
・その後、逐次近似法にML-EM (Maximum Likelihood-Expectation Maximization)法に加えて、OS-EM (Ordered Subset-Expectation Maximization)法を応用し、calculation loadingを大きく減らした。



Dong J, Kondo A, Abe K, Hayakawa Y. Successive iterative restoration applied to streak artifact reduction in X-ray CT image of dento-alveolar region. *International Journal of Computer Assisted Radiology & Surgery* 2011; 6: 635-40.

図3 ML-EM法と比較しながらOS-EM法のパラメータを最適化しているところ。(2. Dong J, et al, 2011)

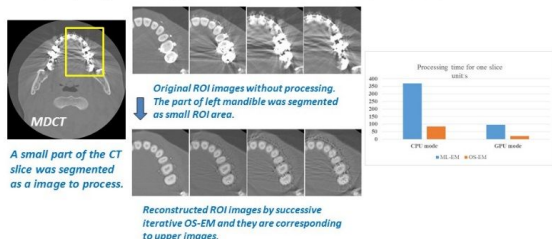
・さらに、Segmented ROI (Region of Interest)法, Reverse Processing法で改良した。



Dong J, Hayakawa Y, Kannenberg S, Kober C. Metal-induced streak artifact reduction using iterative reconstruction algorithms in x-ray computed tomography image of the dentoalveolar region. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology* 2013; 115: e63-73.

図4 最適化されたOS-EM法のパラメータで、なおかつROI（関心領域）を小さくして画像処理を行ったところ（3. Dong J, et al, 2013）

- ・さらに、歯科矯正装置によるirregular artifactsのある症例に応用。
- ・CUDA programming for GPGPU machineで計算時間を削減。



Dong J, Hayakawa Y, Kober C. Statistical iterative reconstruction for streak artifact reduction when using multidetector CT to image the dento-alveolar structures. *Dentomaxillofac Radiology* vol.43, issue 5, 20130373, July 2014.

図5 歯科矯正装置によるイレギュラーなアーチファクトのある症例で、GPGPU マシンのための CUDA プログラミングで計算時間を大きく削減 (4. Dong J, et al, 2014)

(6) 歯科用コーンビームCT画像に同様な処理を行った。画質改善の3Dフィルターや領域拡張法をも用いて、アーチファクトの軽減と画質の改善を図り、平成25(2013)年12月、第99回北米放射線医学会年次大会(RSNA2013)等で発表した。この方法には、私たちが2009年に発表した論文(5. Sagawa et al, 2009)で記述した内容を応用した。

(7) このコーンビームCT画像に対する結果を含めて、平成26(2014)年9月、これらの論文のほとんどのfirst authorとなっている大学院生のDONG JIAN君に博士(工学)の学位が北見工業大学において授与された。学位論文のタイトルは、「Three-Dimensional Image Processing for Artifact Reduction and Quality Improvement in Medical X-ray Computed Tomography (医療用X線CT画像におけるアーチファクト除去および画質向上のための3次元画像処理)」である。平成27(2015)年7月以降、北見工業大学図書館リポジトリ (<https://kitir.lib.kitami-it.ac.jp/dspace/>)で公開される。

< 引用文献 >

- (1) Kondo A, Hayakawa Y, Dong J, Honda A. Iterative correction applied to streak artifact reduction in an X-ray computed tomography image of the dento-alveolar region. *Oral Radiology* (日本歯科放射線学会欧文誌) Vol.26, No.1:61-65, 2010-06
- (2) Dong J, Kondo A, Abe K, Hayakawa Y. Successive iterative restoration applied to streak artifact reduction in X-ray CT image of dento-alveolar region. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* (コンピュータ支援放射線医学外科学会雑誌) Vol.6, No.5, pp635-640, 2011-09
- (3) Jian Dong, Yoshihiko Hayakawa, Sven Kannenberg, Cornelia Kober. Metal-induced streak artifact reduction using iterative

reconstruction algorithms in X-ray CT image of the dento-alveolar region. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology* (米国歯顎顔面放射線医学会雑誌) Vol.115 No.2, pp e63-e73, 2013-02.

- (4) Jian Dong, Yoshihiko Hayakawa, Sven Kannenberg, Cornelia Kober. Statistical iterative reconstruction for streak artefact reduction when using multi-detector CT to image the dento-alveolar structures. *Dentomaxillofac Radiology* (国際歯顎顔面放射線医学会雑誌) Vol.43, No.5, 20130373, 2014-07.
- (5) Sagawa M, Miyoseta Y, Hayakawa Y, Honda A. Comparison of two- and three-dimensional filtering methods to improve image quality in multiplanar reconstruction of cone-beam computed tomography. *Oral Radiology* (日本歯科放射線学会欧文誌) Vol.25, No2:154-158, 2009-12

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 2 件)

- (1) Jian Dong, Yoshihiko Hayakawa, Sven Kannenberg, Cornelia Kober. Statistical iterative reconstruction for streak artefact reduction when using multi-detector CT to image the dento-alveolar structures. *Dentomaxillofac Radiology* (国際歯顎顔面放射線医学会雑誌) 査読有 Vol.43, No.5, 20130373, 2014-07. DOI: <http://dx.doi.org/10.1259/dmfr.20130373>
- (2) Jian Dong, Yoshihiko Hayakawa, Sven Kannenberg, Cornelia Kober. Metal-induced streak artifact reduction using iterative reconstruction algorithms in X-ray CT image of the dento-alveolar region. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology* (米国歯顎顔面放射線医学会雑誌) 査読有 Vol.115 No.2, pp e63-e73, 2013-02. doi:10.1016/j.oooo.2012.07.436

{ 学会発表 } (計 11 件)

- (1) 孫氷玉 (Sun Bing-Yu), 董建 (Dong Jian), 張昕源 (Zhang Xin-Yuan), 早川吉彦. コーンビーム型X線CT画像に対する画質改善処理. 情報処理北海道シンポジウム2014, 平成26年10月4日, 函館(公立はこだて未来大学).
- (2) Y. Hayakawa, M. Shinoda, M. Hirose, T. Onoue, D. Miyanaka, X. Zhang, J. Dong, C. Kober. Cone beam CT image processing: Acceleration by GPGPU for metal artifact reduction, 3D-filtering and region-growing methods for 3D visualization. The 28th International Congress of Computer Assisted

- Radiology and Surgery (CARS2014) at Fukuoka, Japan, June 25-28, 2014. (www.cars-int.org/) (国際コンピュータ支援放射線学外科学会議, 福岡国際会議場)
- (3) Dai Miyanaka, Jian Dong, Xin-Yuan Zhang, Yoshihiko Hayakawa, Takatoshi Onoue, Takafumi Ono. Medical graphic viewer interface: Our trial on game controller, eye-tracking and touch-less gesture motion capture. 99th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America (RSNA2013 北米放射線医学会年次大会), Dec. 1-6, 2013, McCormick Place, Chicago.
- (4) Jian Dong, Dai Miyanaka, Xinyuan Zhang, Yoshihiko Hayakawa, Cornelia Kober. Cone beam CT image processing in dental office: Accelation by GPGPU machine for metal artifact reduction, 3D-filtering and region growing methods for high-quality 3D visualization. 99th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America (RSNA2013 北米放射線医学会年次大会), Dec. 1-6, 2013, McCormick Place, Chicago.
- (5) 董建, 宮中大, 張昕源, 早川吉彦. 歯顎顔面部コーンビームCTの多断面再構成像における逐次近似法と3次元フィルタリングによる画質向上の検討. 第32回日本医用画像工学会大会 (JAMIT Annual Meeting 2013), 2013年8月1-3日, 日本科学未来館 / 産業技術総合研究所臨海副都心センター.
- (6) Y. Hayakawa, J. Dong, X. Zhang, D. Miyanaka, K. Anwar. Cone beam CT image processing for metal-induced streak artifact reduction by iterative reconstruction. The 27th International Congress of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2013) 国際コンピュータ支援放射線学外科学会議, 6月26-29日, Heidelberg Convention Center, Heidelberg, Germany (www.cars-int.org/)
- (7) 早川吉彦. X線CT画像上のメタル・アーチファクト軽減のための統計的画像再構成演算の高速化. 日本歯科放射線学会第54回総会学術大会, 2013年5月31日~6月2日, 福岡ももち文化センター.
- (8) Jian Dong, Sven Kannenberg, Cornelia Kober, Yoshihiko Hayakawa. Statistical iterative reconstruction applied for streak artifact reduction in X-ray CT image of dento-alveolar region. 98th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America (RSNA2012)北米放射線医学会年次大会, Nov. 25-30, 2012, McCormick Place, Chicago, Illinois.
- (9) Yoshihiko Hayakawa, Jian Dong, Kosuke Abe. Metal-induced streak artifact reduction by statistical reconstruction in X-ray computed tomography image of dento-alveolar region.

- The 26th International Congress of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2012) 国際コンピュータ支援放射線学外科学会議, June 27-30, 2012. at Pisa Congress Palace, Pisa, Italy.
- (10) Jian Dong, Kosuke Abe, Yoshihiko Hayakawa. Statistical iterative reconstruction applied for streak artifact reduction in X-ray CT image. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering (WC2012), 国際医学物理・生体医工学会議. May 26-31, Beijing International Convention Center, Beijing, China (北京国際会議場)
- (11) 董建, 阿部恒介, 早川吉彦. 統計的逐次近似再構成法を用いてX線CT画像における金属アーチファクトの軽減. 第103回日本医学物理学会学術大会, 2012年4月12日~15日, パシフィコ横浜

〔図書〕(計 1 件)

- (1) 白鳥則郎監修・大町真一郎・陳謙・大町方子・宮田高道・長谷川為春・早川吉彦・加瀬澤正・塩入諭著 画像処理, 未来へつなぐデジタルシリーズ 28巻 232ページ, 2014年10月. 共立出版. 執筆担当: 第7章 特徴抽出 第8章 画像認識 第15章 画像処理の応用

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)
取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等
研究室のホームページ
<http://dip.cs.kitami-it.ac.jp/index.html>
リポジットへのリンク。
<https://kitir.lib.kitami-it.ac.jp/dspace/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
早川吉彦 (HAYAKAWA, Yoshihiko)
北見工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 70164928
- (2) 研究分担者
なし ()
研究者番号:
- (3) 連携研究者
なし ()
研究者番号:

本研究には, 以下のように海外の研究協力者がいる。

Cornelia Kober, Professor, Biomechanics and Technical Mechanics, Faculty of Life Sciences, Hamburg University of Applied Sciences, Hamburg, Germany