

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 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21591591

研究課題名（和文） X線CTの画像雑音（被曝）を低減する画像再構成法

研究課題名（英文） A reconstruction method to minimize image noise of X-ray CT

研究代表者

森 一生 (MORI ISSEI)

東北大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号：90375171

研究成果の概要（和文）：通常の CT の画像再構成においては、視野が即ち画素寸法が十分小さくなくなれば雑音のエリアスの問題が生じる。すなわち、画素によるナイキスト周波数を超える投影データの雑音成分はナイキスト周波数内に折り返す。帯域制限の処理を導入することにより、このエリアス雑音を画像鮮鋭度の代償無しに解消できる。我々は、この方法により顕著な画質改善あるいは照射線量の低減が得られ、特に再構成関数が高周波強調タイプの際に顕著であることを確認した。

研究成果の概要（英文）：In ordinary CT image reconstruction methods, there exists noise-aliasing problem when field of view, or pixel size, is not small enough. That is, noise component beyond pixel Nyquist frequency in the raw-data folds back within pixel Nyquist frequency. By incorporating a band-limiting process, we can eliminate this aliased noise without penalty on image sharpness. We have confirmed significant image quality improvement or reduction of radiation dose can be achieved by this technique especially when the image reconstruction kernel is high-frequency enhancing type.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：医用画像工学

1. 研究開始当初の背景

(1) X線 CT は画像雑音を診断レベルにとどめるには大量の X 線照射を必要とする。一方、再構成法の改良でばかさに画像雑音を（すなわち被曝を）低減する余地は理論的に殆ど無いとされている。CT の X 線被曝は近年間

題視されており、このため CT メーカーは非線形画像フィルターの利用などの手段で画像をばかさに雑音（すなわち被曝）を低減するという方法を盛んに推進していた。CT ユーザ等の画質評価もこれを肯定する報告が相次いだ。しかし我々は新たな画質評価法

を開発することにより、この種の処理は画質の本質を何ら改善しない、被曝を低減する効果はないということを明らかにしつつあった。従って、より本質的な（すなわちコスメティックではない）雑音低減法が従来に増し必要となっていた。

(2) 根本的な改善の余地は無いとされている画像再構成理論ではあっても、それを装置に実装するにあたり何らかの近似や簡易化が暗黙のうちに為されており、そこに不測の無駄な雑音の発生を招く要因があり得ると我々は考えた。すなわち、理論は無限連続関数で記述されており、実装は離散有限のデータ処理であることに着目した。この結果、画像再構成法においてまだ画像雑音低減の余地が残されていると判断した。すなわち、画像マトリクスに逆投影されるデータは、画素ピッチによるピクセルナイキスト周波数 f_{PN} を超える成分を含んでおり、これは折返しにより全く無駄な画像雑音となり得るのである。そして、通常の画像再構成法にはこれを回避するメカニズムは無い。この雑音の折返しの問題は、理論的な可能性としては一部の研究者により知られていた。しかし、実際に問題になり得るかは知られていなかったもので、まずこの点を明らかにする必要があった。また、雑音の折返しが実際に問題であるとしても、これを解消する実用的な方法も知られていなかった。

2. 研究の目的

(1) 画素配列による雑音の折返し現象が、再構成条件によっては低周波域にまで及び、その結果画質を有意に悪化せしめることを理論的計算により明らかにする。

(2) 折返し問題の解消のために、逆投影の前に f_{PN} を超える成分を除去する処理をする。実際には逆投影の直前にこれを行うことは困難で有り、投影データの段階で f_{PN} を超える成分を除去する帯域制限処理を行う。

(3) その処理は極めて容易であり、それにより鮮鋭度（空間分解能）を代償にすることなく、雑音だけを低減できることを実証する。

(4) その効果は大視野において顕著であり実用価値のあることを種々のデータで実証する。

3. 研究の方法

(1) CT 実機より投影データを取り出し、デー

タフォーマットを解読し、PC上で投影データのフィルタリング等の加工を行い、再びCT実機に戻して画像再構成する経路を確立する。

(2) NPS, MTF, 空間分解能の測定と理論計算との照合を行い、理論どおりの雑音低減、MTFや空間分解能維持等を達成しているか、そしてNPSとMTFから得られるMFSNR等の画質総合指標が真に向上するか、確認を行う。この過程において、正確なMFSNRの算出にあたり正確なMTFおよび正確なNPSの測定が必要であるが、一般に行われているMTFやNPSの測定は極めて不正確であり、正確な計測法の開発も行う。

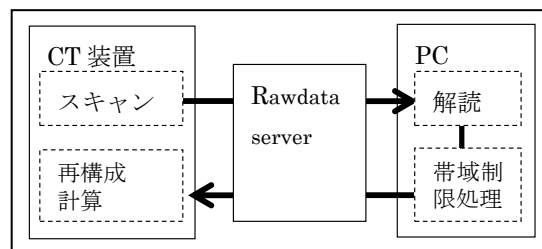
(3) 物理指標による画質評価のみならず、視覚試験においても、この帯域制限処理により低コントラスト構造の検出能が向上することを確認する。どのような再構成条件のときにこの効果が顕著であるのかも明らかにする。

4. 研究成果

(1) 実態調査の結果、大部分のCT装置では我々の指摘する雑音折返し問題が生じていることを確認できた。これはMTFとNPSを大小各種の再構成視野で測定することで明らかにできた。すなわち、再構成視野に拘わらずMTFやNPSが不変であれば、それはピクセルナイキスト周波数による折返し問題を回避出来ていない証である。

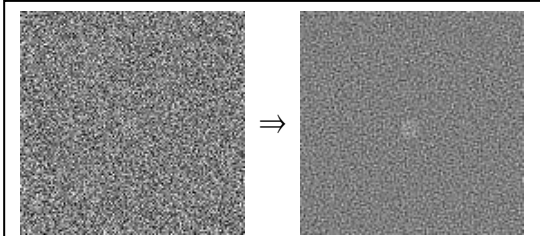
一部のCT装置では、何らかの処理により折返し問題を緩和していることがわかった。しかしその処理は我々の提案するような理論的に明解なものではない。

(2) CT実機より投影データを取り出し、PC上で未知のデータフォーマットを解読し、さらにPC上で投影データの帯域制限処理をした後、CT実機に戻して画像再構成する手法を確立した。論文文化済み。



(3) 設計した帯域制限処理により、意図通りに折返し雑音が解消されることを確認した。

その効果は、大視野の再構成においてさらに高周波強調型の再構成関数を用いたときに特に顕著であることが確認された。これは、雑音の折返しの理論計算や、それから求められる MFSNR の理論向上率と対比して極めて自然な結果であり、我々が事態を正しく把握していることの確認ともなった。

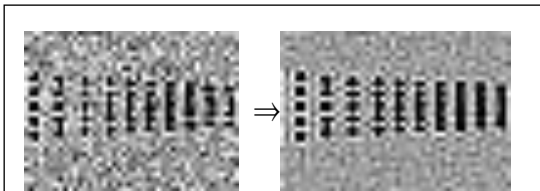


効果が最も顕著な 50cm 視野、高域強調再構成関数での例。左は通常画像再構成。右は本研究による帯域制限を伴う再構成。

(4) 正確な性能評価のために、NPS や MTF の正確な測定法を開発した（一部論文化済み）。特に、一般に行われている NPS 計測法は視覚性能に直結する低周波域の測定精度に著しい問題があることが確認され、その改善法を得ることができた。

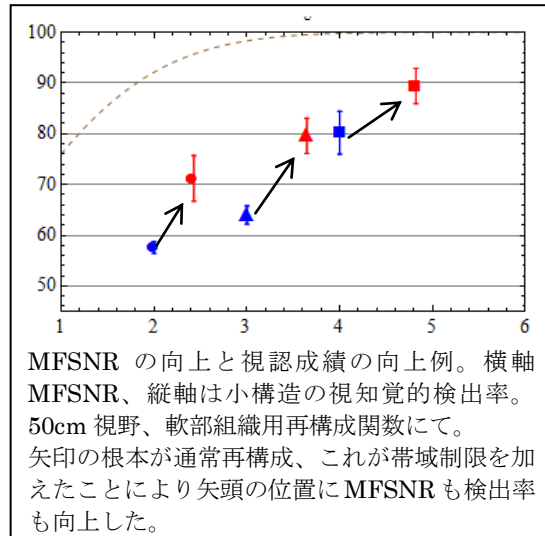
(5) 正確な NPS と正確な MTF から得た MFSNR（画質の総合的物理指標）は設計通りに向上すること、大視野においてこの効果は顕著であることを確認できた。

(6) 多くの雑音低減手法は常に画像の鮮鋭度を代償にするので、帯域制限処理による雑音低減はそのようなものではないことを明らかにせねばならない。これについては、意図通りであること、すなわち帯域制限処理による雑音低減は空間分解能の劣化を伴わないことが確認された。さらに、雑音に汚染されて空間分解能性能が発揮されない場合には、本処理により雑音低減とともにむしろ空間分解能は向上し得ることも示された。



雑音に汚染された空間分解能は帯域制限処理によりむしろ向上する例。効果が最も顕著な 50cm 視野、高域強調再構成関数にて。左は通常画像再構成。右は本研究による帯域制限を伴う再構成。穴径は左端が 1.5mm、右端が 0.85mm。被写体サイズは水 320mm 相当、線量は 600mAs 相当、120kV、1mm スライスにて。

(7) 多数の観察者と多数の画像を用いた視覚試験（2-AFC, 2 alternative forced choice、という手法を用いた）により、画像観察者が低コントラスト構造をどれだけ正しく検知するかを評価した。その結果、画質の物理指標である MFSNR の向上から予見される通りに、大視野において、そして特に高周波強調型再構成関数を用いたときに、帯域制限処理により顕著に検出能が向上した。



MFSNR の向上と視認成績の向上例。横軸 MFSNR、縦軸は小構造の視覚的検出率。50cm 視野、軟部組織用再構成関数にて。矢印の根本が通常再構成、これが帯域制限を加えたことにより矢頭の位置に MFSNR も検出率も向上した。

(8) なお、前記(7)の過程で、CT 画像において現定義の MFSNR では、視覚試験の成績すなわち低コントラスト構造の検出率そのものを正確に算出し得るものではないことが推察された。すなわち、CT 画像においては画質の物理指標を実際の視覚的性能に完全に対応させるためには、まだ何らかの研究余地があることが推察された。これも副産物ではあるが研究成果と言える。

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 4 件)

- ① 佐藤 和宏, 坂本 博, 後藤 光範, 小山内 実, 町田 好男, 梁川 功, 森 一生, CT の投影データの加工によるシミュレーションをユーザレベルで行う方法、東北大学医学部保健学科紀要、査読有、2011、vol. 20, No. 2, 91-102
- ② 後藤光範, 佐藤和宏, 水口早苗, 三浦巧磨, 小山内実, 町田好男, 森一生, CT 画像の雑音測定における低周波数領域での精度向上、東北大学医学部保健学科紀要、査読有、2011、vol. 20, No. 1, 55-61

③三浦巧磨、水口早苗、加藤壮敏、後藤光範、千葉幸、木村智圭、佐藤和宏、小山内実、町田好男、森一生、MDCTのSSP測定－傾斜ワイヤ法の問題点と直交ワイヤ法による改善－、東北大学医学部保健学科紀要、査読有、2010、vol. 19, No. 2, 95-106

④森一生、CT画像に対する非線形画像フィルタの効果検証、東北医学会誌、査読無し、2010、122：74-77

〔学会発表〕(計10件)

①佐藤和宏、下沢恵太、宮本由希、後藤光範、小山内実、町田好男、森一生、観察者モデルと観察者能力の整合性のCT画像を用いた検証、第68回日本放射線技術学会総会学術大会、2012年4月12日、横浜

②後藤光範、佐藤翔耶、澤谷勇太、佐藤和宏、小山内実、町田好男、森一生、CTのMTF測定において、高雑音非拡大再構成条件に耐えるPSF法の開発評価、第68回日本放射線技術学会総会学術大会、2012年4月12日、横浜

③後藤光範、佐藤和宏、山田文夫、加賀勇治、小山内実、町田好男、森一生、仮想スリット法によるNPS測定において窓関数処理を行ったときの効果について、第39回日本放射線技術学会秋季学術大会、2011年10月29日、神戸

④後藤光範、庄田佳織、高橋伊津美、丹野祐希、佐藤和宏、小山内実、森一生、MDCTの検出系雑音(電子雑音)が画像雑音に与える影響、その測定法、第67回日本放射線技術学会総会学術大会(web開催)、2011年5月9日～20日

⑤佐藤和宏、後藤光範、小山内実、町田好男、梁川功、森一生、CTのスキヤナ系と画像再構成系の周波数応答を区別して調べる方法、第66回日本放射線技術学会総会学術大会、2010年4月9日、横浜

⑥後藤光範、佐藤和宏、小山内実、町田好男、山田文夫、加賀勇治、森一生、第66回日本放射線技術学会総会学術大会、2010年4月9日、横浜

⑦野口裕介、増田智之、根本まなみ、後藤光範、小山内実、町田好男、森一生、CT画像のNPS計測法、特に低周波域の誤差について、第66回日本放射線技術学会総会学術大会、2010年4月9日、横浜

⑧根本まなみ、増田智之、野口裕介、佐藤和宏、三浦巧磨、小山内実、森一生、LSF法によるCTのMTF計測の問題と改善法、第66回日本放射線技術学会総会学術大会、2010年4月9日、横浜

⑨佐藤和宏、坂本博、小山内実、町田好男、梁川功、森一生、CT装置における投影データ加工システムの構築、第37回日本放射線技術学会秋季学術大会、2009年10月22日、岡

山

⑩後藤光範、佐藤和宏、小山内実、町田好男、梁川功、山田文夫、加賀勇治、森一生、第37回日本放射線技術学会秋季学術大会、2009年10月22日、岡山

〔図書〕(計2件)

①森一生、他、日本医用画像工学会、医用画像工学ハンドブック、2012、(in press)

②森一生、他、コロナ社、CTとMRI－その原理と装置技術－、2010、1-109

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 一生 (MORI ISSEI)
東北大学・大学院医学系研究科・教授
研究者番号：90375171

(2) 研究分担者

町田 好男 (MACHIDA YOSHIO)
東北大学・大学院医学系研究科・教授
研究者番号：30507083

石橋 忠司 (ISHIBASHI TADASHI)

東北大学・大学院医学系研究科・教授
研究者番号：40151401

(3) 連携研究者
()

研究者番号：