

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500378
 研究課題名（和文）
 フレネル変換データ内挿法を用いた単一受信コイル系高速 MRI の開発
 研究課題名（英文）
 Development of single receiver coil fast MRI system using data interpolation method
 in Fresnel transform imaging technique
 研究代表者
 山田 芳文
 宇都宮大学・工学研究科・教授
 研究者番号 70005429

研究成果の概要：位相拡散フーリエ法で収集データ数を減らすことによりデータ収集時間を短縮し、ポスト処理的にフレネル変換信号に変換、データ内挿してエイリアスレス画像を得る高速 MRI の基礎的開発研究を行い、1/2 のデータ収集の場合であれば、ほぼ完全にエイリアスのない画像が再構成できること、多少分解能が低下することを容認すれば4倍高速化まで可能であること等を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：医用電子工学

科研費の分科・細目：人間医工学 医用生体工学・生体材料学

キーワード：位相拡散フーリエ変換映像法、データ内挿法、高速 MRI、Gerchberg 反復法、エイリアスレス映像再構成、パラレルイメージング

1. 研究開始当初の背景

MRIが医用画像診断システムとして重要な地位を占めるに至っていることは周知の所であり、動きのある被写体の撮像や、非常に小さい差分情報を対象とするファンクショナルMRIなどのために、エコープラナー法やパラレルイメージングなどの超高速MRIの開発も進められていた。

しかし、これらの超高速MRIには、極めて大きなハードウェア的負担が要求され、必ずしも一般的に使用できるまでには至っていなかったとよく、各種のMRI高速化法

が模索されていた。一般に汎用MRIに使われるフーリエ変換映像法では、再構成像にエイリアスが生じる程に粗いサンプリングの信号は、パラレルイメージングで行われているように多数の受信コイルの空間感度分布情報を併用しない限り、エイリアスのない画像を再構成することは不可能である。一方、本研究者らが提案したフレネル変換映像法 (Y. Yamada et al: "NMR Fresnel Transform Imaging Technique using Quadratic Nonlinear Field Gradient", Rev. Sci. Instrum., 63, No. 11, pp. 5348-5358(1992).)

の信号は、スピン分布像のボケ画像に相当するものになっていて、振幅変化は比較的スムーズであるため、サンプリングが粗い場合でも内挿してサンプリング点間の信号を高精度で求めることが可能であり、本研究者らによりパラレルイメージングとは全く異なる原理による高速MRIの実現を可能とする方法の報告が行われていた。

(山田他: "位相拡散フーリエ法におけるデータ内挿エイリアスレスフレネル変換映像再構成", Med. Img. Tech., vol. 24, No. 4, pp. 285-293 (2006).)

2. 研究の目的

汎用MRIのフーリエ変換映像法に非線形勾配磁界を併用した位相拡散フーリエ法でサンプリングを粗くして収集データ数を減らすことによりデータ収集時間を短縮し、ポスト处理的にフレネル変換信号に変換してデータ内挿、再構成することによってエイリアスレス画像を得る新方式の高速MRIの基礎的開発研究を行う。位相拡散フーリエ法は、汎用MRIのパルスシーケンスに比較的弱い2次関数非線形勾配磁界パルスを併用するのみで実現でき、しかも本法は単一受信コイル系で済むことから、並列な多数の受信コイル系の設置が必要とされるパラレルイメージングに比べてハードウェア的負担は遥かに軽く、また撮像に際してコイル感度計測などの調整は不要であるという大きなメリットを有する。

3. 研究の方法

(1) フレネル変換データの内挿精度の解明

① 数値シミュレーションにより、位相拡散フーリエ法信号から生成したフレネル変換データについての最適データ内挿法と、内挿精度の位相拡散パラメータ、分解能などとの関連を明らかにする。

② 例えば2次元サンプリングの場合では、正方格子状のサンプリングより、市松格子状のサンプリングのほうが内挿精度は高いことが予想されているが、内挿精度の高いサンプリング形態の解明。

(2) 位相拡散フーリエMRIを用いての実験的検討

現有の0.018テスラ超低磁界位相拡散フーリエMRIを用いて撮像実験を行い、実験的な検証を行う。

(3) 小形試料を対象とした、フレネル変換データ内挿エイリアスレス画像再構成高速MRIの開発

① 臨床用MRIにも使われる0.2テスラ帯の位相拡散フーリエMRIの試作を行い、フレネル変換データ内挿エイリアスレス画像再構成高速MRIの実現可能性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) MR画像を用いた数値シミュレーションによるフレネル変換データの内挿精度の解明

① 位相拡散フーリエ法信号から生成したフレネル変換データを内挿多項式によりデータ内挿する場合について、内挿精度の位相拡散パラメータ ($D = \Delta x / \Delta x'$) と分解能との関係を調べ、 $D=1.0$ 近傍で内挿精度が最も高くなることを明らかにし、最適な位相拡散パラメータ近傍では、データ数を半分にしても再構成像の残留エイリアスは僅かであることを確かめた。図1には、 $D=1.0$ でデータ数が半分の場合の、そのまま再構成した画像 (a) と、データ内挿再構成画像 (b) の例を示す。この例ではデータ内挿再構成画像の残留エイリアスは非常に少ない。図2には、別の画像例を示す。図2の例では、残留エイリアスが比較的顕著に認められ、残留エイリアスのさらなる除去法が必要とされる。

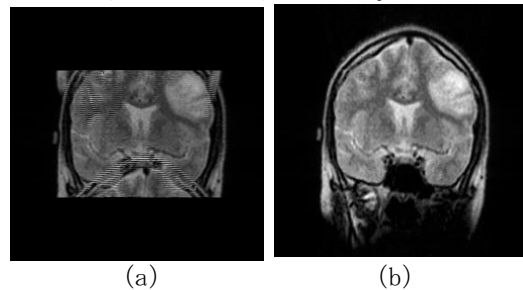


図 1

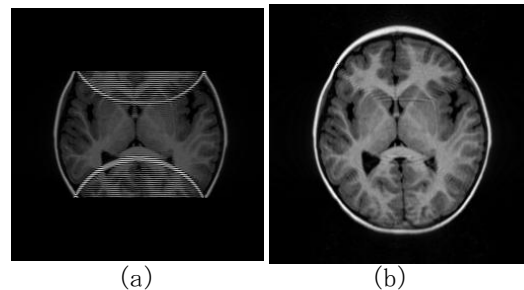


図 2

② 2次元サンプリングの場合では、正方格子状のサンプリングより、市松格子状のサンプリングのほうがデータ内挿精度は高いことを確認した。市松格子状サンプリングは、その実施にパルスシーケンスの工夫が必要であり、正方格子状サンプリングより実施が困難であるが、そのメリットは大きい。

③ 僅かに残留するエイリアスを除去するため、超解像法として知られる Gerchberg 反復法を修正したデータ内挿法を提案し、粗いサンプリングの位相拡散フーリエ法信号について1/2のデータ収集の場合であれば、ほぼ完全にエイリアスのない画像が再構成できることを明らかにし、2倍の高速化は達成可能であることを示した。図3 (a) には、修

正 Gerchberg 反復法適用前の画像を、(b) には適用後の画像を示す。(b) ではほぼ完全に残留エイリアスが除去されている。

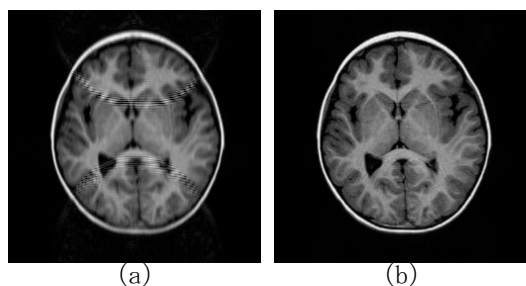


図 3

修正 Gerchberg 反復法による信号内挿は、位相拡散パラメータ D の大幅な値の範囲について実施可能であり、図 4 には、各種 D の値の場合についての反復回数と、内挿信号のフルエンコード信号に対する 2 乗平均誤差の減少程度の関係を示す。何れの D の値の場合でも多数回の反復により、粗サンプリングデータから、フルエンコード信号が復元できることを示しており、粗サンプリングデータからエイリアスのない画像が再構成できることが分る。

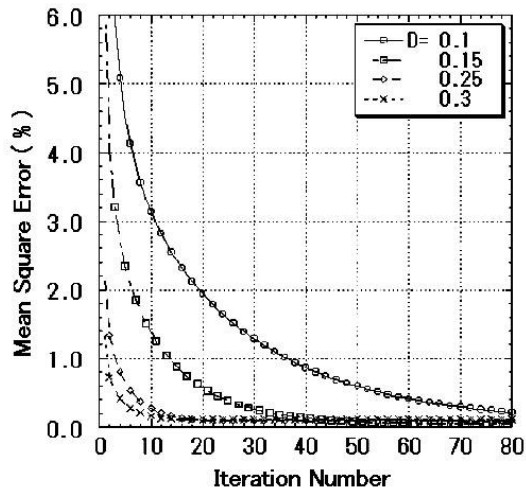
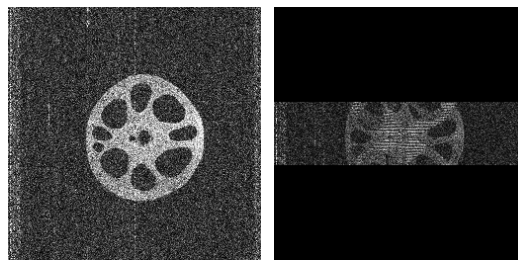
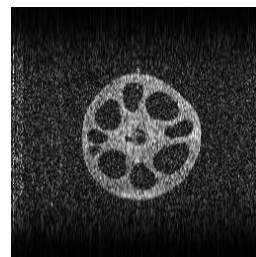


図 4

(2) 現有の 0.018 テスラ超低磁界位相拡散フーリエ MRI を用いて撮像実験を行い、多少分解能が低下することを容認すれば 4 倍高速化まで可能であることを明らかにした。図 5 には、蓮根のフルエンコード信号からの再構成像 (a)、1/4 サンプリング信号からの直接再構成像 (b)、4 倍にフレネル変換データ内挿した信号からの再構成像 (c) を示す。フルエンコード信号と 1/4 サンプリング信号の実効的なデータ収集時間の比は 4:1 となる。1/4 サンプリングデータの場合は再構成画像の分解能は多少低下しているが、データ収集時間は 1/4 となり、多少の分解能の低下を容認すれば 4 倍の高速化が可能なが分る。



(a) (b)



(c)

図 5

(3) 現有する 0.195 テスラ永久磁石を用いて、NMR 信号受信機を購入し、 G_x 、 G_y 、 G_z コイルならびに高磁界 MRI にも大きな技術的困難なしに使用可能な円盤型コイル対による 2 次関数非線形勾配磁界発生コイルを設計・製作して位相拡散フーリエ MRI の試作・整備を進め、小型試料を対象としたシステムを完成した。本システムを用いて小型試料についての高速 MRI の実験的検討を行い、臨床用 MRI でもその実現可能性が非常に大きいことを明らかにした。図 6 に製作したシステム外観を、また、図 7 に 0.25mm 分解能で撮像した「みかん」の画像例を示す。

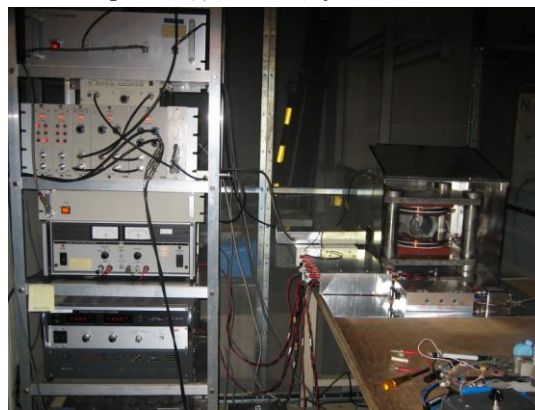


図 6

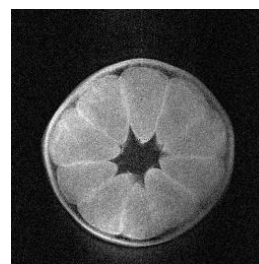


図 7

信号、再構成画像のS/Nは理論的に予想される値とほぼ一致している。

図8には新規製作位相拡散フーリエMRIシステムによる蓮根のフルエンコード信号からの再構成像(a)と、1/2サンプリング信号をフレネル変換データ内挿した信号からの再構成像(b)を示す。

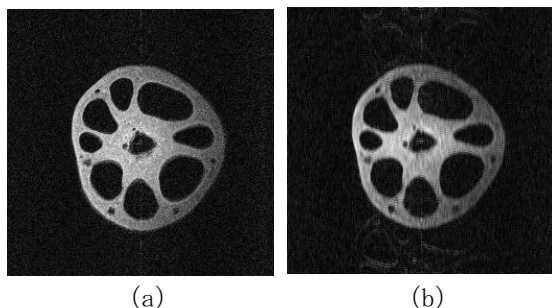


図 8

新規装置用の円盤コイル対型2次関数非線形勾配磁界発生コイルは、静磁界強度に無関係に2次関数非線形勾配磁界を発生できるものであることから、臨床用に使われる高磁界MRIでも位相拡散フーリエ法による単一受信コイル系高速MRIが実現できる可能性が非常に大きい。

MRIの高速化は、如何に高速にk空間の量を計測するかにかかっており、各種の方法が考案されているがその1つがパラレルイメージングである。パラレルイメージングではデータ収集数が少ないため、再構成像に極めて大きなエイリアスが発生する。パラレルイメージングはこのエイリアスを多数の受信コイル系の空間感度分布情報を併用してポスト处理的に除去するものであるが、ハードウェア的負担が重く、結果としてMRIシステムが非常に高価なものになってくる。これに対して本研究で実施した位相拡散フーリエ法の信号をフレネル変換信号に変換し、データ内挿の後、再構成することによってエイリアスのない画像を得る方法は、例えば通常の単一受信コイル系MRIのRFコイルの両脇に非線形勾配磁界コイルを組み込むなど、従前の既存のMRIにも僅かな改造を施すだけで実現することができ、その経済的メリットには非常に大きいものがある。なお、本研究で実現可能性が明らかにされた高速MRIは、本研究者らによる独自の方法であり、国内外にも類似の方法は全く見当たらない。

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 1 件)

1) 山田芳文, 伊藤聡志: PSFT-MRIにおける修正Gerchberg法によるデータ内挿

法を用いたエイリアスレス映像再構成, Medical Imaging Technology, 査読有, 26, 2008, pp.225-232.

[学会発表] (計 8 件)

1) 山田芳文: 位相拡散フーリエ法による単一受信コイル系高速MRIの基礎検討, 第35回日本磁気共鳴医学会大会, 2007.9.27, 神戸市.

2) 山田芳文: 位相拡散フーリエ法MRIにおける反復法によるデータ内挿エイリアスレス映像再構成, 2008年電子情報通信学会総大会, 2008.3.21, 北九州市.

3) Yoshifumi Yamada: Data Interpolation in Phase-scrambling Fourier Transform Technique by Modified Gerchberg's Algorithm for Alias-free Image Reconstruction, ISMRM 16th Scientific Meeting & Exhibition, 2008.5.8, Toronto, Canada.

4) 山田芳文: PSFT-MRIにおける修正Gerchberg法によるデータ内挿法を用いたエイリアスレス映像再構成, JAMIT 2008, 2008.8.5, 東京都.

5) 山田芳文: 粗サンプリング位相拡散フーリエ法における修正Gerchberg法によるエイリアスレス映像再構成, 第36回日本磁気共鳴医学会大会, 2008.9.12, 旭川市.

6) Yoshifumi Yamada: Alias-free image reconstruction in PSFT-MRI through data interpolation by using iterative signal restoration algorithm, ESMRMB 2008 Congress, 2008.10.3, Valencia, Spain.

7) Yoshifumi Yamada: Data Interpolation in PSFT MRI for Alias-less Image Reconstruction by using Iterative Signal Restoration Algorithm, IFMIA 2009, 2009.1.21, Taipei, Taiwan.

8) Yoshifumi Yamada: Data Interpolation in Phase-scrambling Fourier Transform Technique for Alias-free Image Reconstruction by Iterative Signal Restoration Algorithm, ISMRM 17th Scientific Meeting & Exhibition, 2009.4.21, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 芳文 (Yamada Yoshifumi)

宇都宮大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 70005429

(2) 研究分担者

伊藤 聡志 (Ito Satoshi)

宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 80261816

(3) 連携研究者

なし