

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 8 日現在

機関番号：32617

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25670538

研究課題名(和文)「仮想データ」を用いたMRI撮像の高速化

研究課題名(英文)fast MRI using virtual data

研究代表者

森口 央基(Moriguchi, Hisamoto)

駒澤大学・医療健康科学部・教授

研究者番号：70296705

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではMRIにおいてデータ収集を一部しか行わず、残りのデータは収集されたデータから推測することにより撮像の高速化を試みた。この推測されたデータを本研究では「仮想データ」と呼んでいる。限られた収集データから仮想データの正確性を向上させることは極めて困難であった。しかし、複数の画像が必要な再構成のアルゴリズムにおいて、実際に撮像された少数の画像とこれらから推測された画像をもとに新たな画像を再構成した。その画質は、実際に撮像された画像のみから作られた画像のそれよりも大きく改善していた。

研究成果の概要(英文)：In this study, limited k-space data were acquired in MRI while rest of the data were estimated from the acquired data to reduce the scan time. The estimated data were referred to as 'virtual data'. In algorithms that required several MR images with different parameters, images were reconstructed from actually acquired data and virtual data. Quality of the images was significantly improved from that reconstructed only from acquired data.

研究分野：放射線医学

キーワード：MRI 高速撮像 画像再構成

1. 研究開始当初の背景

MRI の撮像の高速化は日々進歩しているが、さらなる高速化や MR 画像の画質の向上が望まれる。近年の高速撮像法の研究開発においては、撮像時間短縮のために収集データ数を著しく減少させ、データ不足による画質の劣化は画像再構成法を工夫することによって克服しようとする手法が主流である。しかし、実際にはデータ数の減少による画質の劣化を抑えるのは大変難しい。

2. 研究の目的

本研究では、従来の MRI 撮像にはなかった「仮想データの概念」という全く新しい概念を導入することにより、MRI 撮像に必要なデータ数を仮想的に増やし、より一層の高速化や画質を向上させる方法の開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究にとって最も重要なのは、実際に収集されたデータからいかに正確に仮想データを求めるか、である。そのためには画像の正確な phase の情報が必要と考えた。Spiral imaging や Bunched Phase Encoding (BPE) などの特殊な k-space の軌道を用いた場合について phase の正確性と再構成された画像の質との関係を調べた。また、Dixon 法から発展した IDEAL 法では、少しずつ撮像パラメータの異なる複数の画像が必要である。この画像再構成法において、実際に撮像された少数の画像の phase から他のパラメータで撮像された画像の phase を推測することにより、最終的に作られる画像の質が改善するかどうかを見るため実験を行った。

4. 研究成果

(1) Spiral imaging

Spiral imaging とは、k-space 上にてらせん軌道に沿ってデータを収集する方法である。Spiral imaging の特長としては、撮像時間が短い、flow や動きに関する artifact がそれほど目立たない、などがある。Spiral imaging にてらせん軌道の本数を減少させたとすると、撮像時間はさらに短縮されるが、収集データの密度が減少することにより画像上に artifact が出現する。これを aliasing artifact という。Spiral の aliasing artifact は通常の正規直交座標上にデータ収集する場合の aliasing artifact に比べるとそれほど目立たないが、画質を劣化させることには変わりはない。ここでは仮想データの概念を用いることにより、この aliasing artifact を減少させることができるかどうか、実験を行った。

収集された k-space のデータを $S(k)$ とすると、 $S(k) = \text{FT}[(x) \cdot e^{i(x)}]$, [Eq.1]

ここで、 (x) は magnitude 画像、 (x) は画像の phase であり、FT は Fourier 変換を示す。画像の phase が複素共役になるとすると、 $S^*(-k) = \text{FT}[(x) \cdot e^{-i(x)}]$, [Eq.2] ここで、 S^* は S の複素共役を示す。Eq.2 より、画像の phase が複素共役になると、k-space の座標 $-k$ の位置でのデータの値は、元の k-space の座標 k の位置でのデータの値の複素共役に等しいことがわかる。このことより、画像の phase が正確にわかれば、再構成に利用できる k-space のデータの数は、実際に収集したデータの数の 2 倍になることがわかる。この実験では、k-space のデータは、variable density (VD) spiral 軌道を用いて収集した。VD spiral は、k-space の中心部では Nyquist の基準を満たしながらデータを取り、辺縁部ではデータを疎に取る軌道である。中心部のデータは画像の大まかな構造を描出することができるので、中心部のデータのみから再構成した画像の phase を実際の phase の推定値とした。実験で使用した VD spiral の辺縁部のデータ密度は Nyquist の基準の 50% であった。なお比較のため、画像の再構成には phase の情報を利用しない spiral-FOCUSS 法も使用した。

図 1 は再構成された phantom 画像である。(a) は、収集したデータを FT によってそのまま再構成した画像、(b) は、収集したデータと仮想データを両方用い FT によって再構成した画像、(c) は、収集したデータを Spiral-FOCUSS 法によって再構成した画像、(d) は、Nyquist の基準を満たしている spiral 軌道を用いてデータ収集を行い、FT によって再構成した画像である。(a) では、aliasing artifact が撮像視野全体に広がっている。(b) では、(a) で見られた aliasing artifact がかなり減少している。(c) では、aliasing artifact は (a) より減少しているが、(b) より目立っている。

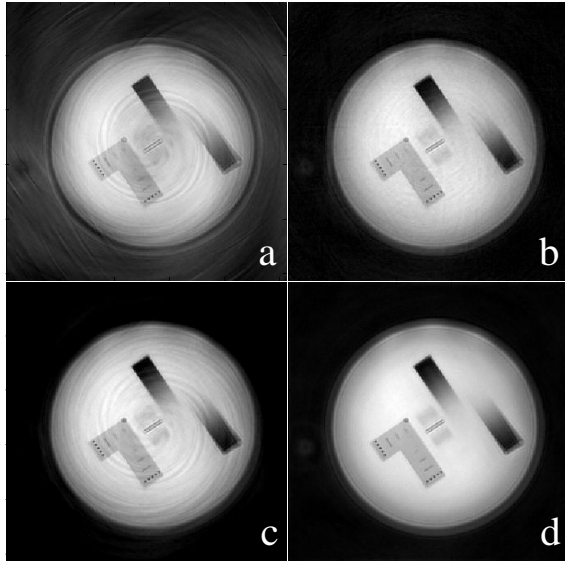


図 1. Spiral imaging の phantom 画像

これらの結果を見てわかる通り、実際に収集したデータに加え、仮想データを用いた場合は aliasing artifacts が減少し、画質が改善することがわかる。仮想データの概念は不足したデータを補い、画質の改善に寄与することが確かめられたと言える。

図 1 (b) ではわずかながら aliasing artifact が残存している。これは当初、画像の phase が不正確であることを反映していると考えていた。ところが、100%のデータ収集を行って画像を再構成し、この画像から得られた phase を用いた場合も、同様にわずかながら artifacts が出現し、明らかな artifacts の減少は確認できなかった。理論的には、phase の推定が完全に正確であれば、仮想データを用いた場合は aliasing artifacts は出現しないと考えられる。この artifacts がなぜ残るのか解明に向けて努力を続けてきたが、未だに原因は判明していない。このため、仮想データの概念を spiral imaging に応用することは有望だと考えられるものの、理論的に十分な裏付けができていないため、この結果を学会や論文誌等で発表することはできなかった。今後も解明のために努力を続けていく所存である。

(2) Bunched Phase Encoding (BPE)

BPE では、phase encoding の方向に急速に変化する傾斜磁場をかけ、k-space のデータを zigzag の軌道に沿って収集する手法である。BPE では一回の TR で複数の phase encode を収集することと同等であり、その結果、総撮像時間は短縮することになる。一方で、BPE の最大の欠点は、しばしば画像の信号雑音比 (SNR) が低下することである。特に、高い reduction factor (以下、R) を用いた場合 (即ち、一回の TR で収集する phase encode 数を増やした場合) は、ノイズレベルの上昇が顕

著である。BPE にしばしばみられる SNR の低下というこの弱点も、仮想データの概念を適用することにより、克服できるのではないかと考え、実験を行った。

Spiral imaging の頁で述べた Eq.1, Eq.2 は BPE においても同様である。BPE では軌道同士の間が広く、仮想データによって、この隙間を埋めていくということになる。

図 2 は、再構成された phantom 画像である。(a)は、R=3 のとき、収集したデータのみを用い再構成した画像、(b)は、R=3 のとき、収集したデータと仮想データを両方用い再構成した画像、(c)は、R=4 のとき、収集したデータのみを用い再構成した画像、(d)は、R=4 のとき、収集したデータと仮想データを両方用い再構成した画像である。(a),(c)では、BPE 特有のノイズの増幅が見られ、特に (c) では撮像視野全体で顕著なノイズが見られる。(b),(d)では、それぞれ(a),(c)より SNR が大きく改善している。しかしその一方で、(b),(d)いずれも aliasing artifact のような artifacts が出現している。特に、(d)ではこの artifacts が目立ち、画質を劣化させている。

図 2(b),(d) で見られた aliasing artifacts のような artifact は、spiral imaging のときと同様、完全に正確な画像の phase を用いて再構成した場合でも残存し、明らかな artifacts の減少を確認することができなかった。Spiral imaging の場合と同様、この artifacts がなぜ残るのか未だに原因は判明していない。仮想データの概念は、BPE にも適用できると考えられるものの、SNR の上昇と同時に別の artifacts が出現することから、この点が解明、克服できない限り、結果を学会や論文誌等で発表することは困難だと判断した。今後も努力を続けていく所存である。

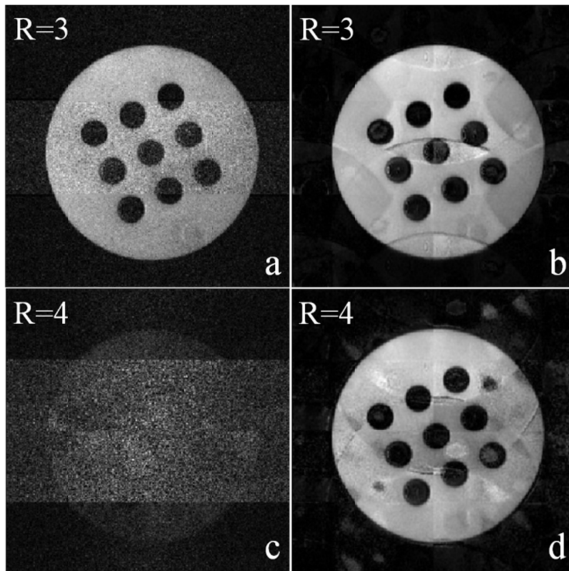


図 2. BPE の phantom 画像

(3) IDEAL 法

MRI では脂肪の信号と脂肪以外の組織の信号（これを通常、水の信号と呼ぶ）に分離することがよく行われる。脂肪信号を除いた画像は脂肪抑制画像と呼ばれ、臨床的には腫瘍や炎症の診断によく用いられる。水と脂肪の信号を分離する方法としては、Dixon 法が長年使われていたが、近年は Dixon 法から進化した IDEAL 法がよく用いられるようになった。Dixon 法、IDEAL 法ともにエコー時間 (TE) の異なる複数の画像を使用する。ただし、Dixon 法では TE に制約があるのに対し、IDEAL 法では自由な TE を設定できる、という利点がある。このことから TE を大きく変えられないようなマルチエコー法などの場合でも複数の画像を TE を少しずつ変えて複数の画像を撮像し、水と脂肪の信号を分離することができる。

IDEAL 法では、自由な TE を設定できる代わりに、それらの TE を大きく変えられない場合に分離された水画像、脂肪画像ともにしばしば SNR が低くなる。これを仮想データの問題を用いることにより、SNR の改善させることができるのではないかと考え、実験を行った。

図 3 は 0.2Tesla の MRI 装置で撮影した 3 枚の画像 (TE=15.3ms, 18.3ms, 21.3ms) から IDEAL 法で再構成した水画像である。MRI の磁場強度が低いことと、使用された 3 つの TE に大きな差がないことから、ノイズが目立つ。

図 4 は、図 3 とまったく同じデータを使っているが仮想データの問題を適用して再構

成した水画像である。図 3 と比較すると、いずれも SNR が顕著に改善し、新たな artifacts の出現は見られない。

IDEAL 法では設定した TE が互いに近い場合、SNR が低下することはよく知られており、理論的にもその原因は解明されている。実際のデータに加え、仮想データを使うことにより水と脂肪の信号に分離する際に利用できるデータが見かけ上増え、信号の分離が安定して行えることが SNR の向上につながったと考えられる。本研究者が知り得る限り、この結果は特筆すべきものであり、学会や論文誌など外部に発信できると考えられる。ただし、この IDEAL 法に仮想データを適用した実験は、ごく最近になって着想し、結果を得たものである。理論的に充分検証することを考えるとまだ時間が必要であり、本研究期間が終了するまでに発表することはできなかった。今後、理論的にどの程度 SNR の上昇がみられるのか、また、TE の設定の仕方によっては仮想データの問題を用いても SNR が上昇しない場合があるのか、などを含め、理論的な側面を追究していきたいと考えている。

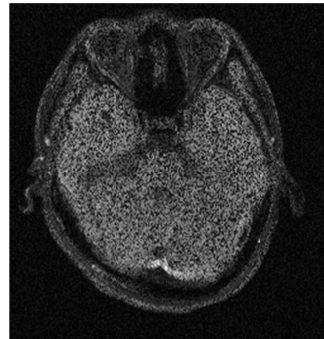


図 3. IDEAL 法の頭部画像



図 4. 仮想データを用いた IDEAL 法の頭部画像

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 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔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 なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

森口 央基 (Moriguchi, Hisamoto)

駒澤大学・医療健康科学部・教授

研究者番号: 70296705

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号:

(4)研究協力者

()