

令和元年6月12日現在

機関番号：30108

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K08695

研究課題名（和文）拡散MRIにおける新たな画像ベースの幾何学的歪み補正手法の開発

研究課題名（英文）Development of a novel image-based correction method for geometric distortion in diffusion MRI

研究代表者

熊澤 誠志（Kumazawa, Seiji）

北海道科学大学・保健医療学部・教授

研究者番号：50363354

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、拡散MRI画像における新たな画像歪み補正手法を開発することを目的とした。拡散MRIが最も応用されている頭部領域を対象として、新たな画像ベースの被写体内の磁場不均一分布推定手法の開発および磁場分布とMR信号生成過程に基づいた信号推定手法の開発を行った。本手法により、これまで画像歪みのため描出困難であった領域の組織構造情報の抽出や解析が可能となることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで拡散MRIでは、歪んだ領域での組織構造情報の抽出や疾患評価が困難であった。本研究において開発した手法により拡散MRI画像に対し歪み補正を行い、これまで歪みのため十分な解析がなされていない領域での組織構造情報の解析が可能となり、アルツハイマー病などの神経疾患評価への応用・新たな知見の獲得が期待できる。

研究成果の概要（英文）：We have developed an image-based correction method for distorted diffusion weighted MR images. Our method was the iterative-method to estimate an undistorted image and its associated field inhomogeneity map from the distorted EPI image using T1 weighted image. Our results demonstrate that our proposed method was able to perform a reasonable estimation of the field inhomogeneity map and undistorted EPI image.

研究分野：医用画像処理

キーワード：拡散MRI Echo planar imaging 画像歪み補正

1. 研究開始当初の背景

一般的に拡散 Magnetic Resonance Imaging (MRI) では、超高速撮像法である Echo planar imaging (EPI) 法を用いて撮像されている。EPI 法により撮像された画像では、被写体内の磁場不均一によって幾何学的な歪みが生じる。被写体内の磁場不均一は、磁化率が異なる空気と組織境界付近で顕著であるため、頭部においては副鼻腔周辺で画像歪みが生じる。拡散 MRI においてこの画像歪みは、T1 強調画像などの形態画像とレジストレーションする際にミスレジストレーションの原因となる。また副鼻腔周辺では歪みにより組織構造情報の描出が困難となり、疾患評価が困難となっている。

画像歪み補正に関する先行研究としては、フィールドマップに基づいた手法と、非剛体レジストレーション法に大別できる。通常拡散 MRI は空間分解能が低いため、高解像度 T1 強調画像などの形態画像も撮像するが、フィールドマップに基づいた手法では、これらの他にさらにフィールドマップ取得のための撮像が必要となり、被験者の動きによる拡散 MRI とフィールドマップ撮像間の位置ずれが問題となる。一方、非剛体レジストレーションでは、拡散 MR 画像を T1 強調画像などの形態画像空間へマッピングすることで、位置ずれの問題を回避できるが、非剛体変形パラメータ数が多いことや、補正精度が変形の制約条件に依存するといった問題がある。

EPI 法で生じる画像歪みに関する先行研究の多くは、フィールドマップに基づいた手法である。上述した被験者の動きによる拡散 MRI とフィールドマップ撮像間の位置ずれを低減するために、拡散 MRI 撮像時のフィールドマップを推定する手法が提案されている。また 2014 年 5 月に開催された International Society for Magnetic Resonance in Medicine (国際磁気共鳴医学会) では、フィールドマップ法とレジストレーション法を組み合わせた手法、EPI 法による撮像時における point spread function (PSF) を収集・算出し、得られた PSF に基づいて補正する手法が報告されているが、いずれも追加撮像して得た情報に基づいて補正を行っている。

本研究において、フィールドマップや PSF 取得のための追加撮像をしない画像歪み補正手法を開発することは、臨床応用を考える上では、先行手法と比べ患者撮像時間が短く済むというメリットがある。また過去に撮像したフィールドマップ情報の無いデータに対しても補正可能となる。

2. 研究の目的

上述したように先行研究では、フィールドマップ取得のための追加撮像や、非剛体変形の制約条件などの問題がある。したがって本研究では、拡散 MRI 画像における画像ベースの歪み補正手法を開発する。拡散 MRI が最も応用されている頭部領域を対象として、新たな画像ベースの被写体内の磁場不均一分布推定手法の開発および磁場分布と MR 信号生成過程に基づいた信号推定手法の開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 新たな画像ベースの被写体内の磁場不均一分布推定手法の開発

提案手法は、脳領域抽出された T1 強調画像に基づいて、シングルショット EPI の k 空間信号充填をシミュレートすることで EPI 画像を生成し、この画像生成過程を通して、被写体内の磁場不均一分布を推定する。値が 0 すなわち磁場不均一の無い状態を初期値とした磁場不均一分布のマップを用いて、領域抽出された T1 強調画像の各ボクセルで MR 信号をシミュレートし、EPI 信号充填軌跡に従って k 空間に信号充填し、画像を生成する。このシミュレートした EPI 画像と実測 EPI 画像の平均二乗誤差と正則化項からなる評価関数を最小とするように、共役勾配法を用いて反復的に推定する (図 1)。

本研究では、提案手法の推定精度を検証するために、Susceptibility voxel convolution 法を用いて、実際の T1 強調画像からフィールドマップを算出し、これをゴールドスタンダードとした。このフィールドマップに基づいて生成したシミュレーション EPI 画像に対し、提案手法を適用し、推定精度の評価を行った。

(2) 磁場分布と MR 信号生成過程に基づいた信号推定手法の開発

本手法は被写体内の磁場不均一分布とシングルショット EPI での k 空間信号充填に基づいた MR 信号の式を用いて、歪みの無い EPI 画像での信号分布の推定を行う。T1 強調画像から生成した信号分布を初期値とし、幾何学的歪みを伴う実測 EPI 画像と一致するように画像を歪ませ、合成 EPI 画像と実測 EPI 画像の平均二乗誤差と正則化項からなる評価関数を最小とするように、共役勾配法を用いて反復的に推定する。

本研究では、1.5T の MRI 装置にて撮像された健常ボランティアの T1 強調画像と EPI 画像に提案手法を適用し、推定精度の評価を行った。

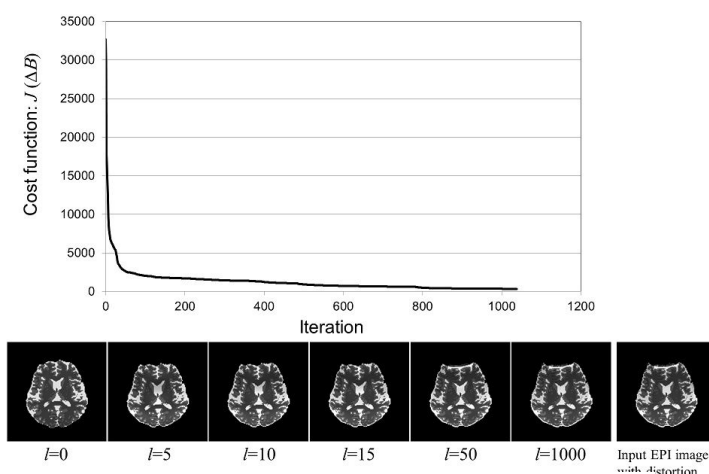


図 1 提案手法における歪み EPI 画像の推定

4. 研究成果

(1) 新たな画像ベースの被写体内の磁場不均一分布推定手法の開発

本研究では、図 1 に示すように EPI 画像の生成過程を通して、反復的に被写体内の磁場不均一分布を推定する手法を開発した。Susceptibility voxel convolution 法を用いて、実際の T1 強調画像からフィールドマップを算出し、これをゴールドスタンダードとし(図 2 (a), (d)), 提案手法と比較した。提案手法の推定結果は図 2 (b), (e) で、ゴールドスタンダードとの差分画像は図 2 (c), (f) であり、正規化二乗平均平方根誤差はそれぞれ 0.075, 0.066 であった。図 2 (a), (d) の矢印で示す不均一の大きな領域でも提案手法では良好に推定できている。これらの結果から提案手法が被写体内の磁場不均一分布の推定において有用であることを示した。

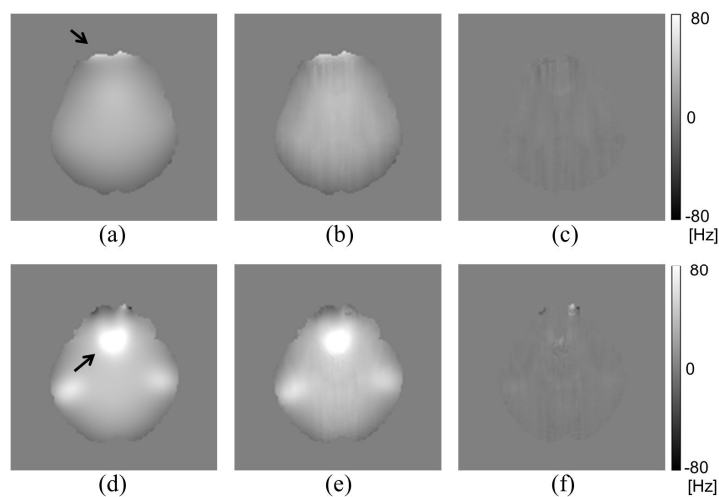


図 2 提案手法による磁場不均一分布の推定結果

(2) 磁場分布と MR 信号生成過程に基づいた信号推定手法の開発

本研究では、磁場不均一分布とシングルショット EPI での k 空間信号充填に基づいた MR 信号の式を用いて、歪の無い EPI 画像での信号分布を推定する手法を開発した。図 3 (a) に示す T1 強調画像と図 3 (d) に示す推定磁場不均一分布を用いて、図 3 (b) に示す幾何学的歪みを伴う実測 EPI 画像に対して提案手法を適用し、歪の無い EPI 画像での信号分布の推定を行った。図 3 (c) に示すように、提案手法を適用することで前頭部の歪みが補正された。

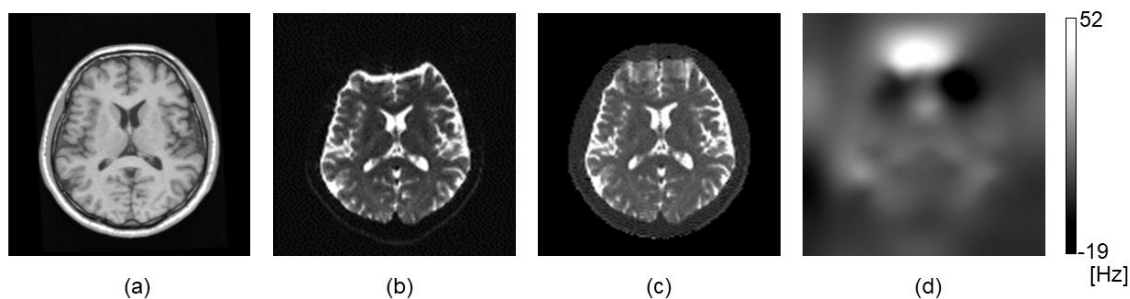


図3 提案手法による歪補正結果

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Kumazawa S, Yoshiura T, Honda H, Image-based estimation method for field inhomogeneity in brain echo-planar images with geometric distortion using k-space textures, Concepts in Magnetic Resonance Part B, 査読有, Vol. 45, No. 3, 2015, 142-152.

〔学会発表〕(計3件)

Kumazawa S, Yoshiura T, Tanikawa T, et al., An image-based method for undistorted image estimation from distorted brain EPI image with field inhomogeneity, Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 26, 2018.06.18. Paris, France.

Kumazawa S, Yoshiura T, Kikuchi A, et al., An improved image-based method for field inhomogeneity map in distorted brain EPI image, Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 25, 2017.04.24. Honolulu, HI, USA.

Kumazawa S, Yoshiura T, Kikuchi A, et al., Image-based estimation of point spread function in distorted EPI images, Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 24, 2016.05.10. Singapore.

〔図書〕(計1件)

熊澤誠志 (分担執筆) 他, 新・医用放射線科学講座 医用画像情報工学, 医歯薬出版株式会社, 36-39, 2018.02.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 吉浦 敬

ローマ字氏名: (YOSHIURA, takashi)

所属研究機関名: 鹿児島大学

部局名: 大学院医歯学総合研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 40322747

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。