

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24591747

研究課題名(和文) 圧縮センシングによるMR高速撮像：実用化のための問題点探索と施策開発

研究課題名(英文) Compressed sensing MR fast imaging: The clarification of image quality problems for practical use and development of evaluation methods

研究代表者

町田 好男 (Machida, Yoshio)

東北大学・医学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30507083

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)：圧縮センシングMRIとは、情報技術を用いて少ない計測データから画像を取得する新しいMR高速撮像法である。技術開発が進展する中、臨床応用の立場から見た画像の得失を見極めることが重要であり、適切な画質評価指標が求められている。今回種々の条件で画質評価実験を進めた結果、個々のアプリケーション固有の評価も重要であることが分かった。本研究では特に、临床上重要なMR血管描出法(MRアンギオ)について、脳血管を模擬した数値モデルを用いて血管描出能の再構成およびノイズ条件依存性を半定量的に評価する方法を提案した。

研究成果の概要(英文)：As an acceleration technique for use with MRI, compressed sensing MRI (CS-MRI) was introduced recently to obtain MR images from undersampled data. Image formation procedure based on informatics theory have complicated characteristics. Therefore, the factors affecting image quality in CS-MRI must be elucidated from the point of view of clinical application. In this study, we specifically examined the image quality of MR angiography. For MR angiography, the depictability of thin blood vessels is extremely important, but quantitative evaluation of thin blood vessel depictability is difficult. We proposed a numerical evaluation method using a simple numerical phantom model mimicking the cerebral arteries.

研究分野：磁気共鳴イメージング

キーワード：compressed sensing MRI fast imaging image quality evaluation

1. 研究開始当初の背景

磁気共鳴イメージング (MRI) には、多彩な情報を非侵襲的に得ることができるという特長がある。撮影方法の自由度が高く、その工夫により所望の情報を強調して取得できる利点を持つ。その一方で撮影時間が長いことが大きな欠点となっており、これまでもパルスシーケンスのさまざまな改良やパラレルイメージング (PI) の導入などにより高速化の努力が続けられてきた。しかしながら、さらに新しい情報を引き出し、それを新しいアプリケーションとして実用化に結び付けるためには、より一層の高速化が求められている。

近年、情報科学の分野において、計測数ができるだけ減らして対象を復元する新しい一般的な手法である圧縮センシング (Compressed Sensing : CS) が提案された。上述のように MRI はデータ収集の自由度が高いため、この新しい高速化手法の非常によい適用となった。この CS-MRI は、本研究開発当初には、既に国際磁気共鳴学会 (ISMRM) 等で、多くの基礎研究成果が報告されている状況にあり、この新しい手法を実際の臨床現場に結び付け活用していく段階に入りつつあったものの画質に関する判断指標は整備されておらず、適確な画像診断に向けて何らかの対応が求められる状況にあった。

研究代表者らは、企業の MRI および CT 開発研究グループにあって、技術開発に直接携わってきた経験を持ち、現在も、MRI や X 線 CT の画質評価の研究を行っている。また、臨床応用技術の研究もあわせて行っている。こうした経験を生かし、CS による高速 MRI の実用化に際して、特に画質評価の立場から貢献をしたいと考えた。

CS-MRI には、収集空間でのサブサンプリングやスパース変換の最適化、反復演算の高速化など、多くのチャレンジングな技術課題がある。それぞれの立場での極めて専門的な多くの研究発表が行われているが、こうした新しい技術を現場に導入する際には、難解な理論/技術の情報を実際の画像診断に結びつけた形で整理し、画質のキーポイントを見出し、これを共有することが重要であると考えた。

2. 研究の目的

以上のような背景のもと、本研究は、圧縮センシングによる高速 MR 撮像法 (CS-MRI) を臨床現場の画像診断に結び付けることを上位の目的とし、画像化理論/基礎技術と臨床応用/画質評価 (すなわち作る側と使う側) の両者をつなぐ要点を探索・整理することを目的とした。

具体的には、圧縮センシング技術が MRI 画質に与える影響のポイントを示す画質評

価の指標を提案することとした。

3. 研究の方法

研究全体は、計算機上での画像再構成実験を中心に進めた。

初年度は、研究用の PC を導入し、基本的な CS 再構成ツールの整備を進めた。この計算機上のツールを用いて、CS 画像の画質の確認、画質評価法についての検討と進め、その結果をもとに、複数の画像種を対象に画像再構成条件を変えながら、画質への影響を確認した。この結果に基づいて、最終的な画質評価の研究について具体的な方針をたてた。

以下、検討方法を 3 つに大別して示す；

(1) CS 基本画質の確認

CS 再構成画像および対比のための従来再構成画像を以下のような条件を変えながら作成した。スパース変換としては主に Wavelet 変換と Identity 変換とした。画像生成パラメータが多数あるため、それらについても比較検討した。

実機で撮影したファントム、計算機上で作成したファントム、および頭部の MR アンジオグラフィ (MRA) 画像や T1/T2 強調等、種々の画像を検討対象とした。

(2) 画質評価法の検討

得られた画像に対する一般的あるいは標準的な画質評価法としては、次の 2 つのアプローチがある；

- ・医用放射線技術学分野で用いられることの多い、MTF (変調伝達関数)、NPS (ノイズパワースペクトラム) 等を用いたアプローチ。これらは線形系のモデルに基づいて算出する指標である。

- ・より工学的な指標である、PSNR (ピーク SNR) や SSIM (構造類似度) 等を用いたアプローチ。結果画像と元画像 (正解画像) との違いを評価した指標である。

CS 再構成された画像は非線形処理画像でもある。両者についての評価を試行した。

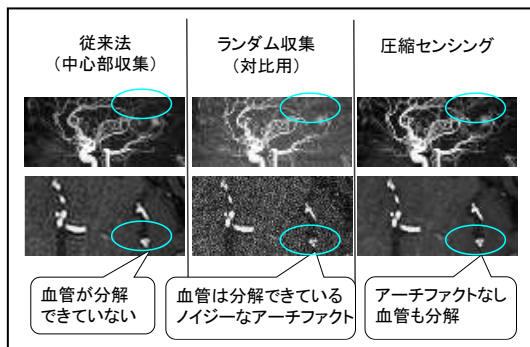
(3) 画質評価手法の提案

後述のように、上述の手法だけでは、CS 画像の評価や理解のためには不十分と思われる。そこで、一般性を持つ指標だけを狙うのではなく、特定のアプリケーションを念頭に、計算機上でシンプルな数値モデルを構築し処理結果を評価することを試みることにした。具体的には、脳血管を模擬した数値ファントムを作成し血管描出能やアーチファクトの比較を行った。また、血管を想定した部分の信号値を直接測定、数値化し、描出能の定量的把握を試みた。

4. 研究成果

(1) CS 基本画質の確認

種々条件を変えた画像を得て、主に視認による画質評価を行った。図は、MRA の代表例である。これまで報告されているように、少数データから再構成した CS 画像において、血管描出能がかなり保たれていること等が確認できた。

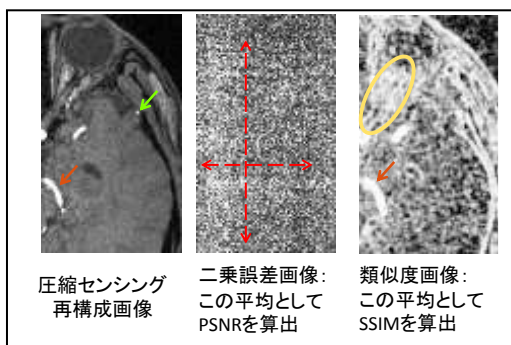


頭部 MRA 像の比較検討例

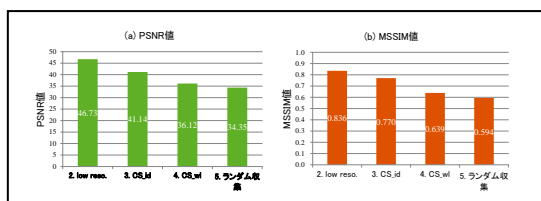
しかしながら、T2 強調画像では違いの分りにくい例も多いなど、評価の難しさを再認識した。

(2) 画質評価法の検討

ここでは、PSNR と SSIM を用いた比較検討の例を示す。図の中央と右は、圧縮センシング再構成処理画像とその元画像から算出した二乗平均誤差と類似度の分布からなる画像である。グラフは、その平均値として求めた PSNR と SSIM について比較検討した結果を示したものである。



二乗平均誤差と類似度の分布画像



PSNR と SSIM の比較検討例

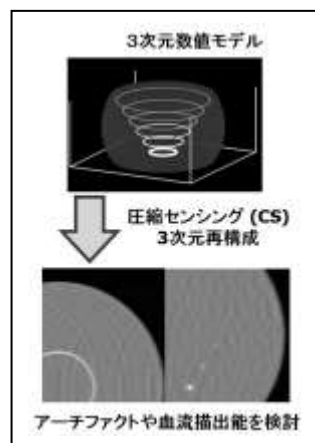
ここに示した指標は、画像からも分かるように考え方の全く異なる指標であるが平均値では同じようになった。このような数値化は、やはり手法の技術開発における評価用と

して有用性の高いもので、臨床に向けて画質を考える立場からは、適切なものとはいがたく、何らかの工夫が必要であると考えられた。

例えば MRA であれば、臨床に向けて重要になる情報は細血管の描出能である。そこで、あまり一般的な指標を求めるよりは、適用範囲は限定的であっても、特定の臨床目的に沿った指標の検討をすることも意味があるのではないかと考えるに至った。

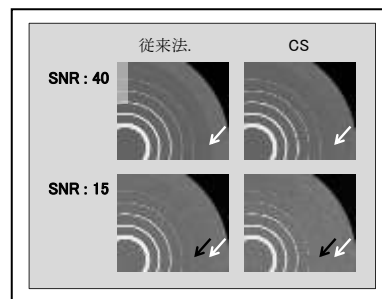
(3) 画質評価手法の提案

使用した数値モデルを図に示す。脳血管を模擬した太さの異なる複数のリング状ファントムの再構成を行い、得られた画像の視覚的な評価を行った。



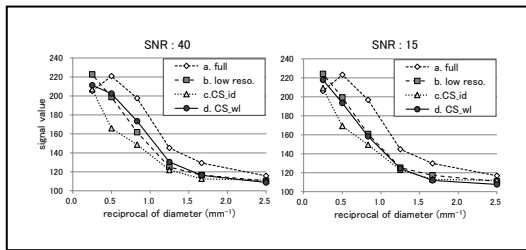
血管を模擬した数値モデル

下図は従来再構成および CS 再構成画像から作成した MIP (最大値投影) 像の代表例である。数値ファントムであるため、画像の SNR (信号対雑音比) も自由に設定して検討できる利点もある。血管描出能の細かな違いが評価できた。



MIP (最大値投影) 像の比較検討例

また、血管の画素値 (血管信号値) を計測した半定量的な評価も行った。下図は計測値をグラフ化したものである。理解しやすいように横軸を従来の MTF に合わせた次元として表示してある。



血管信号値の比較検討例

特殊な幾何学的形状の数値ファントムによる結果であるが、血管描出能の微妙な違いを示すことができ、また、画質をある程度定量的に把握できるようになったと考えられた。

以上のように、最終年度にかけては、血管モデルの信号値を直接数値評価するシミュレーション実験に注力し、血管描出能のCS再構成条件依存性やノイズの影響についての知見を得た。得られた結果は、2014/11にシカゴで開催された北米放射線学会(RSNA)にて報告し、Certificate of Meritを受賞した(5. 主な論文発表等の〔学会発表〕3)。ターゲットを絞った評価方法ではあるが、CS-MRIの理解のための手法として、学会でも評価される提案ができたものと考えている。なお、同内容は2015/3に日本放射線技術学会に論文投稿済みで、現在査読中である。

より一般的な評価指標についての検討は、今後もさらに継続する予定である。

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 3 件)

1) Ichinoseki Y, Miyamoto K, Nagasaka T, Tamura H, Mori I, Machida Y, Noise Power Spectrum in PROPELLER MR Imaging, *Magnetic Resonance in Medical Sciences*, publish online 2015/3/31 (E-pub ahead of print by J-STAGE doi: 10.2463/mrms.2014-0071)、査読有り

2) 町田好男, 齋藤俊輝、圧縮センシング(CS)MR イメージング—情報技術による新しい高速撮像—、INNERVISION, Vol. 28, No. 9, p. 2-4, 2013/09、査読なし

3) 町田好男, 森一生、MRI 高速撮像の進展～画像化の原理から圧縮センシングまで～、医用画像情報学会雑誌、Vol. 30, No. 1, p. 7-11, 2013/03、査読なし

〔学会発表〕(計 15 件)

1) 町田好男、MR イメージング手法の動向、(第 71 回日本放射線技術学会総合学術大会でのシンポジウムでの講演)、日本放射線技術学会第 71 回総会学術大会予稿集, p. 86, 2015/4/17、横浜 (パシフィコ横浜)

2) 町田好男、圧縮センシングによる MR 高速撮像、(第 5 回「MRI を究める学術集会：信州 MRI・技術と臨床」での特別講演)、2015/3/7、松本 (信州大学)

3) Saito T, Ichinoseki Y, Miyamoto K, Nagasaka T, Machida Y, Evaluating image quality of compressed sensing MRI aiming at clinical applications, 100th RSNA, PHE024-b, 2014/11/30-12/5, Chicago, USA

4) 町田好男、圧縮センシングによる MR 高速撮像、(第 42 回日本磁気共鳴医学会大会での教育講演)、日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 34-S, p. 138, 2014, 2014/9/19、京都 (ホテルグランヴィア京都)

5) 宮本宏太、一関雄輝、齋藤俊樹、永坂竜男、森一生、町田好男、NPS による適応型フィルタの効果の評価—頭部画像での検討、日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 34-S, p. 370 (P-2-115), 2014 (第 42 回日本磁気共鳴医学会大会, 2014/09/18-20)、京都 (ホテルグランヴィア京都)

6) 齋藤俊樹、一関雄輝、宮本宏太、永坂竜男、町田好男、圧縮センシング差分 MR アンジオグラフィーの画質に関する検討、日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 34-S, p. 265 (O-2-237), 2014 (第 42 回日本磁気共鳴医学会大会, 2014/09/18-20)、京都 (ホテルグランヴィア京都)

7) 齋藤俊樹、町田好男、圧縮センシング技術による短時間撮像、(第 12 回東北MR技術研究会での講演)、2014/7/12、秋田 (にぎわい交流館 AU)

8) 齋藤俊輝、一関雄輝、永坂竜男、町田好男、圧縮センシングを用いた差分 MR アンジオグラフィーの初期検討、日本放射線技術学会第 70 回総会学術大会予稿集, p. 159, 2014/4/10-13、横浜 (パシフィコ横浜)

9) 齋藤俊輝、一関雄輝、宮本宏太、山口英俊、瀬藤純一、永坂竜男、町田好男、圧縮センシング MRI の画質評価指標の検討、第 48 回宮城 MR 技術研究会、2014/02/08、仙台 (ガーデンシティ仙台勾当台)

10) 齋藤俊輝、一関雄輝、宮本宏太、町田好

男、圧縮センシング MR 画像の画質特性に関する初期検討、第 3 回東北放射線医療技術学会大会予稿集、p.64、2013/11/3、福島（コラッセふくしま）

11) 齋藤俊輝、一関雄輝、町田好男、圧縮センシング MR 画像の画質特性に影響する要因の検討、日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 33-S, p.195 (0-1-046), 2013 (第 41 回日本磁気共鳴医学会大会, 2013/09/19-21)、徳島（アスティとくしま）

12) 齋藤俊輝、一関雄輝、町田好男、圧縮センシング MR 画像の画質に関する初期検討、日本放射線技術学会第 69 回総会学術大会予稿集、p.197, 2013/4/11-14、横浜（パシフィコ横浜）

13) Ichinoseki Y, Machida Y, Nagasaka T, Tamura H, Mori I, Noise Power Spectra in Current MRI Techniques, 98th RSNA, LL-PHE2748, 2012/11/25-30, Chicago, USA

14) 町田好男、MRI 高速撮像の進展 ～画像化の原理から圧縮センシングまで～、第 164 回画像情報学会大会での招待講演、2012/10/13、仙台（東北大学）

15) 町田好男、Compressed Sensing と高速 MRI、第 24 回 磁気共鳴代謝研究会での特別講演、2012/09/30、京都（メルパルク京都）

〔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：
出願年月日：
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

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

(2) 研究分担者

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

田村 元 (TAMURA HAJIME)
東北大学・大学院医学系研究科・非常勤講師
研究者番号：20333817

(3) 連携研究者

()

研究者番号：