

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00308

研究課題名(和文) 機械学習によるMRIの撮像時間短縮

研究課題名(英文) Acceleration of Magnetic Resonance Imaging by Machine Learning

研究代表者

川喜田 雅則 (Kawakita, Masanori)

名古屋大学・情報学研究科・協力研究員

研究者番号：90435496

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：MRIの撮影時間を短縮すると情報が不足しMRI画像の画質が劣化する。我々は、劣化した画像から高品質なMRI画像を復元するディープニューラルネットワーク(DNN)を提案した。既存の超解像DNNはそのままではMRI画像を高画質化できない。我々は、これに多重解像度処理を加えることで性能向上を図り、新たなDNNの構造を提案した。九州大学医学部の協力の下、健常者及び脳動脈瘤患者の頭部MRIデータを大量に用いてDNNを長時間学習させた。5倍の高速撮影に相当する低品質画像から本DNNによって復元した画像は高い信号対雑音比を示した。医師による読影評価を受け、良好な画質評価を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MRI撮影では患者は30分から1時間程度MRI装置の中で静止する必要があり精神的肉体的負担がかかる。また医療現場にかかる時間的負荷も大きく、MRI撮影の高速化が求められている。我々は、深層学習によるMRI高速化の研究にいち早く着手した。我々の提案したDNNは十分な画質を保ちつつ、約5倍の高速撮影が可能である。本手法は特許出願済みであり、企業ライセンスを目指している。深層学習は、MRIの高速化のみならず、画像から病変を検出する医療診断支援の実用化が期待されている。本研究によって得られた成果と知見は、我々が現在研究している病変検出に役立っている。

研究成果の概要(英文)：Shortening the shooting time of Magnetic Resonance Imaging (MRI) causes the deterioration of MRI image quality since only less information can be observed. We proposed a new deep neural network (DNN) in order to restore the image quality of the deteriorated image. The existing DNN for super-resolution is insufficient for restoring the image quality of the MRI images. We developed a new model of DNN by introducing the idea of multi-resolution. We prepared a lot of Brain MRI images of healthy persons and cerebral aneurysm patients. The proposed DNN was trained by using these data for a sufficiently long time. For the MRI images taken at 5x speed, the proposed DNN showed high performance in terms of the peak signal to noise ratio. The restored image attained good evaluation result of medical doctor's interpretation.

研究分野：機械学習，統計科学，情報理論

キーワード：MRI 深層学習 多重解像度 ディープニューラルネットワーク 脳動脈瘤

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在 MRI 検査では撮影のため長時間身狭く大音量の空間の中で静止していなければならない。そのため患者に精神的肉体的負担がかかる。また医療現場にかける時間的負担も大きい。そのため MRI の検査時間の短縮化は大きな社会的ニーズがある。

数理的的手法による MRI の高速化では一般に次のような考え方で短縮化が研究されている。まず MRI の撮影時間を短縮すると、観測される情報 (MRI では周波数成分) が欠落するため、短縮しなかったときの MRI 画像 (ターゲット MRI 画像と呼ぶ) と比べて画質が劣化する。次にこの画質の劣化を数理的的手法によって改善し、可能な限りターゲット MRI 画像に近づけることを試みる。故に MRI の総検査時間は撮影時間と (画質復元のための) 情報処理時間の合計となる。

従来の研究では上記の数理的的手法として圧縮センシングが用いられていた。しかし圧縮センシングを用いると一般に情報処理時間が長くなる。結果として確かに撮影時間は短縮化され患者の負担は減るものの、総検査時間は逆に普通の MRI 検査より長くなるため、医療現場にかかる時間的負担や患者の待ち時間は減らすことができなかった。

一方でこれらの流れとは独立に、超解像という研究分野がある。これは低解像度の画像の画質を数理的的手法で向上させるための研究である。超解像においても、従来は数理的的手法として圧縮センシングが用いられていた。しかし本課題の開始当初、Dong らによって機械学習 (人工知能) で流行しているディープニューラルネットワーク (DNN) を超解像に適用すると性能 (画質) が向上し、かつ情報処理時間が非常に短縮化することが報告された。我々は超解像と MRI 画像の画質復元は本質的に類似した構造があることに着目し、ディープニューラルネットワークを用いることで MRI 画像の復元精度を向上させ、かつ総検査時間も短縮できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は高速撮影された MRI 画像の画質を DNN によって向上させること、さらにその性能を九州大学医学部より提供される健常者及び脳動脈瘤患者の頭部 MRI 画像に適用し、医師による画質評価によりその性能を確認することである。

3. 研究の方法

本研究は大きく 2 つのステップで行われる。

(1) 適切なディープニューラルネットワークモデルの決定

深層学習がその性能を発揮するためには、大量の学習データを準備すること、DNN の適切なネットワーク構造及びハイパーパラメータを決めることが重要である。データは九州大学医学部より提供される健常者 200 名、動脈瘤患者 100 名の頭部 3DMRA (磁気共鳴血管) 画像を用いた。各患者の 3D 画像は 170 枚程度の二次元断面画像 (ここではスライスと呼ぶ) の集まりで構成されている。MRI では直接観測されるのは各スライスの二次元フーリエ変換画像であり、それを逆フーリエ変換して所望のスライス画像を得る。よって撮影時間を短縮することはスライスのフーリエ変換 (周波数成分) の一部が欠落 (観測されない) することを意味する。指定された周波数成分のみを観測することはアンダーサンプリングと呼ばれ、現在様々なパターンが提案されている。欠落した周波数成分を 0 とみなして逆フーリエ変換を行うと劣化した MRI 画像が得られる。この劣化画像が深層学習への入力となる。各入力画像に対し、劣化していないターゲット MRI 画像を教師情報として用意し、それらのペアを集めたものを訓練データとして深層学習に与える。DNN のネットワーク構造は Dong らの深層学習超解像の構造を参考に検討した。ただし最適な DNN のネットワーク構造はアンダーサンプリングのサンプリングパターンに依存するため、様々なアンダーサンプリングとネットワーク構造 (及びハイパーパラメータ) の組み合わせを試し最適な組み合わせを探索した。

(2) 提案法により復元された画質の医学的評価

ステップ (1) で決定されたアンダーサンプリングパターンと DNN を用いた高速 MRI により、どの程度の画質が得られたのか医学的に評価を行った。医学的評価については九州大学医学部の協力を得て、十分な経験を積んだ医師による読影評価を行った。

健常者 5 名と脳動脈瘤患者 5 名の脳血管 MRA 画像について、読影者 2 名が脳血管 (左右 5 本ずつ (内頸動脈、前大脳動脈、中大脳動脈、後大脳動脈、椎骨動脈) と脳底動脈の合計 11 本) の品質を 1 点から 5 点の 5 段階で評価した。このとき、MRA 画像は順列をランダムに変えて病変が含まれるか分からない条件で読影してもらった。また、5 倍高速撮影に相当する劣化画像からの復元画像と、10 倍高速に相当する撮影劣化画像からの復元画像の 2 種類に対して評価を受けた。高速化率 10 倍の画像では 5 段階中、2 点や 3 点を得る画像があったが、高速化率 5 倍の画像では、すべて 5 点ないし 4 点であり、平均は 4.85 点であった。動脈瘤患者の持つ動脈瘤は 1 つではなく、個人差があるが 2 つから 4 つの病変を持つ。動脈瘤の総数 17 に対し、5 倍高速化の再構成画像では、2 名のうち 1 名の読影者による動脈

瘤の見逃しが2か所あった。もう一人の読影者は、1か所の偽陽性判定（存在しない脳動脈瘤の誤検出）があった。見逃しおよび誤検出の要因の1つとして、今回の実験では計算機環境の都合により、3次元MRA画像を、左右と上下の回転角度10度刻みの固定された角度で読影したことが考えられる。通常、脳動脈瘤の読影では、血管の立体構造を見るため、3次元MRAの任意の角度からの画像が必要である。1回目の読影実験のあと、任意の3次元の角度から見る事が出来る計算機環境を整備したので、現在、2回目の読影実験の準備を進めている。

4. 研究成果

主に以下の成果を得た。

(1) MRIの検査時間短縮のためのDNNモデルの提案

Dongらの超解像を参考にした畳み込みDNNのモデルでは十分な画質を得られなかった。その理由を解析したところ、低周波成分の復元精度が不十分であることがわかった。低周波成分を捉えるため、畳み込みDNNのフィルタサイズを大きくするとDNNのパラメータ数が著しく増加し、深層学習が困難になった。この問題を解決するため多重解像度DNNを提案した。すなわちフィルタサイズを大きくするのではなく、画像を様々なサイズに縮小し、それぞれのサイズごとに画像を復元し、最後にそれらの結果を統合し高解像度画像を得るという仕組みである。これらの全てのステップがDNNによって実現できる。

医療画像診断においては、低周波成分だけでなく高周波成分も高い品質で復元されなくてはならない。PSNR（ピーク信号対雑音比）の低周波数から高周波数までの各成分をバランスよく復元することができるアンダーサンプリングパターンは、総取得数（全画素数/高速化率）のうち半数を低周波数領域から取り、残りをポアソンディスクサンプリングにより取得するサンプリングパターンであった。

(2) 多重解像度DNNによるMRI画像の画質評価

健常者及び脳動脈瘤患者の3DMRA画像の一部をテストデータとして残し、残りをを用いて多重解像度DNNに深層学習を行った。取得率10%及び20%のアンダーサンプリングを行った。これらは、それぞれ10倍及び5倍の高速化率に対応する。残しておいたテストデータも学習用と同じパターンでアンダーサンプリングを行い、劣化画像を取得した。それらを、学習済みのDNNに入力し、復元画像を得た。10%と20%アンダーサンプリングにおいて劣化画像からPSNRが4.6dBと5.0dB向上した。Dongらの深層学習超解像と比べても、2.3dB、1.1dBの改善が見られた。医師による読影結果では、10倍の高速化では満足のいく結果は得られていない。高速化率5倍の20%アンダーサンプリングが望ましい。

本研究の結果得られた多重解像度畳み込みニューラルネットワーク(Multi Resolution Convolutional Neural Network (MRCNN))は特許出願を行った。深層学習を利用した医療診断支援が期待されている。我々のグループでは、現在MRCNNを応用した病変検出法を研究している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 北崎自然, 川喜田雅則, 實松豊, 久原重英, 竹内純一
2. 発表標題 深層学習超解像を用いたMRI再構成の検討
3. 学会等名 情報論的学習理論と機械学習研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北崎自然, 川喜田雅則, 實松豊, 久原重英, 樋渡昭雄, 竹内純一
2. 発表標題 深層学習超解像を用いた磁気共鳴血管画像の復元
3. 学会等名 情報論的学習理論と機械学習研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kitazaki, M. Kawakita, Y. Jitsumatsu, S. Kuhara, A. Hiwatashi and J. Takeuchi
2. 発表標題 Magnetic Resonance Angiography Image Restoration by Super Resolution Based on Deep Learning
3. 学会等名 The European Society for Magnetic Resonance in Medicine and Biology Congress 2019 (ESMRMB2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Sultana, S. Kurosaki, Y. Jitsumatsu, and J. Takeuchi
2. 発表標題 Accuracy of Brain Tumor Detection and Classification Based on Under Sampled k-Space Signals
3. 学会等名 情報論的学習理論と機械学習研究会 (IBISML) (コロナ対策で発表は中止)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 特許権	発明者 竹内純一，實松豊， 川喜田雅則，北崎自 然，久原重英	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-040207	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 国内優先権主張出願	発明者 竹内純一，實松豊， 川喜田雅則，北崎自 然，久原重英	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-025707	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	實松 豊 (Jitsumatsu Yutaka) (60336063)	九州大学・システム情報科学研究院・准教授 (17102)	
研究 分担者	久原 重英 (Kuhara Shigehide) (60781234)	杏林大学・保健学部・教授 (32610)	
連携 研究者	竹内 純一 (Takeuchi Jun'ichi) (80432871)	九州大学・システム情報科学研究院・教授 (17102)	
連携 研究者	樋渡 昭雄 (Akio Hiwatashi) (30444855)	九州大学・医学研究院・准教授 (17102)	