

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K00312

研究課題名（和文）超解像化fMRIに対する教師無し学習を併用した脳情報デコーディングシステムの開発

研究課題名（英文）Brain Decoding for Super-resolution fMRI with unsupervised learning

研究代表者

吉田 真一（Yoshida, Shinichi）

高知工科大学・情報学群・教授

研究者番号：30334519

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：超解像化したMRI画像による脳情報デコーディングのアルゴリズムの開発のため、MRI画像の超解像化手法と、脳情報デコーディングのための機械学習手法の開発を行った。MRI画像の超解像化には、深層ニューラルネットワークの一種の敵対的生成ネットワークを用いたRFB-ESRGANとnESRGANによるものを開発し、3次元MRI画像に対し2次元画像用超解像化モデルを用いることで、性能向上を図った。脳情報デコーディングについては、顔の表情を見たときの脳活動から表情の種類を推定する機械学習と、脳構造画像からBig Five性格テストを行った結果の推定を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3次元MRIデータに対して2次元深層ニューラルネットワークモデルを用いることで、計算コストの削減のみならず、超解像化の精度を向上できたことは学術的な意義があるものであり、3次元データがしばしば使われる医療分野への深層学習の適用をスムーズに進めることが可能になる。同時に、深層でないニューラルネットワークELMの脳画像への適用や、脳構造画像へのCNNの適用でBig Fiveスコアを推定したことは学術的な意義があると考えている。

研究成果の概要（英文）：We developed a super-resolution method for 3-dimensional brain MRI data using convolutional neural network and generative adversarial model. We utilized 2-dimensional RFB-ESRGAN and nESRGAN for 3-dimensional brain data. The originality of our model is using 2-step 2-dimensional model for 3-dimensional data and the result shows that the proposed method achieved the better result compared with those of 3D SRCNN and 3D SRGAN in terms of PSNR, SSIM, and LPIPS. For brain decoding we conducted the two experiment. One is the prediction of visual stimuli of face expression using fMRI brain data with SVM and ELM. The other is the prediction of Big Five score using structural MRI brain data with 3D CNN. The result shows that the accuracy of prediction of face expression 80% and the accuracy of prediction of Big Five score is 70%.

研究分野：人工知能

キーワード：深層ニューラルネットワーク MRI 脳情報デコーディング 超解像アルゴリズム 機械学習 extreme Learning Machine CNN support vector machine

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

神経科学の分野において、脳機能計測データに対して機械学習を適用した脳情報デコーディング(ブレインデコーディング)の研究が拡大していた。特に、脳 fMRI データに対して教師付き機械学習を適用したものは、多くの注目を集めていた。研究代表者らは、BCI(Brain-Computer Interface)や想起型画像検索への工学的応用を目的として fMRI 脳情報デコーディングの開発を行い、2~3 カテゴリの推定に対して 80%程度の推定精度を得られることを示していた。更に、MRI データに対する超解像の研究が進んでおり、特に解像度の低い fMRI 画像への解像度向上への取り組みが進んでいた。本来、fMRI データは、一般に x, y, z の 3次元ボクセルデータが、1 スキャンあたり $64 \times 64 \times 30 \sim 40$ 程度と解像度が低いが、これに対して、それぞれの軸に対し 2 倍程度の解像度向上が研究されていた。しかし、fMRI データは、通常解像度でも 10 万次元のデータとなり、データ取得数の少なさからいわゆる次元の呪いの問題が発生するが、超解像化を行うことで次元の高さの問題が更に顕著となる。そこで、本研究では超解像化した fMRI 画像に対し、教師無し学習である次元削減を行い、脳機能データからの特徴抽出に利用することを考えた。

2. 研究の目的

超解像化された MRI 画像に対する脳情報デコーディングアルゴリズムの開発を行うにあたり、MRI 画像に対する超解像化に対して、様々な取り組みはあるものの、デコーディングを行うために十分なアルゴリズムがまだなかったため、超解像化アルゴリズムの構築を目的とした。特に、超解像化の分野において、GAN (Generative Adversarial Network: 敵対的生成ネットワーク, 2014) を活用した超解像アルゴリズムである SRGAN[2017]が提案されたため、これを用いた MRI 超解像アルゴリズムの開発を行う。これと並行し、MRI 画像からの機械学習によるデコーディング法として、深層ニューラルネットワーク、特に畳み込みニューラルネットワーク CNN の 3次元版である 3DCNN を用いた手法によるアルゴリズム開発を行う。

3. 研究の方法

MRI 超解像アルゴリズムの開発について、SRGAN の発展版である RFB-ESRGAN(receiving field block enhanced super-resolution generative adversarial network)を応用した手法を提案する。SRGAN は、本来 2次元の一般画像を対象にした手法であるが、これを 3次元 MRI 画像に応用するため、新たに、3次元画像を 3方向の角度からスライスした 2次元画像に対して SRGAN を適用し、それらにより得られた断片的な、2次元部分空間での超解像画像を 3次元に再構成することで、3次元超解像 MRI が得られるようにした。この再構成においては、3方向(矢状断面、冠状断面、軸位断面)からの 2次元超解像の組み合わせのみでは、まだ 3次元のボクセルのうち未決定のボクセルが残る。そのため、単純な Bilinear, Bicubic による補間を使ってボクセル値を決定する方法に加え、nESRGAN (noise-based ESRGAN) を第 2段で使用しボクセルを決定する方法を提案した。このアルゴリズムの有効性を検証するために、脳 T1 強調画像を低解像度化したものに対して、提案アルゴリズムと既存の超解像化手法のアルゴリズムを適用し、高解像度化して復元して得られた画像と、元の原画像との差を、PSNR(peak signal-to-noise ratio)、SSIM (structural similarity)、LPIPS (learned perceptual image patch similarity)の指標を用いて比較した(図 1)。その結果、提案手法(図 1 の Ours)は、既存の 3D-SRCNN, 3D-SRGAN、単純な Bicubic 補間法に比べて、PSNR, SSIM, LPIPS とも性能が向上することが示された。

また、脳情報デコーディングアルゴリズムについては、まず、深層学習(ディープラーニング)を使わない従来のシャローな機械学習法を、fMRI 画像に対して行った。最も広く使われるサポートベクトルマシン(SVM)と、ニューラルネットワークベースの手法で精度が見込まれるエクストリームラーニングマシン(ELM)の適用を行なった。この実験では、fMRI 被験者に対し、異なった表情の顔画像(怒り、嫌悪、悲しみ、幸福、喜び、驚き)を視覚刺激として与え、脳画像からこれらのどの表情を見ていたかを推定する。この被験者は 8人(21-22歳、男性 5名、女性 3名)に対して行った。

更に、3次元畳み込み機構を備えた 3DCNN を MRI 画像に適用するにあたり、3DCNN ではデータ数が数千程度必要になることから、大規模データが必要であり、Big Five 性格テストと MRI 構造画像に関する大規模データからの推定アルゴリズムの構築を行った。MRI T1 強調画像を用いて、協調性と誠実性に関する判別を行った。データはそれぞれのクラスで 195 とした。

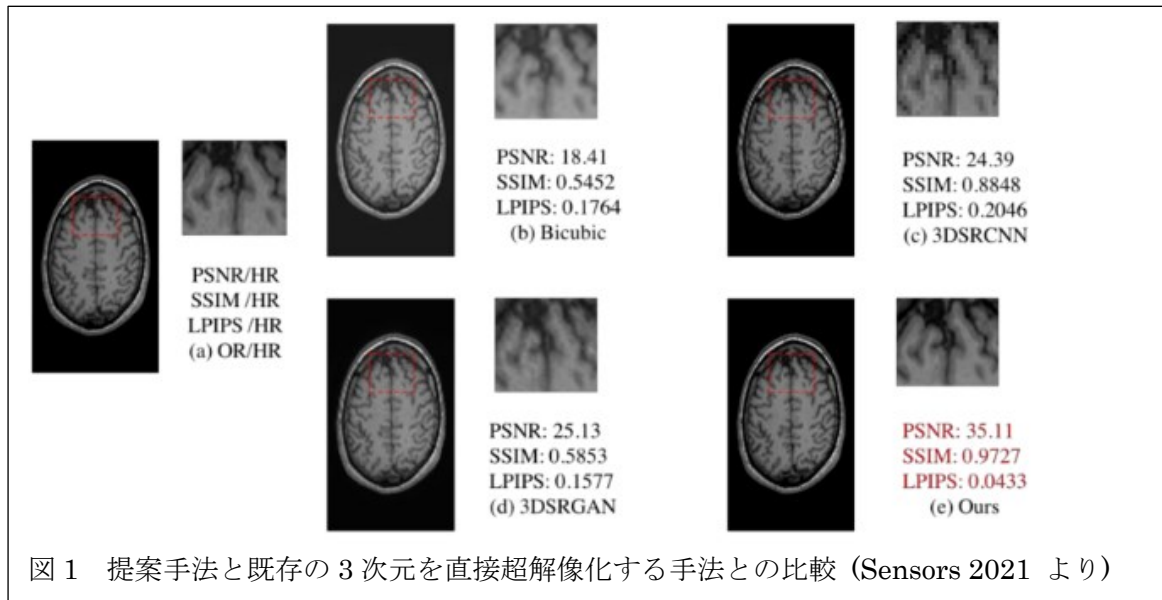


図 1 提案手法と既存の 3 次元を直接超解像化する手法との比較 (Sensors 2021 より)

4. 研究成果

MRI 超解像アルゴリズムとして、3 次元 MRI 画像を 2 次元にスライスし、それらのスライスごとに RFB-ESRGAN を適用した結果、それまでの超解像化手法と比較して提案した手法が最も復元精度が高かった。PSNR は、これまでの 3 次元超解像化手法において 18-25 であるところを、提案手法では 35 となり最も良くなり、SSIM も 0.97 と最も良く、LPIPS は 0.04 と最も良い結果となった。特に、3D の深層ニューラルネットワーク、敵対的生成ネットワークを用いた SRCNN, SRGAN よりも提案手法が良い値になったこととして、3 次元モデルがパラメータが多く、いわゆる次元の呪いの問題からデータ数が十分でないで学習が進まないのに対して、本手法は 2 次元での超解像を行うためパラメータ数を抑えることができたことが、改善できた理由として考えられる。

fMRI 画像からの顔の表情推定については、被験者によっては 80% を超える精度で推定できる場合があることを示した。また、SVM よりも ELM を用いたときの方が推定精度が上がることを示している。

MRI 脳構造画像からの Big Five 性格テストの推定については、T1 強調画像のうち、白質・灰白質を入力として、協調性と誠実性のそれぞれどちらが強いかを判別するモデルを 3D CNN を用いて構築した (図 3)。この結果、学習回数が 70 回のあたりから 70% の正答率となり、ランダムに推定する場合に期待される正答率 50% を超える結果が得られた。

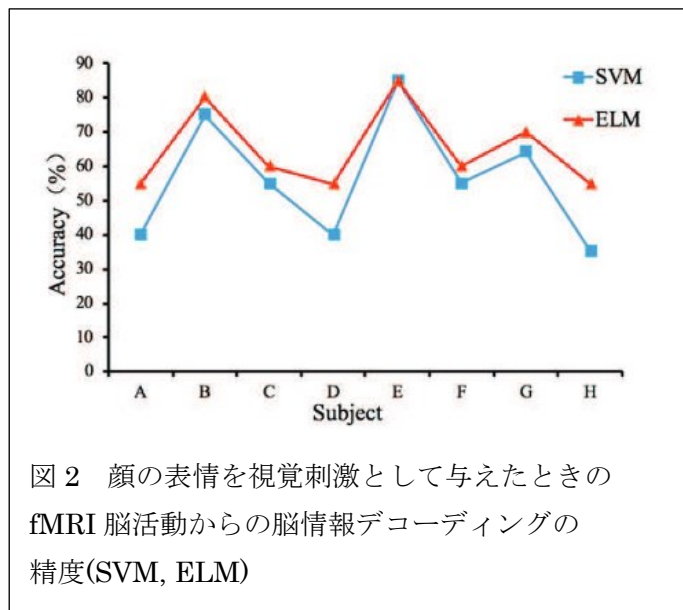


図 2 顔の表情を視覚刺激として与えたときの fMRI 脳活動からの脳情報デコーディングの精度(SVM, ELM)

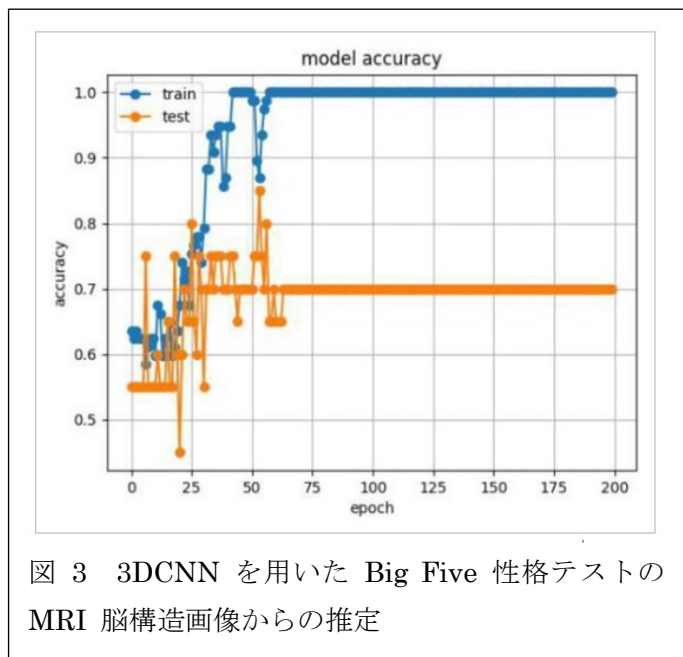


図 3 3DCNN を用いた Big Five 性格テストの MRI 脳構造画像からの推定

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Cao Benchun, Liang Yanchun, Yoshida Shinichi, Guan Renchu	4. 巻 14
2. 論文標題 Facial Expression Decoding based on fMRI Brain Signal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Computers Communications & Control	6. 最初と最後の頁 475 ~ 488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15837/ijccc.2019.4.3433	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhang Hongtao, Shinomiya Yuki, Yoshida Shinichi	4. 巻 21
2. 論文標題 3D MRI Reconstruction Based on 2D Generative Adversarial Network Super-Resolution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 2978 ~ 2978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21092978	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Benchun Cao, Yanchun Liang, Shinichi Yoshida, Renchu Guan	4. 巻 14
2. 論文標題 Facial Expression Decoding based on fMRI Brain Signal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS COMMUNICATIONS & CONTROL	6. 最初と最後の頁 475 ~ 488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 1件/うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Zhang Hongtao; Yuki Shinomiya; Shinichi Yoshida
2. 発表標題 3D Brain MRI Reconstruction based on 2D Super-Resolution Technology
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuichiro Nitta; Yuki Shinomiya; Kaechang Park; Shinichi Yoshida
2. 発表標題 A 3D-CNN Classifier for Gender Discrimination from Diffusion Tensor Imaging of Human Brain
3. 学会等名 2020 Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 21st International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki SHINOMIYA, Rina NAKAYAMA, Shinichi YOSHIDA
2. 発表標題 Time-Series Feature Representation on Brain Decoding from Visual Stimuli
3. 学会等名 The 6th International Workshop on Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hongtao ZHANG, Yuki SHINOMIYA, Shinichi YOSHIDA, Yanchun LIANG
2. 発表標題 Improved Single-Image Super-Resolution for Brain MRI image based on FSRCNN
3. 学会等名 International Workshop on Human-Engaged Computing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦康寛, 佐々木泰一, 四宮友貴, 吉田真一
2. 発表標題 視覚刺激における畳み込みニューラルネットワークを用いた脳活動信号からの感情予測
3. 学会等名 2019 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新田雄一郎, ZHANG Hongtao, 四宮友貴, 吉田真一
2. 発表標題 マルチアングル2D超解像技術に基づく3DMRI画像再構成の評価
3. 学会等名 2019 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinichi YOSHIDA
2. 発表標題 Prediction of Human Characteristics from Brain Structural MRI using CNN
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Frontier Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Churong Zhuo, Shinichi Yoshida
2. 発表標題 Super-Resolution using Convolutional Neural Network for Magnetic Resonance Imaging
3. 学会等名 ISCIIA 2018 (The 8th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rina Nakayama, Shinichi Yoshida
2. 発表標題 Topological Data Analysis for Time Series of functional Magnetic Resonance Imaging
3. 学会等名 ISCIIA 2018 (The 8th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinichi Yoshida
2. 発表標題 Brain Decoding: Application of Intelligent Informatics to Neuroscience
3. 学会等名 ISCIIA 2018 (The 8th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takenobu SASATANI, Kaechang PARK, Shinichi YOSHIDA
2. 発表標題 Prediction of Brain Disposition by applying Convolutional Neural Network to Magnetic Resonance Imaging
3. 学会等名 ISCIIA 2018 (The 8th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yunpeng Jiang, Yoshida Shinichi, Xiangjiu Che.
2. 発表標題 Transfer Learning for Lung Cancer Computed Tomography Diagnosis
3. 学会等名 ISCIIA 2018 (The 8th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笹谷健文, 朴啓彰, 吉田真一
2. 発表標題 CNN を用いたMRI 構造画像からの個人属性の推定
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会 (電気学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, IEEE他)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazushi Okamoto
2. 発表標題 Feature Map Approximation of Triangular Norms with Siamese Neural Network
3. 学会等名 ISCIIA 2018 (The 8th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井流華, 岡本一志
2. 発表標題 Autoencoder型協調フィルタリングにおけるモデルパラメータの評価
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究部会 第16回ポトラック&ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井流華, 岡本一志
2. 発表標題 モデルベース協調フィルタリングにおける推薦の透明性に関する検討
3. 学会等名 第13回Webインテリジェンスとインタラクション研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中山梨奈, 吉田真一
2. 発表標題 fMRIを用いた脳情報デコーディングにおける時系列特徴の検討
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究部会 第16回ポトラック&ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笹谷健文, 吉田真一
2. 発表標題 機械学習による脳構造からの個人属性の推定
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究部会 第16回ポトラック&ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhiro Yamanaka, Shinichi Yoshida
2. 発表標題 A study of estimation of human emotion induced by OASIS using fMRI
3. 学会等名 International Workshop on Human-Engaged Computing 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Rena Matsuzaki, Shinichi Yoshida
2. 発表標題 Measurement of emotion induced from character image using fMRI
3. 学会等名 International Workshop on Human-Engaged Computing 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中 康寛
2. 発表標題 fMRIによる感情のブレインデコーディングにおけるOASIS画像セットの評価
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 第15回ソフトロボティクス研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松崎 麗奈
2. 発表標題 漢字から誘発される感情のfMRI によるブレインデコーディング
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 第15回ソフトロボティックス研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taichi Sasaki, Shinichi Yoshida
2. 発表標題 Decoding of human emotion induced by brain decoding using MVPA
3. 学会等名 International Workshop on Human-Engaged Computing 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Rina Nakayama, Shinichi Yoshida
2. 発表標題 Topological Data Analysis using functional Magnetic Resonance Imaging
3. 学会等名 International Workshop on Human-Engaged Computing 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Li Xiang, Shinichi Yoshida
2. 発表標題 Decoding of human facial expression induced by extreme learning machine using fMRI
3. 学会等名 International Workshop on Human-Engaged Computing 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Zhuo Churong, Shinichi Yoshida
2. 発表標題 Toward the Single Image Super-Resolution for MRI using Convolutional Neural Network
3. 学会等名 International Workshop on Human-Engaged Computing 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	岡本 一志 (Okamoto Kazushi) (10615032)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・助教 (12612)	
研究分担者	佐伯 幸郎 (Saiki Sachio) (40549408)	神戸大学・システム情報学研究所・特命講師 (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------