

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18078

研究課題名（和文）マルチチャンネルデータを用いた三次元脳MR画像の高精細化と高精度な領域分割

研究課題名（英文）Super-Resolution and Segmentation of 3D Brain MR images using Multi-Channel data

研究代表者

岩本 祐太郎（Iwamoto, Yutaro）

立命館大学・情報理工学部・助教

研究者番号：30779054

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：三次元脳MR画像の領域分割など高精度な医用画像解析には、マルチチャンネルデータ（T1強調画像やT2強調画像など）の活用が有用である。しかし、これらのデータは臨床上撮像時間の制限などから解像度を揃えて撮像することが困難である。そこで、本課題では、深層学習を用いた超解像処理によりMR画像の高解像度化を提案した。提案手法では、高解像度で取得可能なT1強調画像を参照し、撮像時間のかかるT2強調画像の高解像度化を行い、従来手法に比べ高精度に高解像度化できることを確認した。また、実応用では学習データ用の高解像画像を用意することが困難であるため、学習に高解像度画像を必要としないフレームワークを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年複数のモダリティ画像（CT、MRI、PETなど）を用いた医用画像解析が盛んに行われている。これらのデータはモダリティ毎に解像度が異なることが多く、医用画像解析の前処理として解像度を揃える必要がある。従来は補間技術により解像度を合わせていたがエッジ領域のぼけやジャギなどが発生するため、高精度な領域分割（セグメンテーション）などでは問題となる。本課題はこの問題を解決することができる。また、医用画像のみならず解像度の異なる複数のセンサで取得されるデータ（カラー画像-深度画像、パנקロマティック画像-ハイパースペクトル画像）に対しても応用することができるため、研究の意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：Multi-channel data (T1-weighted image and T2-weighted image, etc.) is useful for high-precision medical image analysis such as segmentation of 3D brain MR images. However, due to the limitation of acquisition time of clinical requirements, these data are difficult to acquire with the same resolution. In this study, we proposed a super-resolution of MR images using deep learning. The proposed method enhances the resolution of low-resolution T2-weighted images by referring to high-resolution T1-weighted images. The proposed method can achieve better performance compared with several state-of-the-art methods. Furthermore, we also incorporate an unsupervised approach without high-resolution T2-weighted images as training data.

研究分野：画像処理、医用画像処理、機械学習

キーワード：医用画像処理 画質改善 超解像技術 深層学習 セグメンテーション マルチチャンネルデータ

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

学習による脳の僅かな肥大化や年間の脳の萎縮率から発症前の認知症診断等には脳領域の高精度な領域分割(セグメンテーション)などの医用画像解析が求められる。この高精度化にはマルチチャンネルデータ(T1 強調画像や T2 強調画像など)の活用が有用である。マルチチャンネルデータを活用する場合、事前に解像度を揃えることが多い。しかし、臨床上の撮像時間の制限などによりハードウェアの面から解像度を揃えて撮像することは困難である。そこで、従来はソフトウェア処理による補間技術によって解像度を揃えていたが、エッジ領域のぼけやジャギーなどが発生し、高精度なセグメンテーションなどでは問題となる。脳画像のセグメンテーションにおいては、従来三次元 T1 強調画像からセグメンテーションされるが、白質の病変部位が誤ってセグメンテーションされるなど精度に限界があった。

### 2. 研究の目的

本研究課題は高精度な脳画像解析を目的として、マルチチャンネルデータを用いた三次元脳 MR 画像の高精細化(高解像度化)と高精度なセグメンテーション法の開発を目指した。(1) マルチチャンネルデータを活用するために、データ間の解像度を揃える前処理が必要であるため、従来の補間手法と比べ高精度に高解像度化が可能なマルチチャンネルデータを用いた超解像技術手法を提案した。(2)そして、超解像処理したマルチチャンネルデータを用いて高精度なセグメンテーションを行う。(2)の研究課題は十分な研究結果が得られなかったため、次項以降は(1)の研究課題を中心に報告する。

### 3. 研究の方法

マルチチャンネルデータを活用した脳 MR 画像の超解像技術として、高解像度で取得可能な T1 強調画像(高解像度)を参照画像とし、撮像時間のかかる T2 強調画像(低解像度)を高解像度化する手法を新たに開発した。提案した手法は近年注目を集めている深層学習の一種である畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network, CNN)を用いて高解像度 T1 強調画像と低解像度 T2 強調画像からそれぞれ画像特徴を抽出し、高解像度画像の特徴を低解像度画像の特徴に段階的に融合することによって、マルチチャンネルデータの情報を効果的に活用しながら高解像度化した。また、深層学習などの機械学習では一般的に入力データと教師(正解)データのペア(本課題の場合は低解像度 T2 強調画像と高解像度 T2 強調画像)を大量に用意し学習させる必要があるが(教師あり学習)、実用上ハードウェアの制限や臨床応用上準備できない場合が存在するため、提案した手法では低解像度 T2 強調画像とそれを更に低解像度化した T2 強調画像のペアを用いて学習することで高解像度 T2 強調画像を学習に必要な教師なし学習のフレームワークで超解像手法を提案した(図 1)。提案したフレームワークの流れは以下の通りである。提案手法の詳細は[1]を参照されたい。

- (1) 高解像度 T1 強調画像(HR\_T1)と低解像度 T2 強調画像(LR\_T2)のペアをデータセットとして用意する。
- (2) 低解像度 T1 強調画像(LR\_T1)と低解像度 T2 強調画像を更に低解像度化した低低解像度 T2 強調画像(LLR\_T2)のデータセットを作成する。
- (3) LLR\_T2 と LR\_T1 をネットワークに入力し、超解像低解像度 T2 強調画像(SRLR\_T2)を生成後、LR\_T2 との誤差が最小になるよう、ネットワークを学習する。
- (4) LR\_T2 と HR\_T1 を学習済みネットワークに入力し、超解像高解像度 T2 強調画像(SRHR\_T2)を生成する。

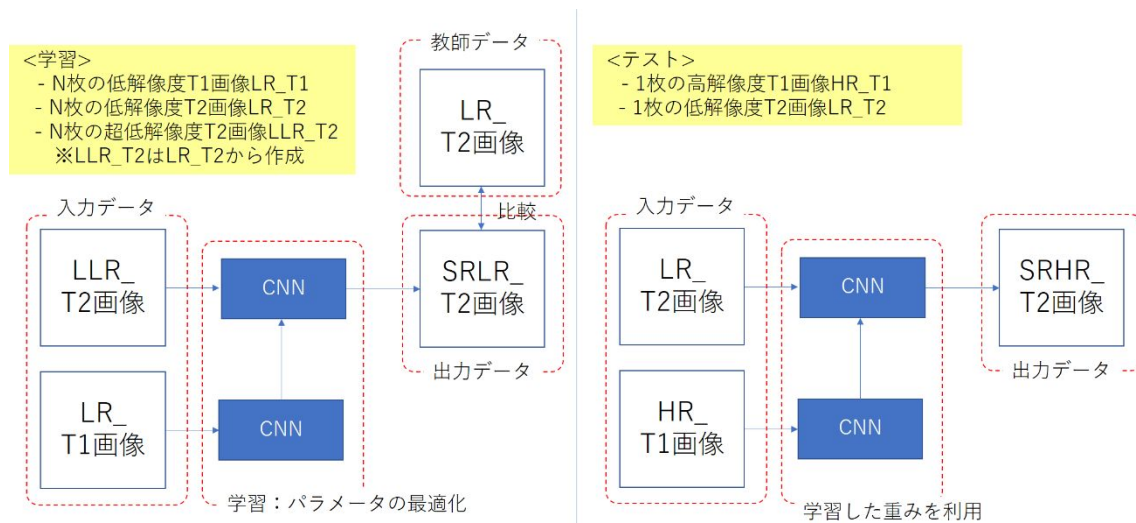


図 1 提案したフレームワークの流れ

#### 4. 研究成果

提案手法より従来の補間処理や最新の手法に比べ高精度に高解像度化できることを実験から確認した。実験結果の一部を図2に示す。図2の結果より、従来の補間拡大(図2 b)では灰白質と白質境界が不鮮明であるのに対し、提案手法(図2 c)では境界が鮮明になっていることが確認できる。本研究成果より、提案手法を用いることでマルチチャンネルデータを用いたセグメンテーション精度の向上が期待できる。また、提案したフレームワークをベースとしてカメラ-深度カメラにおけるマルチモダリティ画像の高画質化[3]に応用した。本研究成果は、国際会議 ICCE(IEEE International Conference on Consumer Electronics)に採択された。また、三次元医用画像に特化した VolumeNet と呼ばれる深層学習超解像処理手法[4]を提案した。提案手法では、画質は維持しつつ、ネットワークのパラメータ数を大幅に削減することができた。本研究成果は、国際論文誌 IEEE Transactions on Image Processing に採択された。

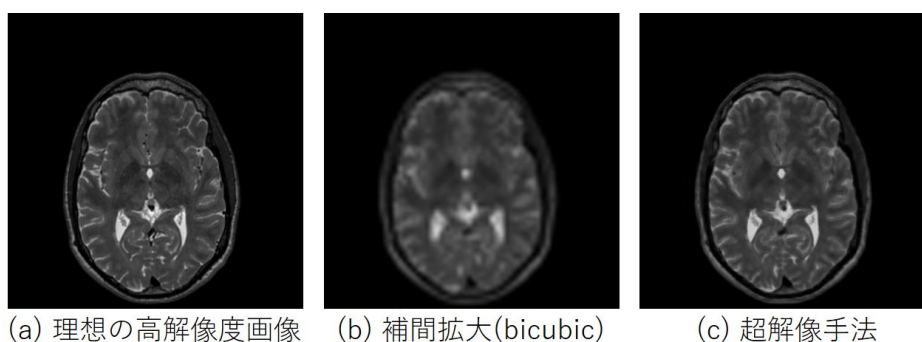


図2 提案手法の実験結果(T2強調画像, 4倍拡大, 実験の画像には NAMIC brain multimodality dataset [2]を利用)

- [1] Y. Iwamoto, K. Takeda, Y. Li, A. Shiino, Y.-W. Chen, "Unsupervised MRI Super-Resolution Using Deep External Learning and Guided Residual Dense Network with Multimodal Image Priors," arXiv:2008.11921, 2020.
- [2] NAMIC: Brain Multimodality dataset, <https://www.insight-journal.org/midas/collection/view/190>  
<http://hdl.handle.net/1926/1687>
- [3] K. Takeda, Y. Iwamoto, Y.-W. Chen, "Color Guided Depth Map Super-Resolution based on a Deep Self-Learning Approach," 2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), pp. 1-4, 2020.
- [4] Y. Li, Y. Iwamoto, L. Lin, R. Xu, R. Tong, Y.-W. Chen, "VolumeNet: A Lightweight Parallel Network for Super-Resolution of MR and CT Volumetric Data," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 30, pp. 4840-4854, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yinhao Li, Yutaro Iwamoto, Lanfen Lin, Rui Xu, Ruofeng Tong, Yen-Wei Chen	4. 巻 30
2. 論文標題 VolumeNet: A Lightweight Parallel Network for Super-Resolution of MR and CT Volumetric Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Image Processing	6. 最初と最後の頁 4840-4854
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIP.2021.3076285	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ryosuke Sato, Yutaro Iwamoto, Kook Cho, Do-Young Kang, Yen-Wei Chen	4. 巻 10
2. 論文標題 Accurate BAPL Score Classification of Brain PET Images Based on Convolutional Neural Networks with a Joint Discriminative Loss Function	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app10030965	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10件（うち招待講演 2件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Yinhao Li, Yutaro Iwamoto, Lanfen Lin, Yen-Wei Chen
2. 発表標題 Parallel-Connected Residual Channel Attention Network for Remote Sensing Image Super-Resolution
3. 学会等名 Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision (ACCV), 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yinhao Li, Yutaro Iwamoto, Yen-Wei Chen
2. 発表標題 A 3D Shrinking-and-Expanding Module with Channel Attention for Efficient Deep Learning-Based Super-Resolution
3. 学会等名 Innovation in Medicine and Healthcare (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩本 祐太郎
2. 発表標題 三次元計測の基礎と深度画像の高解像度化
3. 学会等名 先進電磁波イメージング研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kyohei Takeda, Yutaro Iwamoto, Yen-Wei Chen
2. 発表標題 Color Guided Depth Map Super-Resolution based on a Deep Self-Learning Approach
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenji Ono, Yutaro Iwamoto, Yen-Wei Chen, Masahiro Nonaka
2. 発表標題 Automatic Segmentation of Infant Brain Ventricles with Hydrocephalus in MRI based on 2.5D U-net and Transfer Learning
3. 学会等名 2019 2nd International Conference on Digital Medicine and Image Processing (DMIP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naohiro Hashizume, Yutaro Iwamoto, Akihiko Shiino, Yen-Wei Chen
2. 発表標題 Comparison of Hand-craft Subtype Features, Deep Learning Features and Their Fused Features for Classification of Alzheimer's Disease
3. 学会等名 2019 2nd International Conference on Digital Medicine and Image Processing (DMIP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaro Iwamoto
2. 発表標題 Advanced deep learning for liver segmentation and liver lesion classification
3. 学会等名 6th International Symposium on AI-driven Analysis of Medical Imaging (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaro Iwamoto, Kun Xiong, Takahiro Kitamura, Xian-Hua Han, Naoki Matsushiro, Hiroshi Nishimura, Yen-Wei Chen
2. 発表標題 Automatic Segmentation of the Paranasal Sinus from Computer Tomography Images Using a Probabilistic Atlas and a Fully Convolutional Network
3. 学会等名 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永田敬之、橋爪直寛、岩本祐太郎、陳延偉
2. 発表標題 AutoEncoderによるマルチモーダルMR脳画像の教師無しセグメンテーション
3. 学会等名 平成30年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaro Iwamoto
2. 発表標題 Three-class Classification of PET scans in Alzheimer's disease Based on Convolutional Neural Network
3. 学会等名 4th International Symposium on AI-based Analysis of Medical Database (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Y. Iwamoto, K. Takeda, Y. Li, A. Shiino, Y.-W. Chen, "Unsupervised MRI Super-Resolution Using Deep External Learning and Guided Residual Dense Network with Multimodal Image Priors," arXiv:2008.11921, 2020.

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
研究協力者	陳 延偉  (Chen Yen-Wei)		
研究協力者	椎野 顯彦  (Shiino Akihiko)		
研究協力者	韓 先花  (Han Xian-Hua)		

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		
韓国	Dong-A University	Dong-A University Hospital	