

pMRI研究现状

Henry

2021 年 5 月 11 日

1 背景

磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging,MRI)是一项无创的医学成像技术,用于检测人体组织中是否存在病变等情况,因此在临床上被广泛引用。但是由于其成像速度过于缓慢,并行磁共振成像(Parallel Magnetic Resonance Imaging,pMRI)用以加速成像,它同时使用多个线圈采集磁共振信号,使用欠采样的方法只采集部分数据,最后使用重建算法从欠采样的数据中重建得到目标图像。

2 国内外研究现状

使用重建算法从欠采样的数据中得到目标图像,主要可以分为两大类方法:(1)基于图像域的算法,例如Sensitivity encoding(SENSE)[1];(2)基于 k -空间的算法,例如Generalized Autocalibrating Partially Parallel Acquisitions(GRAPPA) [2]。

2.1 基于图像域的重建方法

pMRI系统使用一组线圈阵列进行同时采集数据,线圈阵列由多个线圈组成,用于采集不同空间位置上的信息,使得越接近线圈的区域上信号会更强,这种不同空间位置导致的信号强弱被称为线圈的敏感度。通常情况下,线圈的敏感度未知,而基于图像域的重建方法首先需要明确知道敏感度矩阵,因此重建图像的质量十分依赖于敏感度信息。

在图像域中广泛使用的是SENSE类重建方法,其将pMRI图像重建问题视作一个逆问题进行考虑,在最小二乘意义下最小化测量值与真实值之间的误差。在一般情况下,pMRI图像重建问题是一个病态问题,因此需要进行正则化处理,广泛使用的正则化方法有 l_1 正则化, l_2 正则化等。

近年来,稀疏约束和低秩约束等正则化方法被广泛应用到pMRI图像重建问题中,Lustig等人将压缩感知应用于MRI图像重建中(CS MRI)[3],其实验表明该方法可以较好的去除图像伪影,得到较高质量的重建图像。Martin Uecker等人提出了一种估计敏感度矩阵的方法[4],该方法使用自校准数据构造得到自校准矩阵,对校准矩阵进行奇异值分解,之后使用右奇异矩阵进行构造得到filters,对filter傅里叶逆变换后进

行特征值分解，只取特征值为1的对应的特征向量构造敏感度矩阵。紧接着他们提出了“soft” SENSE模型，使用多组敏感度矩阵和多组图像分量用于重建，最后使用具有稀疏性的 l_1 范数得到了 l_1 -ESPIRiT方法。Liu等人提出了projected iterative soft-thresholding algorithm(pISTA),与其加速版本pFISTA[5]，所提出的算法利用了MRI图像在紧框架表示下的冗余性，且该算法只有一个需要调节的参数。pFISTA虽然算法简洁且参数简单，但是其收敛性只适用于单线圈，而不适用于并行磁共振成像。Zhang等人对Liu等人提出的pFISTA进行了改进，分析了该算法在多线圈并行磁共振成像下的收敛性，提出了pFISTA并行成像版本[6]。同时将该算法应用于两个经典重建模型中，SENSE[1]和SPIRiT[7]，提供了pFISTA求解这两个模型的最优参数。

dads[8] asdasd [9]

2.2 基于 k -空间的重建方法

参考文献

- [1] K. P. Pruessmann, M. Weiger, M. B. Scheidegger, and P. Boesiger, “Sense: sensitivity encoding for fast mri,” *Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, vol. 42, no. 5, pp. 952–962, 1999.
- [2] M. A. Griswold, P. M. Jakob, R. M. Heidemann, M. Nittka, V. Jellus, J. Wang, B. Kiefer, and A. Haase, “Generalized autocalibrating partially parallel acquisitions (grappa),” *Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, vol. 47, no. 6, pp. 1202–1210, 2002.
- [3] M. Lustig, D. Donoho, and J. M. Pauly, “Sparse mri: The application of compressed sensing for rapid mr imaging,” *Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, vol. 58, no. 6, pp. 1182–1195, 2007.
- [4] M. Uecker, P. Lai, M. J. Murphy, P. Virtue, M. Elad, J. M. Pauly, S. S. Vasanawala, and M. Lustig, “Espirit — an eigenvalue approach to autocalibrating parallel mri: where sense meets grappa,” *Magnetic resonance in medicine*, vol. 71, no. 3, pp. 990–1001, 2014.
- [5] Y. Liu, Z. Zhan, J.-F. Cai, D. Guo, Z. Chen, and X. Qu, “Projected iterative soft-thresholding algorithm for tight frames in compressed sensing magnetic resonance imaging,” *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 35, no. 9, pp. 2130–2140, 2016.
- [6] X. Zhang, H. Lu, D. Guo, L. Bao, F. Huang, Q. Xu, and X. Qu, “A guaranteed convergence analysis for the projected fast iterative soft-thresholding algorithm in parallel mri,” *Medical Image Analysis*, vol. 69, p. 101987, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361841521000335>
- [7] M. Lustig and J. M. Pauly, “Spirit: iterative self-consistent parallel imaging reconstruction from arbitrary k-space,” *Magnetic resonance in medicine*, vol. 64, no. 2, pp. 457–471, 2010.
- [8] S. Wang, S. Tan, Y. Gao, Q. Liu, L. Ying, T. Xiao, Y. Liu, X. Liu, H. Zheng, and D. Liang, “Learning joint-sparse codes for calibration-free parallel mr imaging,” *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 37, no. 1, pp. 251–261, 2018.
- [9] J. Lyu, U. Nakarmi, D. Liang, J. Sheng, and L. Ying, “Kernel: Kernel-based nonlinear approach to parallel mri reconstruction,” *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 38, no. 1, pp. 312–321, 2019.