



基于Contourlet变换的Compressed Sensing 磁共振成像

屈小波, 蔡聪波, 陈忠*

(厦门大学通信工程系与物理系, 厦门 361005)



1. 引言

降低采样时间是磁共振成像(MRI)的重要问题, Compressed Sensing 能用比传统条件下更少的测量值重构原信号^[1], 用来对MRI的k空间数据进行欠采样, 减少MRI的采样时间^[2]。但是, 欠采样k空间使图像呈现“伪”噪声^[3], 本文提出基于Contourlet变换的Compressed Sensing磁共振成像, 有效去除这类噪声并保持图像边缘。

2. Compressed sensing MRI

设 m 表示重构的MRI像, ψ 表示从像素表示到稀疏表示的线性操作, F_s 表示欠采样傅立叶变换, y 表示MRI扫描仪获取到的k空间数据, ε 控制重构的保真度, 图像重构通过求解如下的约束优化问题实现:

$$\text{minimize } \|\psi m\|_1, \quad \text{s.t. } \|F_s m - y\|_2 < \varepsilon \quad (1)$$

其中, ψ 是图像稀疏变换, 一般采用小波变换。通过稀疏变换重构图像, 可以有效消除k空间采样造成的伪噪声^[2]。其基本流程如图1所示。

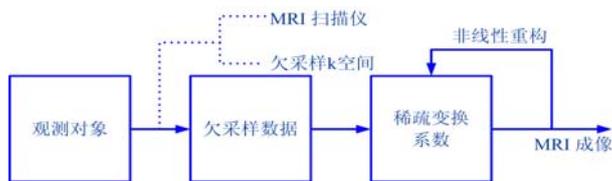


图1. Compressed sensing 磁共振成像流程图

3. Contourlet 变换

典型的Compressed sensing MRI (CS-MRI)^[2]中采用小波变换作为图像稀疏变换, 但是, 二维小波基(图2(a)所示)只有有限方向, 因此基于小波变换的图像重构方法没有考虑图像本身的几何特性, 这将影响重构的MRI图像的质量。

Contourlet 变换^[3]能更准确地捕获图像中的分段二次连续曲线, 其基(图2(b)所示)具有方向性和各向异性, 从而使表示图像边缘的Contourlet系数能量更加集中, 对于曲线有更“稀疏”的表示。

考虑到 MRI图像的边缘和纹理特性, 用Contourlet变换代替(1)中的 ψ , 就可得到基于Contourlet变换的Compressed Sensing MRI。

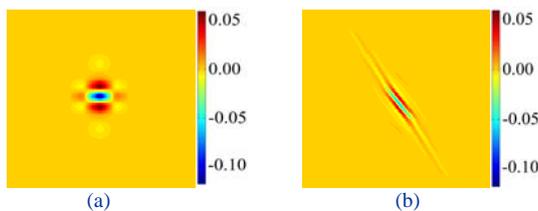


图2. 小波基(a)和Contourlet基(b)

4. 结果与分析

仿真实验中, 采用大小为 256×256 的脑部磁共振图像。首先, 将k空间系数按模板进行欠采样, 白色部分采样, 黑色部分不采, 并将该位置k空间系数填0。接着, 进行反傅立叶变换得到质量退化的MRI图像。

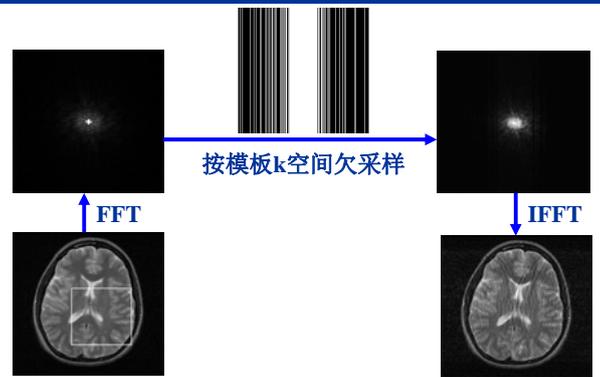


图3. 欠采样k空间

图4是采用小波变换和Contourlet变换重构的MRI图像的局部放大结果, 可以看出, 基于Contourlet的重构图像边缘更加自然。为进行客观评价重构图像的质量, 我们计算重构图像与k空间完全采样的图像之间边缘强度的相关信息量(Q_F)^[4]。

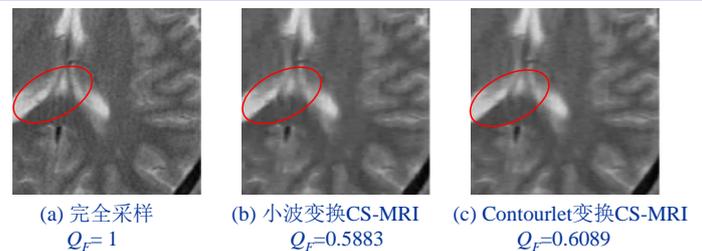


图4. CS-MRI重构结果比较

5. 参考文献

- [1] Donoho D. *IEEE Trans. Information Theory* 52 (2006) 1289.
- [2] Lustig M, et al. *IEEE Trans. Signal Processing Magazine* 25 (2008) 72.
- [3] MN Do, et al. *IEEE Trans. Image Processing* 14 (2005) 2091.
- [4] V. Petrovic, *Proc. of the 3rd ICIF'00* 2 (2000) 14.