



重庆大学
CHONGQING UNIVERSITY



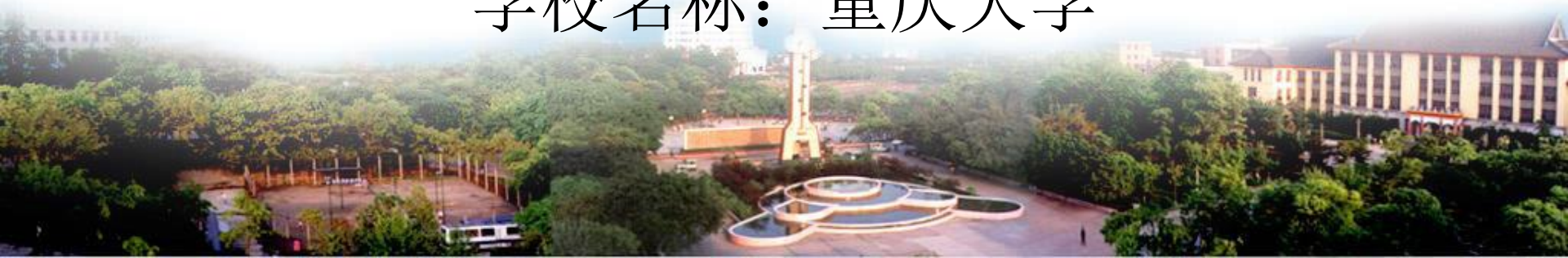
智能服务与软件工程中心
Center for Intelligent Services and Software Engineering

基于压缩传感的核磁共振成像 方法研究

答辩学生：林梦然


指导老师：葛永新

学校名称：重庆大学




目录

iiec.cqu.edu.cn




核磁共振成像



压缩传感理论



压缩传感理论在静态成像上的应用



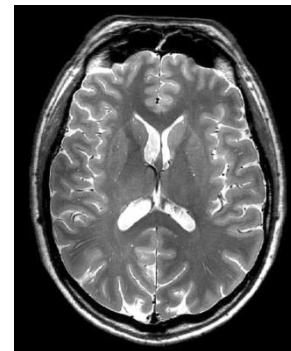
压缩传感理论在实时动态成像上的应用



总结

核磁共振成像

iiec.cqu.edu.cn



MRI技术目前已经获得了六次Nobel奖

核磁共振成像

iiec.cqu.edu.cn

❖ MRI是用硬件的方法实现傅立叶变换

- 对人体的截面做傅立叶变换，然后采集变换后的数据
- 通过傅立叶逆变换重建图像



存在的问题

❖ 扫描时间比较长（几分钟）

- 扫描过程中，病人必须保持绝对静止
- 实时成像困难

❖ 传统解决方法

- 减少采样量
- 并行采样
 - 需要硬件支持

减少采样量

- ❖ 如果不做任何处理，根据Nyquist-Shannon采样定理，
 - 图像出现混叠（artifacts）
- ❖ 在减少采样量的情况下，如何尽可能地重建图像？
 - 正是CS解决的问题

模型

$$\begin{aligned} & \textit{Minimize} : \| \Psi(\mathbf{m}) \|_0 \\ & \textit{s.t.}, \| \Phi_F(\mathbf{m}) - \mathbf{y} \|_2 < \varepsilon \end{aligned}$$

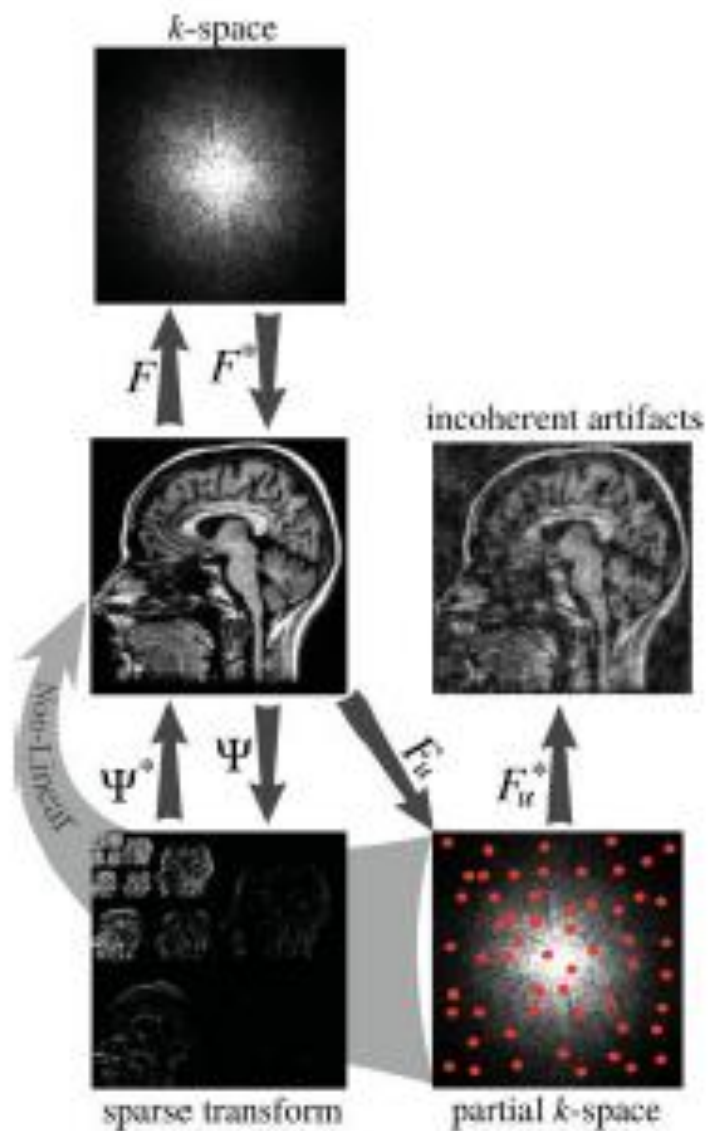
Φ_F 部分傅立叶变换

Ψ 稀疏变换

压缩传感理论

iiec.cqu.edu.cn

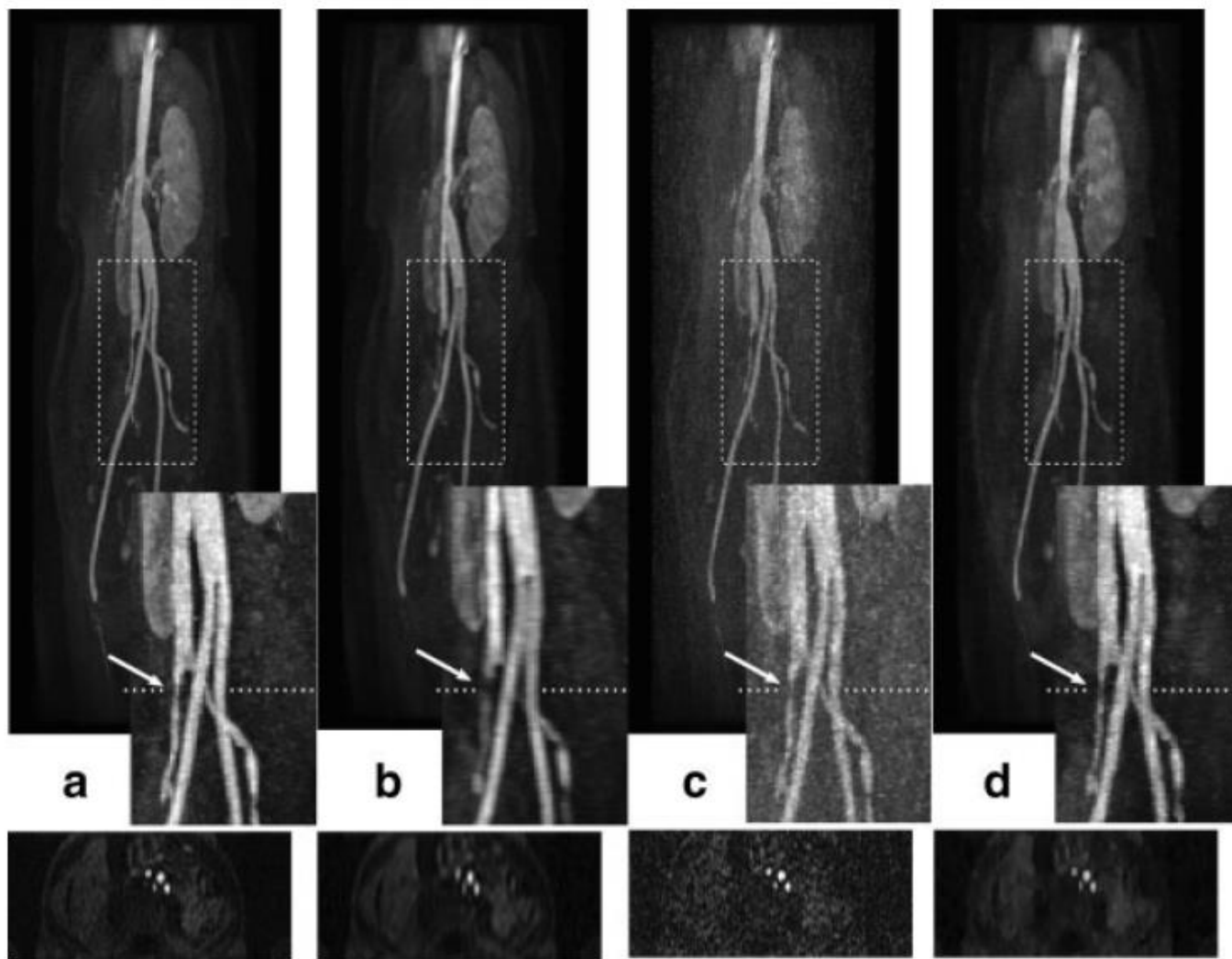
模型



压缩传感理论

iiec.cqu.edu.cn

结果



压缩传感在静态成像上的应用

iiec.cqu.edu.cn

压缩传感所使用的稀疏字典通常分为两类：

1.全局稀疏字典，如：小波变换，曲线小波变换

特点：对图像的整体进行稀疏表示

优点：重建图像具有良好的整体结构信息

缺点：重建图像会丢失图像边缘等一些比较精细的特征

2.局部稀疏字典

特点：这类字典以图像块为基本单位，通过学习得到的局部稀疏字典来求得所有图像块的稀疏表示

优点：重建的图像具有比较精细的图像细节

缺点：重建图像会丢失图像的整体结构信息

压缩传感在静态成像上的应用

iiec.cqu.edu.cn

问题

- 独立使用全局或局部稀疏字典，会分别导致图像细节或图像整体结构信息的丢失

压缩传感在静态成像上的应用

iiee.cqu.edu.cn

GLSMRI成像模型

$$\min_{X, D, \Lambda = \{\alpha_{ij} | \forall i, j\}} \left\{ \|Y - F_u X\|_2^2 + \lambda_L \sum_{ij} \|R_{ij} X - D \alpha_{ij}\|_2^2 + \lambda_G \|\psi X\|_1 \right\}$$

$$\text{s. t. } \|\alpha_{ij}\|_0 \leq T_0 \quad \forall i, j$$

数据保真项

局部稀疏项

全局稀疏项

压缩传感在静态成像上的应用

iiec.cqu.edu.cn

模型求解

- 1.对图像进行局部稀疏表示。
- 2.在局部稀疏表示已知的条件下进行全局稀疏重建。

压缩传感在静态成像上的应用

www.themegallery.com

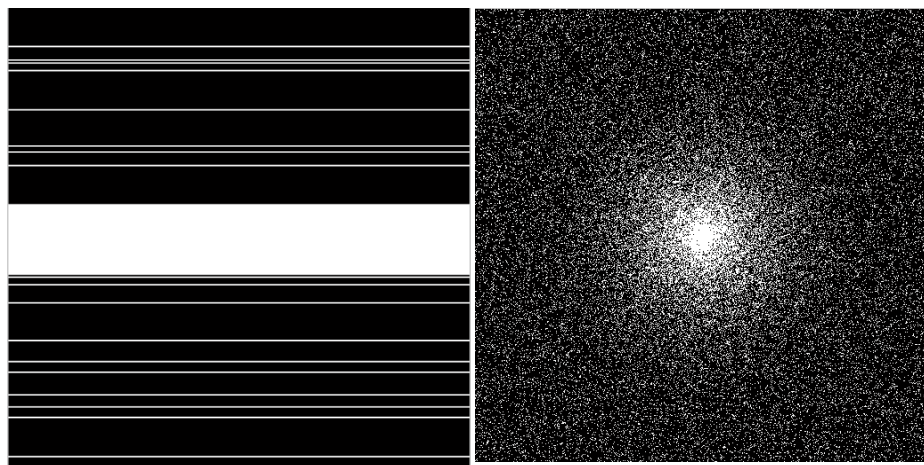
模型的改进

- 1.在成像模型方面， **GLSMRI**通过加入全局稀疏约束来抑制过拟合。
- 2.在求解方法方面， **GLSMRI**增加了全局稀疏约束，并使用非线性共轭梯度算法进行迭代求解，避免了简单k空间回填导致的过拟合。

压缩传感在静态成像上的应用

www.themegallery.com

实验结果与讨论



本文实验所采用的采样模式，其中左图为笛卡尔随机采样，右图为二维随机采样

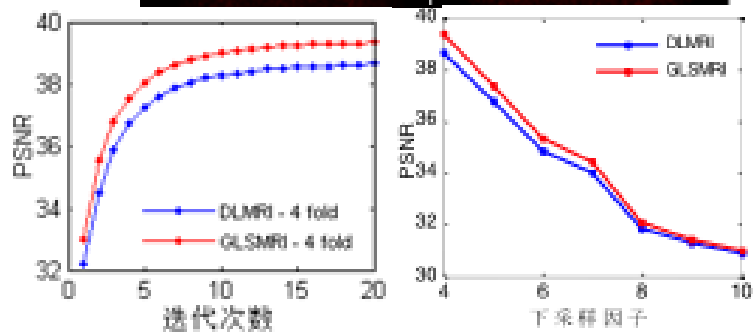
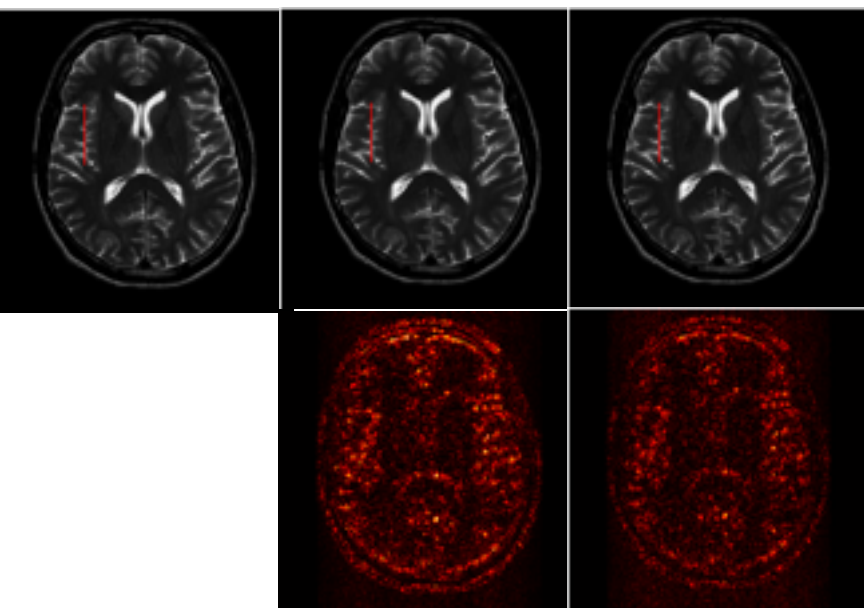
压缩传感在静态成像上的应用

www.themegallery.com

实验结果与讨论

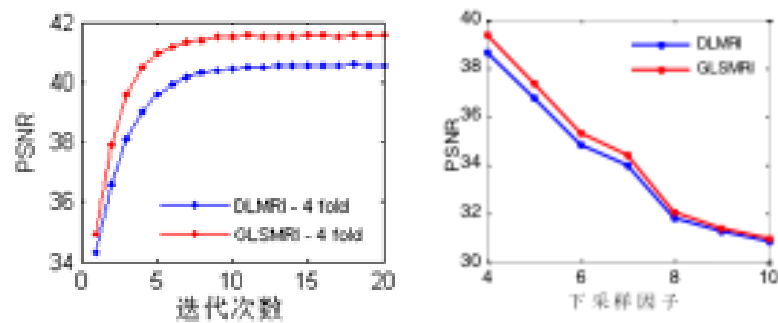
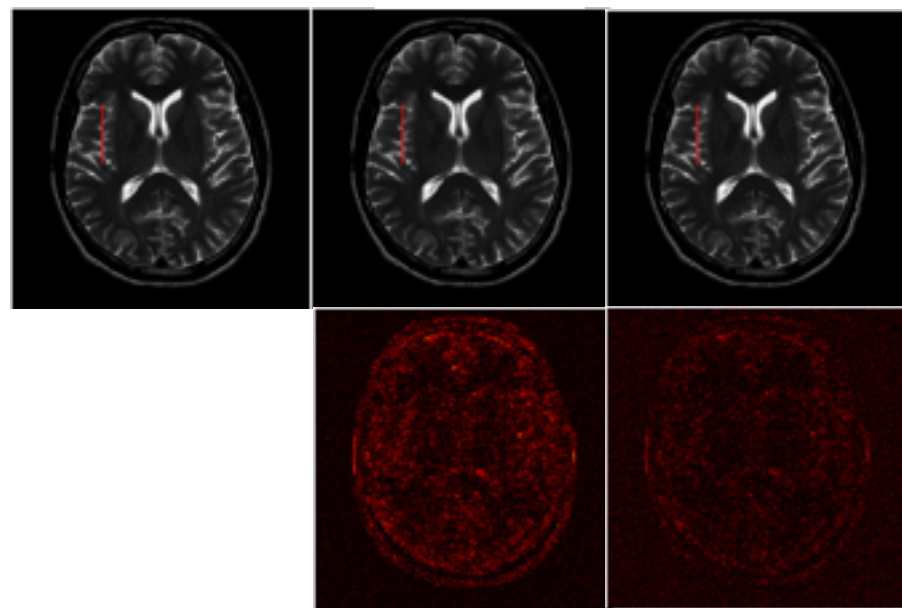
4倍笛卡尔采样

Truth DLMRI GLSMRI



4倍随机采样

Truth DLMRI GLSMRI



压缩传感在实时动态磁共振成像上的应用

www.themegallery.com

特点：

因果性

难点：

- 1.数据的信息量不足，导致重建图像的分辨率难以得到保证；
- 2.由于要满足实时重建，因此对算法的重建速度要求高

压缩传感在实时动态磁共振成像上的应用

www.themegallery.com

基于卡尔曼滤波的实时动态核磁共振成像法

由于卡尔曼滤波可以通过测量值来预测变量，因此可以应用于实时动态核磁共振成像，如压缩传感和卡尔曼滤波结合的KF-CS

KF-CS用一个离散线性系统来对动态核磁共振成像问题进行建模，然后通过卡尔曼滤波来逐帧的重建图像。

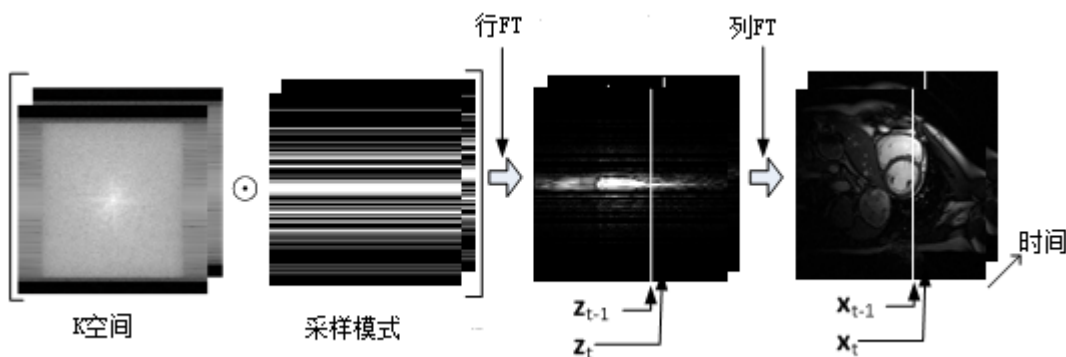
压缩传感在实时动态磁共振成像上的应用

www.themegallery.com

基于卡尔曼滤波的实时动态核磁共振成像法

$$\mathbf{x}_t = \mathbf{x}_{t-1} + \mathbf{u}_t$$

$$\mathbf{z}_t = \mathbf{F}_{u,t}\mathbf{x}_t + \mathbf{v}_t$$



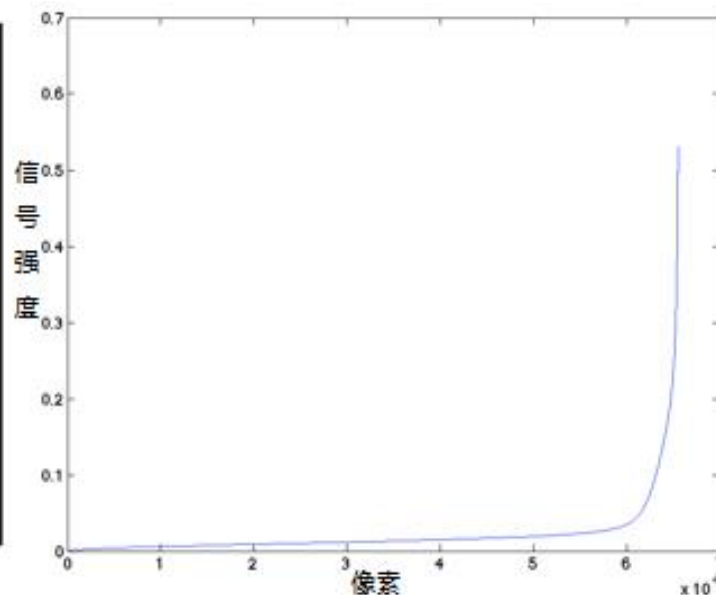
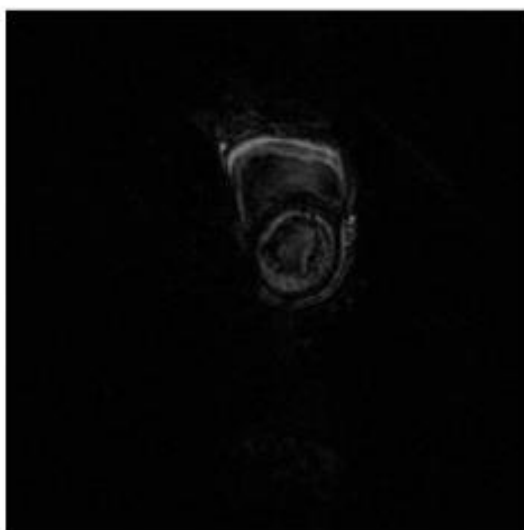
当 $\mathbf{u}_t \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{Q}_t)$ 和 $\mathbf{v}_t \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R}_t)$ 时，可由下面的数学模型给出卡尔曼滤波解。

$$\mathbf{x}_t - \mathbf{x}_{t-1} = \operatorname{argmin}_{\mathbf{u}} \|\mathbf{z}_t - \mathbf{F}_{u,t}(\mathbf{x}_{t-1} + \mathbf{u})\|_2 + 2\sigma^2 \mathbf{u}^H \mathbf{P}_t^{-1} \mathbf{u}$$

压缩传感在实时动态磁共振成像上的应用

www.themegallery.com

问题



帧差不满足高斯分布，因此不满足卡尔曼滤波的假设条件
稀疏性，可压缩性

压缩传感在实时动态磁共振成像上的应用

www.themegallery.com

基于弹性网络的实时动态核磁共振成像

$$\hat{\mathbf{u}}_t = \operatorname{argmin}_{\mathbf{u}} \frac{1}{2} \|\mathbf{z}_t - \mathbf{F}_{\mathbf{u},t}(\mathbf{x}_{t-1} + \mathbf{u})\|_2 + \alpha \|\mathbf{u}\|_1 + \frac{\beta}{2} \|\mathbf{u}\|_2$$

区别：

弹性网络模型不需要 \mathbf{u} 是满足高斯分布的，也不需要测量误差 \mathbf{v}_t 是具有特定方差的高斯白噪声。在动态磁共振成像中， \mathbf{u} 实际上是由于物体的运动^[64]而引起的帧差，因此不满足随机高斯噪声的性质。因此动态磁共振成像中的这一特性不满足卡尔曼滤波要求测量噪声是满足高斯随机噪声的假设。

压缩传感在实时动态磁共振成像上的应用

www.themegallery.com

实验结果与讨论

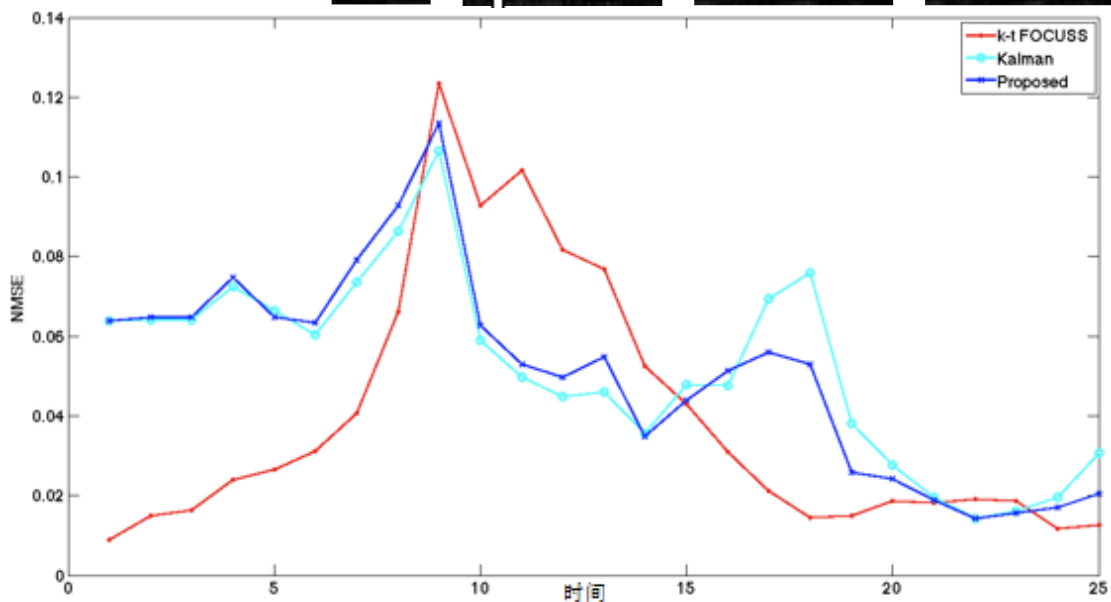
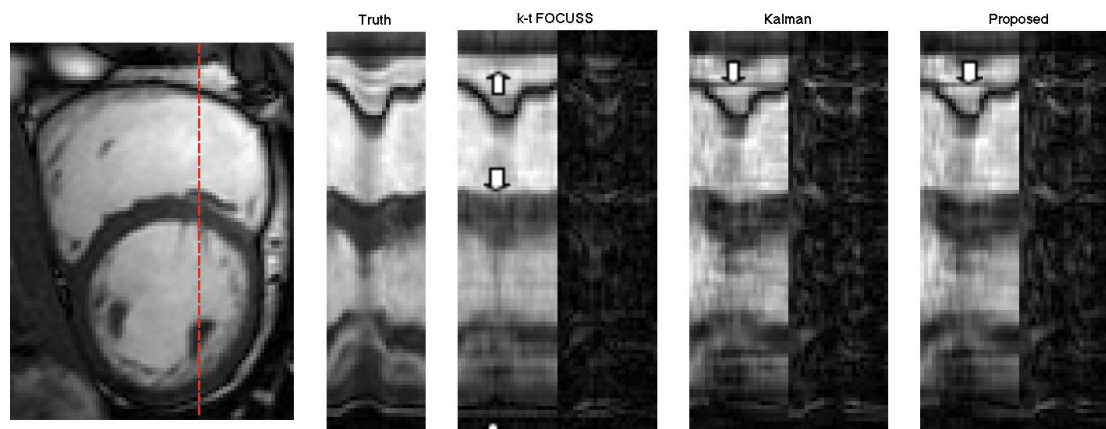


沿相位编码方向的高斯随机下采样

压缩传感在实时动态磁共振成像上的应用

www.themegallery.com

实验结果与讨论



总结

www.themegallery.com

在静态成像上：本文提出了一个联合利用局部稀疏和全局稀疏约束来捕捉磁共振图像的局部和整体结构信息的重建模型。模拟实验表明，**GLSMRI**超过了现有的仅利用局部稀疏结构或全局稀疏结构的方法。将来的工作将着眼于：开发更为鲁棒的局部稀疏字典和使用自适应的全局稀疏字典来改善重建质量。

在实时动态成像上：本文主要在非高斯分布假设基础上建立了实时动态图像重建模型。实验结果表明：通过与卡尔曼滤波方法作对比，本文的重建方法在模拟数据和动态心脏数据上具有更好的重建性能。将来的工作将致力于寻找更好的运动检测模型。



重庆大学
CHONGQING UNIVERSITY

Thank You !



iiec.cqu.edu.cn