

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 33320141152815

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于单扫描时空编码的化学交换饱和和转移
成像和水脂分离成像重建

Chemical exchange saturation transfer imaging and
reconstruction method for water-fat separated imaging
based on single-shot spatiotemporal encoding

黄建攀

指导教师姓名: 蔡淑惠 教授

蔡聪波 副教授

专 业 名 称: 无线电物理

论文提交日期: 2017 年 04 月

论文答辩时间: 2017 年 05 月

学位授予日期: 2017 年 06 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2017 年 06 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

- ()1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。
- (√)2. 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

中文摘要	i
英文摘要	iii
第一章 绪论	1
1.1 磁共振成像基础	1
1.1.1 磁共振成像简介	1
1.1.2 磁共振成像的基本原理	1
1.2 超快速磁共振成像技术	3
1.2.1 平面回波成像	3
1.2.2 单扫描时空编码磁共振成像	4
1.3 化学交换饱和转移成像	5
1.4 水脂分离成像	6
1.5 论文主要内容和结构	7
参考文献	9
第二章 单扫描时空编码磁共振成像	13
2.1 引言	13
2.2 chirp 脉冲的特点	14
2.3 时空编码磁共振成像原理	15
2.3.1 基于 90° chirp 激励脉冲的时空编码	16
2.3.2 基于 180° chirp 重聚脉冲的时空编码	18
2.4 时空编码磁共振成像特性	19
2.4.1 时空编码信号的局部自旋贡献性	19
2.4.2 时空编码磁共振成像对梯度的要求	20
2.4.3 时空编码磁共振成像抗不均匀场和化学位移效应的能力	22
2.5 时空编码磁共振成像的超分辨率重建	23
2.5.1 超分辨率重建的基本原理	23

2.5.2 SVD 预处理的共轭梯度法.....	24
2.5.3 部分傅里叶法.....	25
2.5.4 去卷积法.....	27
2.5.5 随机采样与压缩感知结合的混合方法.....	28
2.5.6 超分辨提升和边缘伪影去除.....	30
参考文献	32
第三章 基于单扫描时空编码的化学交换饱和转移(CEST)成像.....	37
3.1 引言	37
3.2 基于单扫描时空编码的 CEST 成像原理及方法.....	38
3.2.1 基于单扫描时空编码的 CEST 成像原理.....	38
3.2.2 定量 CEST/NOE	40
3.3 样品准备及数据采集	41
3.3.1 样品准备.....	41
3.3.2 数据采集.....	42
3.4 实验结果	43
3.4.1 肌酸模型实验.....	43
3.4.2 活体肿瘤鼠脑成像.....	45
3.5 讨论	47
3.6 本章小结	50
参考文献	50
第四章 基于单扫描时空编码的水脂分离成像重建.....	57
4.1 引言	57
4.2 基于单扫描时空编码的水脂分离成像重建方法	58
4.3 实验方法	63
4.4 实验结果	64
4.4.1 数值仿真.....	64
4.4.2 水油模型验证.....	65
4.4.3 活体老鼠实验.....	67

4.5 讨论	68
4.5.1 水脂分离图像的分辨率比较.....	68
4.5.2 结合先验信息进行重建的必要性.....	69
4.5.3 新方法对单扫描水脂分离成像的意义.....	70
4.6 本章小结	71
参考文献	72
第五章 总结与展望.....	77
5.1 全文总结	77
5.2 展望	78
科研成果发表情况.....	79
致谢.....	81

厦门大学博硕士学位论文摘要

厦门大学博硕士学位论文摘要库

CONTENTS

Chinese Abstract	i
English Abstract	iii
Chapter 1 Preface	1
1.1 Basis of magnetic resonance imaging (MRI)	1
1.1.1 Brief introduction of MRI.....	1
1.1.2 Basic principles of MRI.....	1
1.2 Ultrafast MRI techniques	3
1.2.1 Echo planar imaging (EPI)	3
1.2.2 Single-shot spatiotemporally encoded MRI (SPEN MRI)	4
1.3 Chemical exchange saturation transfer (CEST) imaging	5
1.4 Water-fat separated imaging	6
1.5 Main contents and structure of the thesis	7
References	9
Chapter 2 Single-shot SPEN MRI	13
2.1 Introduction	13
2.2 Characteristics of chirp pulse	14
2.3 Principle of SPEN MRI	15
2.3.1 SPEN based on 90° excited chirp pulse.....	16
2.3.2 SPEN based on 180° refocused chirp pulse.....	18
2.4 Characteristics of SPEN MRI	19
2.4.1 Local spin contribution of SPEN Signals	19
2.4.2 Gradient requirements for SPEN MRI.....	20
2.4.3 The ability to resist inhomogeneous field and chemical shift effect of SPEN MRI	22
2.5 Super-resolved reconstruction for SPEN MRI	23
2.5.1 Principle of super-resolved reconstruction	23
2.5.2 Conjugate gradient algorithm with singular value decomposition	24

2.5.3 Partial Fourier transform algorithm.....	25
2.5.4 Deconvolution.....	27
2.5.5 Hybrid method combined random sampling with compressed sensing	28
2.5.6 Super-resolved enhancing and edge deghosting algorithm	30
References.....	32
Chapter 3 CEST imaging based on single-shot SPEN MRI.....	37
3.1 Introduction.....	37
3.2 Principle and method of CEST imaging based on single-shot SPEN.....	38
3.2.1 Principle of CEST imaging based on single-shot SPEN	38
3.2.2 Quantification of CEST/NOE.....	40
3.3 Sample preparation and data acquisition.....	41
3.3.1 Sample preparation	41
3.3.2 Data acquisition	42
3.4 Experimental results.....	43
3.4.1 Result of creatine phantom	43
3.4.2 Result of in vivo tumor rat brain.....	45
3.5 Discussion	47
3.6 Summary.....	50
References.....	50
Chapter 4 Reconstruction for water-fat separated imaging based on single-shot SPEN	57
4.1 Introduction.....	57
4.2 Reconstruction method for water-fat separated imaging based on single- shot SPEN	58
4.3 Experimental methods.....	63
4.4 Experimental results.....	64
4.4.1 Numerical simulation.....	64

4.4.2 Water-oil phantom validation.....	65
4.4.3 In vivo rat imaging.....	67
4.5 Discussion	68
4.5.1 Spatial resolution comparison of separated water/fat image	68
4.5.2 The necessity of reconstructing with prior knowledge.....	69
4.5.3 The significance of the new method for water-fat separation based on single-shot imaging.....	70
4.6 Summary.....	71
References.....	72
Chapter 5 Summary and prospect.....	77
5.1 Summary.....	77
5.2 Prospect.....	78
Publications.....	79
Acknowledgments.....	81

厦门大学博硕士学位论文摘要库

作者姓名：黄建攀

论文题目：基于单扫描时空编码的化学交换饱和转移成像和水脂分离成像重建

作者简介：黄建攀，男，1991年08月出生，2014年09月师从于厦门大学蔡淑惠教授和蔡聪波副教授，于2017年06月获硕士学位。

中文摘要

超快速成像是磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)领域的研究热点之一，其良好的时间分辨率不仅能够提高磁共振成像的工作效率和减轻运动伪影，而且促使了许多动态成像技术的产生。平面回波成像(echo planar imaging, EPI)作为一种应用广泛的超快速成像技术，在时间和空间分辨率方面都有出色的表现。然而在高场条件下，EPI图像很容易受到不均匀场和化学位移效应的影响而产生伪影和畸变。由Frydman小组提出的单扫描时空编码磁共振成像(spatiotemporally encoded MRI, SPEN MRI)技术不仅保留了EPI在时间分辨率方面的优势，而且具有较强的抵抗不均匀场和化学位移效应的能力。在超分辨率重建算法的辅助下，SPEN MRI可以重建出与EPI空间分辨率相当的图像。凭借这些优势，SPEN MRI迅速在众多动态成像领域得到应用。本文主要围绕单扫描 SPEN MRI 的成像方法、重建和应用等方面展开了一系列研究，主要工作包括以下三个部分：

一、全面地阐述了单扫描 SPEN MRI 的成像原理、方法及特性。具体包括二次相位的产生机制、SPEN 信号局部自旋贡献性、完全编解码的梯度要求及抗不均匀场和化学位移效应的机理。系统地分析了超分辨率重建的必要性和原理，介绍了五种目前已被证实可以取得良好结果的超分辨重建算法，包括奇异值分解(singular value decomposition, SVD)预处理的共轭梯度法、去卷积法、部分傅里叶法、随机采样和压缩感知相结合的混合算法以及超分辨率提升与边缘伪影去除法。

二、提出一种基于单扫描 SPEN MRI 的化学交换饱和转移(chemical exchange saturation transfer, CEST)成像方法。CEST 成像及其扩展出来的核间 Overhauser 加强(nuclear Overhauser enhancement, NOE)效应已被证明具有检测代谢物和识别

肿瘤的能力。我们利用一个结合了全变分(total variation, TV)正则项和边缘加权约束的 l_1 范数最优化问题来超分辨率重建 SPEN 图像。实验结果证明了这种 CEST-SPEN MRI 新方法不仅保持了 CEST-EPI 的快速成像的能力, 而且其对不均匀场和化学位移的抵抗能力可以帮助其获得比 CEST-EPI 更好的 CEST/NOE 对比图和更准确的 Z 谱。

三、提出一种基于单扫描 SPEN MRI 的水脂分离重建方法。在利用单个回波求解包含水和脂两种成分的线性方程组时, 方程的欠定性会导致重建出来的分离图像的空间分辨率减半。我们利用水脂条件下的 SPEN 点扩散函数来构造新的线性方程组, 并结合化学位移相关的先验信息来重建水脂分离图像。实验结果证实了新方法可以提供比传统共轭梯度法空间分辨率更高、混叠伪影更少和信噪比更好的水脂分离图像。

关键词: 磁共振成像; 时空编码; 化学交换饱和转移; 水脂分离; 超分辨率重建

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库