

医学影像

S09

Medical Imaging and Image Analysis  
青岛厅 Qingdao Conf. Rm.

主席：夏 灵  
Chair: Xia Ling



2019年11月15日 星期五 13:30-17:40

时间	演讲者姓名和单位	演讲题目
13:30-13:40	夏 灵 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院	致欢迎辞
13:40-14:00	厉力华 杭州电子科技大学生命信息与仪器工程学院	肿瘤影像基因组学研究的若干新进展
14:00-14:20	陈新建 苏州大学电子信息学院	高度近视相关眼科OCT影像诊断与分析
14:20-14:40	罗建文 清华大学生物医学工程系	基于多平面波并行发射波束合成的三维高帧频超声成像方法
14:40-15:00	张道强 南京航空航天大学计算机科学与技术学院	基于深度学习的脑连接网络分析及应用
15:00-15:20	徐 军 南京信息工程大学信息与控制学院	面向疾病伴随诊断的影像和病理图像计算
茶歇 ( 15:20-15:40 )		
15:40 -16:00	梁 栋 中国科学院深圳先进技术研究院	基于模型的深度学习磁共振成像
16:00-16:20	郭 华 清华大学医学院生物医学工程系	高分辨率等体素3D扩散成像
16:20-16:40	王 鹤 复旦大学类脑智能科学与技术研究院	缺血性脑卒中早期智能影像学诊断
16:40-17:00	张 祎 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院	基于实时频率漂移校正的新型磁共振化学交换饱和转移成像序列
17:00-17:20	陈 阳 东南大学计算机科学与工程学院	基于特征学习的低信噪比医学图像重建
17:20-17:40	刘华锋 浙江大学	PET图像重建：从稀疏表达到深度学习
日期 ( 2019年11月16日 星期五 8:30-16:40 )		
时间	演讲者姓名和单位	演讲题目
8:30-8:50	邬 霞 北京师范大学人工智能学院	基于神经反馈技术的认知功能增强研究

8:50-9:10	王洪凯 大连理工大学生物医学工程学院	个性化可变形数字中国人统计图谱的构建及应用
9:10-9:30	吴丹 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院	基于弥散磁共振的大脑微结构成像
9:30-9:50	蒋明峰 浙江理工大学信息电子学院	基于张量鲁棒主成分分析的高维磁共振图像重构研究
茶歇 ( 9:50-10:00 )		
Session 1 : 医学影像与深度学习		
10:00-10:10	魏建华 中国科学院深圳先进技术研究院	基于深度神经网络的儿童气道树自动提取
10:10-10:20	邹晓晴 中山大学新华学院	基于改进的分水岭和区域生长法的肝癌病灶分割算法研究
10:20-10:30	杨欣雨 济南大学	基于深度对抗网络的自动心脏磁共振图像分割
10:30-10:40	郭雯 武汉大学	使用密集全连接卷积网络进行宫颈癌患者CTV自动预勾画
10:40-10:50	张德蓉 电子科技大学	基于局部相位信息的膈肌超声图像分割与膈肌移动度测量
10:50-11:00	屈若为 河北工业大学	基于改进的线性迭代聚类与卷积神经网络的粘连细胞显微图像分割与计数
11:00-11:10	李浩天 浙江大学	基于U-net神经网络和超分辨率成像方法绘制胎儿大脑图谱
11:10-11:20	罗宇豪 中国科学技术大学	基于深度卷积神经网络的早产儿视网膜病变plus病变的自动诊断与量化分析
11:20-11:30	谢莹鹏 深圳大学	基于半监督式多通道生成对抗式网络的视网膜病变辅助诊断
11:30-11:40	倪扬帆 中国科学院上海技术物理研究所	基于多感受野网络与低剂量CT的肺部磨玻璃结节自动检测算法
11:40-11:50	张其阳 中国科学院深圳先进技术研究院	端到端CT重建网络中实现域变换作用的全连接层权重可视化研究
11:50-12:00	任广彬 华中科技大学	基于深度学习的光纤束传输图像的恢复
午休 ( 12:00-13:30 )		
Session 2 : 前沿医学成像技术		
13:30-13:40	丁明跃 华中科技大学	乳腺超声断层成像及其产业化
13:40-13:50	黄耀才 中国科学院深圳先进技术研究院	高分辨率超声胶囊内窥镜成像技术研究
13:50-14:00	董怡婧 中国科学院深圳先进技术研究院	非人灵长类动物脑功能超声成像技术研究
14:00-14:10	郝鹏慧 深圳大学	一种基于多角度扫描的磁声电成像方法研究
14:10-14:20	许书钰 北京科技大学	基于双能窗技术提升双层晶体脑PET灵敏度的仿真研究
14:20-14:30	邝忠华 中国科学院深圳先进技术研究院	基于双端读出探测器的高清晰磁兼容小动物PET成像系统

14:30-14:40	任建勋 清华大学	基于颅外噪声成分分解的功能磁共振影像降噪算法
14:40-14:50	张顺起 中国医学科学院生物医学工程研究所	基于最长线性移位寄存器序列编码的磁声成像处理方法研究
14:50-15:00	魏清阳 北京科技大学	一种用于SPECT成像的并排LYSO/GAGG复合晶体探测器
茶歇 ( 15:00-15:20 )		
Session 3 : 医学影像与临床		
15:20-15:30	周著黄 北京工业大学	超声背散射零差K成像评估肝纤维化
15:30-15:40	王 蕾 西北工业大学	基于电阻抗成像技术的难治性癫痫发作检测研究
15:40-15:50	刘晓波 电子科技大学	基于机器学习的脑电 $\beta$ 节律频数分析法
15:50-16:00	曲汉阳 山东第一医科大学 ( 山东省医学科学院 )	基于数据驱动方法的高眼压青光眼病人的视觉皮层分区研究
16:00-16:10	郑炜豪 浙江大学	高功能自闭症人群大脑结构拓扑特性的跨年龄变化模式研究
16:10-16:20	程传力 中国科学院深圳先进技术研究院	基于磁共振多参数定量成像的棕色脂肪活性动态特性研究
16:20-16:30	周 到 中南民族大学	基于胶囊内窥镜的消化道物体尺寸测量
16:30-16:40	贾蒙丽 河南科技大学	基于普通摄像头的心率检测方法研究



主席 夏 灵

Email: xialing@zju.edu.cn

浙江大学教授兼生物医学工程研究所所长，博导，中国生物医学工程学会理事、医学图像信息与控制分会副主任委员，教育部新世纪优秀人才支持计划入选者。研究方向为心脏建模仿真，心电图能成像，磁共振成像关键技术。



特邀演讲者 厉力华

Email: lilh@hdu.edu.cn

杭州电子科技大学教授，博导，国家杰出青年科学基金获得者，“新世纪百千万人才工程”国家级人选。浙江省科技发展咨询委员会委员、之江实验室学术咨询委员会委员，中国图象图形学会医学影像专业委员会副主任委员、中国生物医学工程学会图像信息与控制专业委员会副主任委员。主要从事智能生物医学研究，围绕疾病早期检测、诊断和精准化治疗中的医学影像和生物信息处理、智能化诊疗以及医疗器械的研发等问题开展研究创新。



副主席 刘华锋

Email: liuhf@zju.edu.cn

教授，浙江大学博士毕业，国家杰出青年科学基金获得者。获国际学术奖项 5 次，获浙江省科技进步二等奖( 排名 1 )，吴文俊人工智能创新奖( 排名 1 )。正在主持国家重大科研仪器项目，多项国家自然科学基金面上项目和浙江省项目等。主要研究兴趣为具有非线性、随机性、不确定性、多层次等特点的心脏系统的建模、动力学分析、PET 成像提供新理论和新方法。



特邀演讲者 陈新建

Email: xjchen@suda.edu.cn

苏州大学特聘教授、博导，国家重点研发计划变革性专项项目负责人，国家优秀青年基金获得者，国家重大基础研究计划( 973 ) 青年科学家项目首席科学家。主要研究方向：医学影像处理，模式识别，图像分析，三维建模与可视化。



### 特邀演讲者 罗建文

Email: luo\_jianwen@tsinghua.edu.cn

清华大学生物医学工程系长聘副教授、博导，青年海外高层次人才引进计划入选者，优秀青年基金获得者，国家重点研发计划青年科学家项目负责人。主要研究方向为超声成像、荧光分子成像、光声成像。



### 特邀演讲者 徐军

Email: xujunus@gmail.com

南京信息工程大学教授，中国生物医学工程学会医学图像与控制分会委员。主要研究方向：组织病理图像分析，医学图像计算，深度学习及大数据驱动的医学数据分析。主要致力疾病的自动识别与诊断及亚型的分类、基于图像表型描述的疾病量化和表征等。



### 特邀演讲者 郭华

Email: huaguo@tsinghua.edu.cn

清华大学医学院生物医学工程系教授，博士生导师。主要研究方向：磁共振技术，高解析度神经影像、扩散成像，AI 辅助的影像技术。



### 特邀演讲者 张玮

Email: yizhangzju@zju.edu.cn

浙江大学生物医学工程与仪器科学学院研究员、博导，青年海外高层次人才引进计划入选者，美国约翰霍普金斯大学兼职助理教授，国际医学磁共振协会 ( ISMRM ) 青年会士。主要研究方向：磁共振成像技术，包括磁共振图像重建，磁共振序列设计，医学影像处理等。



### 特邀演讲者 邬霞

Email: wuxia@bnu.edu.cn

北京师范大学教授、博导，国家优秀青年基金获得者，2012 年入选教育部新世纪优秀人才支持计划。主要研究基于神经影像的数据处理方法，致力于运用信息科学的基本理论和方法，与认知神经科学相结合，进一步深入揭示人类高级认知功能的神经机制。



### 特邀演讲者 吴丹

Email: danwu.bme@zju.edu.cn

浙江大学生物医学工程与仪器科学学院研究员、博导，青年海外高层次人才引进计划入选者，中国生物医学工程学会医学人工智能分会青年委员，国际医学磁共振协会 ( ISMRM ) 青年会士。主要研究方向：磁共振成像技术及临床应用，医学影像处理，人工智能与医学影像大数据。



### 特邀演讲者 张道强

Email: dqzhang@nuaa.edu.cn

南京航空航天大学教授、博导，计算机科学与技术学院副院长，国家优秀青年基金获得者，“万人计划”青年拔尖人才，中国图学学会图学大数据专委会副主任、中国图象图形学会理事。主要从事脑影像智能分析及其在脑疾病早期诊断中的应用研究。



### 特邀演讲者 梁栋

Email: dong.liang@siat.ac.cn

中国科学院深圳先进技术研究院研究员、医学人工智能中心主任兼医学成像中心副主任、IEEE 高级会员、中国生物医学工程学会青年工作委员会副主任委员。主要研究方向为信号处理、机器学习与磁共振成像的交叉研究。



### 特邀演讲者 王鹤

Email: hewang@fudan.edu.cn

复旦大学类脑智能科学与技术研究院研究员，张江国际脑影像中心执行主任。主要研究方向：磁共振成像方法与重建、肿瘤影像学、影像组学、人工智能在医学影像中的应用、计算机辅助诊断软件等。



### 特邀演讲者 陈阳

Email: chen yang.list@seu.edu.cn

东南大学计算机科学与工程学院教授，博士生导师，中国生物医学工程学会医学图像与控制分会副主任委员。主要研究方向：医学图像成像和计算，及大数据驱动的医学数据智能分析。



### 特邀演讲者 王洪凯

Email: wang.hongkai@dlut.edu.cn

大连理工大学生物医学工程学院副教授、博导。主要研究方向：医学图像的分割、配准，解剖学和功能学数字图谱建模，计算机辅助诊断等。



### 特邀演讲者 蒋明峰

Email: m.jiang@zstu.edu.cn

浙江理工大学教授，信息学院副院长，浙江省高校中青年学科带头人。主要研究方向为计算机医学影像图像处理，生物医学信号检测与处理，反演问题及正则化技术。

### S09-01

#### 肿瘤影像基因组学研究的若干进展

厉力华

杭州电子科技大学

Email: lilh@hdu.edu.cn

恶性肿瘤已成为危害人类健康的重大疾病，如何预防、早期发现和正确治疗肿瘤是一个热点和难点问题。由于肿瘤的复杂性，仅仅基于基因组特征的肿瘤精准医疗面临一些瓶颈，需要联合其它特征来进行分析。例如，肿瘤的异质性是恶性肿瘤的主要特征，它表现为肿瘤内细胞存在多种基因型、多种表达方式。另外，肿瘤的发生、发展和演进与肿瘤细胞所处的环境密切相关，两者既有相互依存、相互促进，亦有相互拮抗、相互斗争的关系。然而，迄今为止仅仅通过基因组特征分析难以有效解析量化肿瘤的异质性和所处的微环境特性，难以达到诊疗的“精准化”目标。影像技术是研究肿瘤结构、形态和功能等重要手段，肿瘤异质性和微环境特性的表型可以通过影像学方法实现定量化、动态化、精确化描述。影像基因组学研究是将影像学和基因组学相结合，希望通过对跨模态 / 组学数据信息的分析利用，揭示肿瘤在分子表达与影像表型间的关系，提供肿瘤及其环境的影像学信息解析方法，从信息学的角度为肿瘤精准诊疗探索一条新思路和新方法。本报告将结合我们近年来所开展的工作，介绍面向肿瘤精准诊疗的影像基因组学方法和临床应用的若干研究进展。

#### A Brief Review of Radiogenomic Research of Cancer

Lihua Li

Hangzhou Dianzi University

Cancer is the leading disease in the world with high morbidity and mortality rates. One widely advocated strategy for improving cancer patient care and the efficacy of medical resources is development of personalized cancer medicine. Scientific studies have repeatedly shown that gene expression reflects the cause of cancer and the treatment response and prognosis, which is the basis of personalized therapy. However, due to the fact that molecular profiling approach is invasive and only reflects the information at one snapshot, it has some limitations in clinical practice. Radiogenomics is directed to an innovative study of imaging based personalized therapy of cancer with an objective to build models for treatment response and prognosis prediction. It is based on a scientific fact that changes in the transcriptome lead to changes in the proteome and eventually lead to changes in the physiome, which is measurable by noninvasive imaging. The fundamental hypothesis is that quantitative analysis of image feature and its association with gene expression will better allow therapies to be tailored to individual patients. The outcome of this research will be of great significance both for basic research and clinical practice of cancer. This talk will present a brief review of recent progress of research in this field with a focus on breast cancer.

### S09-02

#### 高度近视相关眼科 OCT 影像诊断与分析

陈新建

苏州大学

Email: xjchen@suda.edu.cn

随着信息化社会的到来，电子产品逐渐普及，全世界近视患者越来越多。中国的形式尤其严峻，近视患者已超过 6 亿，青少年近视防控已上升成为国家战略。近视患者中，高度近视患者尤其值得关注和重视。高度近视易导致病理性高度近视眼病，进而引发视网膜出血、脱离等，严重者导致致盲。OCT 医学成像为高度近视所引发的眼科疾病的诊断和治疗提供了重要技术支持和指导。本报告围绕基于人工智能的高度近视相关眼科 OCT 影像诊断与分析进行展开。报告将主要介绍基于高度近视脉络膜分层方法研究，条纹状损伤检测方法研究，以及其他高近相关眼病上的诊断与量化分析研究。

#### Diagnosis and Analysis of Ophthalmology OCT Images with High Myopia

Xinjian Chen

Suzhou University

With the developing of information society, electronic products are becoming more and more popular. As a result, more and more people are suffering from myopia, which is particularly serious in China. There are more than 600 million patients with myopia in China. The amount is so huge that the prevention and control of myopia in teenagers is becoming a national strategy. The high myopia get more and more attention since since it will lead to pathological high myopia, which will further lead to retinal hemorrhage and detachment. For the serious case, it will even lead to blindness. OCT imaging is an important technology for diagnosis and treatment of eye diseases related to high myopia. The topic in this talk is AI based diagnosis and analysis of ophthalmology OCT images with high myopia. There are three parts in this

report, which are the introduction of the methods for choroid segmentation in OCT images with high myopia, the methods for linear lesion detection and the study of diagnosis and quantitative analysis for the eye diseases related to high myopia.

### S09-03

#### 基于多平面波并行发射波束合成的三维高帧频超声成像方法

罗建文

清华大学

Email: luo\_jianwen@tsinghua.edu.cn

基于面阵探头的三维高帧频成像方法是超声研究领域里的一大热点。目前的方法需要在成像帧频和图像质量之间进行折衷。针对成像帧频和图像质量的矛盾，本文提出了多平面波并行发射成像（MPT）的新方法，其发射波束结合了球面波空间相干复合成像（DWC）和多聚焦波并行发射成像（MLT）的特点。计算机仿真和标准仿体实验证明，MPT可以在相同成像帧频条件下达到更高的图像质量。进一步，针对三维成像受运动伪影影响的问题，本文在DWC和MPT中，利用改进的超声多普勒算法进行运动伪影矫正。计算机仿真和初步仿体实验证明了矫正方法的可行性，并且证明经过矫正的MPT成像效果要优于DWC。提出的方法为新型三维高帧频超声成像提供更为有效的解决思路。

#### High Frame Rate 3D Ultrasound Imaging Based on Multi-Plane-Transmit (MPT) Beamforming

Jianwen Luo

Tsinghua University

Matrix array based high frame rate 3D imaging is a hot topic in ultrasound research. However, the state-of-the-art methods have to compromise between frame rate and image quality. To mitigate the trade-off between frame rate and image quality, we propose multi-plane-transmit (MPT) beamforming. In MPT, the transmit beams combine the features of the state-of-the-art methods, i.e., diverging wave compounding (DWC) and multi-line-transmit (MLT). Computer simulations and experimental validations on a standard phantom demonstrate that the proposed MPT setups can achieve better image quality at a similar frame rate compared with DWC and MLT, respectively. To mitigate the problem of motion artifacts in 3D imaging, we propose motion compensation methods in MPT and DWC, based on a modified ultrasound Doppler algorithm. Computer simulations and preliminary phantom experiments demonstrate the feasibility of the proposed methods. Furthermore, it also proves that MPT with motion compensation outperforms compensated DWC. The proposed methods can be effective solutions to new high frame rate ultrasound imaging strategies.

### S09-04

#### 脑影像智能分析与脑疾病早期诊断

张道强

南京航空航天大学

Email: dqzhang@nuaa.edu.cn

近年来，“脑科学计划”吸引了各国政府和公众的广泛关注。脑影像技术是研究脑科学的重要工具之一，然而由于脑影像数据所固有的高维度、多模态、异构和时变等特性，对其进行快速有效分析是当前研究的关键问题之一。在本报告中，我们将首先简要介绍脑影像分析的基本方法，然后重点介绍我们近几年在基于机器学习的脑影像/脑网络智能分析方面的相关工作，并介绍其在脑疾病早期诊断、影像遗传学、脑认知与脑解码中的应用。

#### Intelligent Analysis of Brain Imaging for Early Diagnosis of Brain Diseases

Daoqiang Zhang

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics

In recent years, the brain research projects have received considerable public and governmental attentions worldwide. Brain imaging technique is an important tool for brain science research. However, due to the high-dimensional, multi-modality, heterogenous, and time-variant characteristics of brain images, it is very challenging to develop both efficient and effective methods for brain image analysis. In this talk, I will introduce our recent works on intelligent methods of brain imaging, based on machine learning techniques. Specifically, this talk will cover the topics including multi-modal brain image fusion and classification, image genomic association analysis, functional alignment and brain network analysis, as well as their applications in early diagnosis of brain disease and brain decoding.

### S09-05

#### 面向疾病伴随诊断的影像和病理图像计算

徐 军

南京信息工程大学

Email: xujunus@gmail.com

新一代影像计算和计算病理技术的发展可能会创建基于图像的伴随诊断分析的工具。基于图像计算的伴随诊断工具将根据患者具体的风险情况，运用预后和预测工具对患者制定最优的治疗方案。我们的课题组研究与开发面向影像和常规病理切片的定量图像分析、模式识别、机器学习、计算机视觉等先进的人工智能方法。研究成果主要有：1) 自动识别与诊断以及亚型的分类，2) 基于图像表型描述的疾病量化和表征，3) 转移风险、恶性程度的预测、预后以及患者对治疗的反应等疾病的自动检测、诊断、预测和预后系统。我们期望这些研究成果未来能够辅助医生进一步改善疾病的预防、诊断及治疗。

#### Medical Image Computing for Companion Diagnostics on Disease

Jun Xu

Nanjing University of Information Science & Technology

The development of medical image computing technology of next-generation may create tools for image-based companion diagnostic analysis. A companion diagnostic tool based on image computing will leverage the prognostic and predictive tools to develop an optimal treatment plans for the patients based on the patient's specific risk profile. Our group focused on the utility of medical image computing tools in studying (a) disease identification and sub-typing, (b) disease quantification and characterization based on image phenotype description, (c) prediction of prognosis and treatment response. It is hoped that our researches will help doctors to further improve the prevention, diagnosis and treatment of diseases in the future.

### S09-06

#### 基于模型的深度学习磁共振成像

梁 栋

中国科学院深圳先进技术研究院南京信息工程大学

Email: dong.liang@siat.ac.cn

缓慢的采集速度是制约磁共振成像在临床广泛应用的瓶颈问题。过去十年基于压缩感知的快速成像技术极大的提高了磁共振的采集速度，但是同时也面对着很多挑战如重建时间长、参数选择困难，丢失细节等。近年来，借助深度学习的强大学习能力来解决上述问题已经成为研究热点。本次报告将结合我们团队的工作介绍这一领域的现状及未来的发展趋势。

#### Dong Liang, Shenzhen Institutes of Advanced Technology Chinese Academy of Science

Jun Xu

Nanjing University of Information Science & Technology

Slowing imaging speed is the bottleneck of the wide application of MRI. In the past decade, compressed sensing based fast imaging approach has shown significant success to significantly speed up MR imaging. However, it faces some challenges such as long reconstruction time, difficult parameter selection and losing details. Very recently, deep learning has also shown potential to address these issues and has become a hot topic. This talk will introduce the existing work and future direction on this topic.

### S09-07

#### 高分辨率等体素 3D 扩散成像

郭 华

清华大学

Email: huaguo@tsinghua.edu.cn

磁共振扩散成像作为目前唯一可以无创检测在体水分子扩散性质的技术，在临床诊断和脑科学研究中发挥着重要作用。常规磁共振扩散成像采用的单次激发 EPI 成像技术，目前仍存在多方面的不足：主要包括图像变形大和分辨率低。二维的多次激发 EPI 扩散成像方式可以有效提高层内分辨率，减少图像变形，但是受到 RF 脉冲选层轮廓和扩散图像信噪比的影响，层间分辨率仍然比较低。而高分辨率等体素扩散成像在精准临床影像诊断和神经科学研究中具有非常重要的意义，它能够用来检测细微的神经纤维连接和灰质结构，还可以用来活体

检测微观的病理信息。高分辨率等体素扩散成像的主要挑战是如何在不降低成像效率的前提下，保证扩散图像具有足够的信噪比。除使用超高场磁共振扫描仪外，还可以使用高信噪比效率的采集策略，在本报告中，我们将介绍一种 3T 上有效的高分辨率等体素扩散成像方法，并与多层同时激发结合，提高扫描效率和信噪比效率。我们将该技术称为多段同时激发技术。

### 3D High-resolution Isotropic Diffusion Imaging

Hua Guo

Tsinghua University

At present, diffusion MRI (dMRI) is the only way to detect water molecular diffusion non-invasively, and has been an essential imaging tool for clinical diagnosis and in vivo brain study. The routine technique for dMRI is single-shot echo planar imaging, which may suffer from severe geometric distortion and low image resolution. Multi-shot EPI is an effective way to improve in-plane resolution and reduce image distortion for 2D dMRI. However, the through-plane resolution cannot be improved due to limited fidelity of the RF slice profile and SNR in 2D imaging. But high-resolution isotropic dMRI is highly needed for precision diagnosis and neuroscience studies as it can provide fine fiber structure detection, complex fiber architecture depiction and cortical anisotropy analysis. More importantly, high-resolution dMRI has the potential to provide in vivo histological information quantitatively. The main challenge for high-resolution isotropic dMRI is to maintain sufficient SNR while keeping acquisition efficiency. Besides using super-high MRI systems, high acquisition efficiency methods at 3T can also be used. In this report, we will introduce a high-resolution isotropic dMRI technique by using 3D multi-slab acquisition. To further improve the imaging efficiency and SNR efficiency, an attempt is also made to combine multi-band imaging with the multi-slab acquisition. We call this simultaneous multi-slab dMRI.

### S09-08

#### 缺血性脑卒中早期智能影像学诊断

王 鹤

复旦大学

Email: hewang@fudan.edu.cn

目的：脑卒中毫无疑问是当代人类社会的第一杀手，早期预警可很大程度上减少脑卒中的发生，另外，从急诊的常规影像上准确预测术后出血的可能性有利于指导卒中治疗。

方法：本研究包含 2000 例脑卒中高危患者的磁共振影像数据，以及 141 例脑卒中急性期的 CTA 影像和治疗后一段时间的磁共振 DWI 影像。由医生对 2000 例患者的 T2 或 T2 Flair 图像进行 Fazekas 打分和 Ylikoski 打分。研究小组用深度学习算法对图像进行白质高信号自动提取，然后进行对医生打分的学习，最后统计机器打分的准确性。另外也用机器学习的方法分析治疗前的 CTA 与治疗后出血的相关性。

结果：机器学习脑白质高信号打分最接近于最资深的医生打分，准确率显著高于低年资医生；发现卒中梗死区域的术前 CTA 纹理特性可以较好的预测术后出血的发生，准确率显著高于用健侧区域纹理预测的结果，同时也高于用平扫 CT 预测的准确率。

### Intelligent Imaging Diagnosis of Ischemic Stroke in Early-Stage

He Wang

Fudan University

Objective: Stroke is undoubtedly the No. 1 killer of human. Early warning can greatly reduce the occurrence of stroke. In addition, accurate prediction of the possibility of postoperative bleeding from the conventional image of emergency is conducive to guiding the treatment of stroke.

Methods: This study included 2000 high-risk stroke patients with magnetic resonance imaging data, and 141 acute stroke patients with CTA images and MR DWI images after treatment for a period of time. Fazekas score and Ylikoski score were performed on T2 or T2 Flair images of 2000 patients by doctors. The research team used the deep learning algorithm to extract the white matter high signal automatically, then carried on the study of the doctor scoring, and finally counted the accuracy of the machine scoring. In addition, machine learning was used to analyze the correlation between CTA before treatment and bleeding after treatment.

Results: The score of white matter result from machine learning was the closest to that of the most senior doctors, and the accuracy was significantly higher than that of the junior doctors. It was found that preoperative CTA texture characteristics in stroke infarction area could better predict the occurrence of post-operative bleeding, and the accuracy was significantly higher than that predicted by contralateral texture, and also higher than that predicted by non-contrast CT.

### S09-09

#### 基于实时频率漂移校正的新型磁共振化学交换饱和和转移成像序列

张 祎

浙江大学

Email: yizhangzju@zju.edu.cn

磁共振化学交换饱和和转移 (CEST) 成像是一种新型的分子成像技术, 可检测内源性低浓度生物分子。然而, CEST 成像对主磁场 (B0) 频率漂移比较敏感, 主磁场 (B0) 频率漂移会导致 CEST 图像产生伪影。因此, 我们提出一种新型 CEST 成像序列 (FS-CEST), 该序列在常规 CEST 序列 (NFS-CEST) 的基础上增加频率稳定模块实现实时频率漂移校正, 从而校正由频率漂移所引起的 CEST 图像伪影。

#### Improved Chemical Exchange Saturation Transfer Imaging with Real-Time Frequency Stabilization

Yi Zhang

Zhejiang University

Magnetic Resonance Chemical Exchange Saturation Transfer (CEST) imaging is an emerging molecular imaging technique, which can detect endogenous low-concentration biomolecules in vivo. However, CEST imaging is sensitive to the frequency drift of the main magnetic field (B0) which can result in substantial artifacts in the calculated CEST maps. Here, we proposed a new frequency-stabilized CEST (FS-CEST) imaging sequence, which added a real-time frequency stabilization module in front of the conventional non-frequency-stabilized CEST sequence. This new FS-CEST sequence can correct the artifacts caused by the temporal drift of the B0 frequency.

### S09-10

#### 基于特征学习的低信噪比医学图像重建

陈 阳

东南大学

Email: chenyang.list@seu.edu.cn

医学成像是一种能够透视人体内部的可视化技术, 旨在实现准确诊断和精准治疗。重建算法主要用于生成图像, 如计算机断层扫描 (CT), 超声 (US), 正电子发射断层扫描 (PET), 单光子发射计算机断层扫描 (SPECT), 磁共振成像 (MRI)/ 功能磁共振成像 (fMRI) 和荧光显微成像。然而, 由于受到低信噪比 (SNR)、光子稀缺、测量时间或电离辐射等内在限制, 医学图像重建在许多应用中往往是一个不适定的逆问题, 例如低剂量 (x 射线) 计算机断层扫描 (LDCT)、PET/SPET 和扩散加权磁共振成像。利用传统算法 (如 CT 中的滤波反投影 (FBP) 法) 求解逆问题, 往往会导致图像质量差, 诊断精度降低。近年来, 机器学习尤其是深度学习技术在医学成像、医学图像处理和分析等领域得到广泛的发展, 已经成为医学图像重建的一种新兴方法。结合在 CT 和 MRI 中的应用范例, 本讲座介绍、解释和讨论基于卷积网络的特征学习在低信噪比医学图像重建中的应用。

#### Feature Learning for Medical Image Reconstruction with Low SNR

Yang Chen

Southeast University

Medical Imaging is a technique to create visual representations of the interior of the body, with the aim of making accurate diagnosis and optimized treatments. Reconstruction algorithms need to be applied to produce images, such as computer tomography (CT), ultrasound (US), positron emission tomography (PET), single photon emission computed tomography (SPECT), magnetic resonance imaging (MRI)/functional MRI (fMRI) and fluorescence microscopy. However, due to the limits of intrinsic low signal to noise ratio (SNR), photon scarcity, measurement duration, or radiation concern, medical image reconstruction is often an ill-posed inverse problem in many applications, e.g. the low dose (X-ray) computed tomography (LDCT), PET/SPET and diffusion-weighted magnetic resonance imaging. Solving inverse problem via traditional algorithm (e.g. Filter-Back-Projection (FBP) method in CT) often leads to poor image quality and lowered diagnostic accuracy. Recently, machine learning, especially deep learning, techniques are being actively developed worldwide for medical imaging, medical image processing and medical image analysis, and has become an emerging approach for medical image reconstruction. With exemplar applications in CT and MRI, this talk introduces, explains and discusses Convolution Network based Feature Learning for Medical Image Reconstruction with Low SNR.

**S09-11****PET 图像重建：从稀疏表达到深度学习**

刘华锋

浙江大学

Email: liuhf@zju.edu.cn

PET 成像技术通过对注入生物体内示踪剂的放射性分布进行显像，能够从分子水平上发现细胞的代谢异常，为疾病的早期诊断和预防提供了有效依据。随着对时间分辨率的要求越来越高，每一帧测量数据中有限的光子计数不断地挑战着动态 PET 成像质量。此时，由于单帧数据的光子计数不足无法较好地反映出统计特性，利用基于统计特性的重建算法对每一帧数据进行单独重建的方法往往无法得到十分准确的重建结果。本次报告中，将涉及硬件与软件两个方面，讲述我们的研究工作。

**Reconstruction of the PET images: From Sparse Representation to Deep Learning**

Huafeng Liu

Zhejiang University

High quality and fast reconstruction speed of Positron emission tomography (PET) image are essential for its clinical application. In this paper, we propose a deep learning based framework for PET image reconstruction from sinogram domain directly. In the framework, conditional Generative Adversarial Networks (cGANs) is constructed to learn a mapping from sinogram data to reconstructed image and generate a well-trained model. The entire networks consist of discriminator which using Patch-Gan strategy and generator which utilizing U-net structure, which are alternately trained.

**S09-12****基于神经反馈技术的认知功能增强研究**

邬霞

北京师范大学

Email: wuxia@bnu.edu.cn

大脑是人最重要的器官，也是最复杂的器官，控制着人体的活动、情绪以及各种功能。学习和经验可以改变大脑的结构和工作方式，这一现象被称为神经可塑性。长期以来，人们通过各种手段开发大脑、提升大脑功能。随着脑成像技术的发展、神经科学基础研究和临床研究的深入，人们开始尝试将大脑的神经信号记录下来，并实时反馈给大脑，建立起闭环系统，以促进学习效率或纠正学习过程中的错误。目前的神经反馈研究主要是基于实时 fMRI 和脑电两种神经影像技术展开的。本次报告将介绍，利用这两种神经影像技术，分别对人的情绪和工作记忆进行反馈训练。已开展以下三方面的研究：1、在任务执行的过程中，相关脑状态激活是怎样的？2、脑激活状态能否通过神经反馈进行自我调节？3、脑区激活状态的改变能否导致行为的改变？这些研究对于未来的临床治疗，康复研究有一定的帮助。此外，在目前大数据、云计算的技术支撑下，可进一步研发便携式设备，实时记录人们在日常生活状态中的生理数据等，将这些数据存储并上传，并给出相关的合理建议，也可起到实时反馈、实时调节的效果。

**Research on Cognitive Function Enhancement Based on Neural Feedback**

Xia Wu

Beijing Normal University

Brain is the most important complex organ, which controls human activities, emotions and various functions. Learning and experience can change the structure and way of working of the brain, which is called as neuroplasticity. For a long time, people have developed the brain and improved its function by various means. With the development of brain imaging technology, basic neuroscience and clinical research, people began to try to record the brain's nerve signals, and real-time feedback to the brain, to establish a closed-loop system to promote learning efficiency or correct learning errors. At present, the research of neurofeedback is mainly based on real-time fMRI and EEG. This report will introduce how to use these two neuroimaging techniques to train people's emotions and working memory respectively. Three aspects will be carried out: 1. What is the activation of brain states in the process of task execution? 2. Can brain activation be self-regulated by neurofeedback? 3. Can changes in brain activation lead to behavioral changes? These studies will be helpful for future clinical treatment and rehabilitation research. In addition, with the support of current big data and cloud computing technology, portable devices can be further developed to record people's physiological data in their daily life in real time. These data can be stored and uploaded, and some reasonable suggestions can be given, which can also play the role of real-time feedback and adjustment.

### S09-13

#### 个性化可变形数字中国人统计图谱的构建及应用

王洪凯

大连理工大学

Email: wang.hongkai@dlut.edu.cn

本研究以来自全国多家大型综合性医院的上千例健康中国人全身 PET/CT 影像作为训练样本, 采用自动分割与专家手工修正相结合的方式从 CT 中分割出全身多个器官的三维解剖结构, 再用统计形状训练的方法从大量样本中提取出不同人之间的解剖学形变分量, 并提取 PET 影像功能学参数的人群分布信息, 并将这些分量与年龄、身高、体重的变化相关联, 从而构建可以改变身高和体重、并具有功能代谢信息的中国人图谱。这种图谱可用于个性化医疗信息管理、针对用户个体的产品设计、人体工程学、生物力学、电磁学建模仿真、个性化解剖结构展示、病患沟通、解剖学教育等诸多领域。

#### Personalized Deformable Statistical Atlas of Chinese Population – Construction and Applications

Hongkai Wang

Dalian University of Technology

In this project, we collected whole-body PET/CT images of healthy Chinese citizens from hospitals all over the country. Major organs and skeletons were segmented from the PET/CT images, statistical shape models of Chinese people organs are constructed based on the segmentation. Physiological parameters including organ volume, bone mass, bone intensity, PET standard uptake value (SUV) were calculated from the training data. Currently we have collected over one thousand images and obtained statistical results of organ shapes and physiological parameters. The phantoms have been used for individualized electromagnetic and biomechanical simulation, personalized medicine and medical image analysis.

### S09-14

#### 基于弥散磁共振的大脑微结构成像

吴丹

浙江大学

Email: danwu.bme@zju.edu.cn

弥散磁共振成像是无创刻画大脑组织结构的有力工具, 它能够提供在物理磁共振成像分辨率下看不见的微观层面的结构信息。本报告将在介绍基于弥散的微结构成像原理的基础上, 重点介绍我们课题组目前在研究一种依赖于时间的弥散磁共振成像技术 (tdMRI) 来定量研究大脑微结构特征。通过我们设计的新型的振荡弥散梯度场序列, 在临床成像系统上实现了多尺度弥散时间下的信号测量, 并有效提高了成像信噪比和成像速度。在此基础上, 我们建立生物物理模型, 重建了大脑微结构特性 (例如细胞大小、细胞内体积比例、细胞密度等)。我们首先在动物模型上验证了方法的有效性, 并将该方法应用于临床的新生儿缺氧缺血脑病、脑肿瘤等疾病。这项技术可用于无创检测病理情况下微结构的变化, 对临床和基础科学研究具有潜在的重要意义。

#### Brain Microstructural Imaging with Diffusion MRI

Dan Wu

Zhejiang University

Diffusion MRI is a powerful tool for noninvasive characterization of the structural organization of the brain. Especially, it can provide the microstructural information that is invisible at the spatial resolution of MRI. The presentation will briefly introduce the principle of diffusion MRI based microstructural imaging. Then we will discuss a time-dependent diffusion MRI (tdMRI) approach that our group is currently working on, to quantitatively probe the microstructural characteristics of the brain. With the novel oscillating diffusion gradient sequences that we developed, we are able to achieve diffusion MRI measurements at multiple diffusion times on the clinical MRI systems. We have also considerably improved the signal-to-noise ratio and imaging speed with the new sequences. Advanced biophysical models were used to reconstruct the microstructural properties of the brain (e.g. cell size, intracellular volume fraction, cell density, etc.). We first validated the method on animal models and applied the tdMRI technique to clinical applications, including neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy and brain tumors. Therefore, this technique can be useful for noninvasive detection of microstructural changes under pathological conditions and has potential significance for clinical and basic scientific research.

**S09-15****基于张量鲁棒主成分分析的高维磁共振图像重构研究**

蒋明峰

浙江理工大学

Email: m.jiang@zstu.edu.cn

张量鲁棒主成分分析将高维磁共振图像的张量数据分解为一个具有低秩性的背景张量数据和一个具有稀疏性的动态变化张量数据。基于张量鲁棒主成分分析方法充分利用高维磁共振数据的时空稀疏性、低秩性，可以从高欠采样 K 空间数据重构高质量的磁共振图像。为充分利用多维磁共振数据的低秩性，我们在张量核范数基础上引入一核心矩阵核范数，组成改进的低秩张量约束项，以提高张量鲁棒主成分分析方法的性能。实验结果表明，相比较高阶奇异值分解方法 (HOSVD)、矩阵低秩稀疏分解方法 (k-t SLR)，改进的张量鲁棒主成分分析方法可有效提高 3D/4D 高维磁共振图像重构的精度和速度。

**Accelerated High-Dimensional MR Imaging with Improved Robust Tensor Principal Component Analysis**

Mingfeng Jiang

Zhejiang Sci-Tech University

High-dimensional MR imaging often strikes a balance between reconstruction speed and image accuracy in its practical applications. In this talk, an improved robust tensor principal component analysis (RTPCA) method is proposed to reconstruct the high-dimensional MR imaging from highly under-sampled K-space data. The MR reconstruction problem is formulated as a high-order low rank tensor plus sparse tensor recovery problem, which is solved by Robust Tensor Principal Component Analysis (RTPCA) model with a new tensor nuclear norm (TNN). To further exploit the low rank structures in multi-way data, the core matrix nuclear norm, extracted from the diagonal elements of the core tensor under tensor Singular Value Decomposition (t-SVD) framework, is also integrated into TNN for enforcing the low rank structure in MRI datasets. The experimental results show that the proposed method outperforms state-of-the-art methods in terms of both MR image reconstruction accuracy and computational efficiency on 3D and 4D experiment datasets, especially for 4D MR image reconstruction.

**S09-OR01****超声背散射零差 K 成像评估肝纤维化**

周著黄

北京工业大学

**【目的】**肝纤维化早期检测至关重要。超声背散射统计参数成像已成为肝实质病变定量评估的重要手段之一。零差 K(homodyned K) 分布是最具有物理意义的超声背散射统计模型。我们最近的研究工作表明，超声背散射零差 K 成像能够定量评估脂肪肝 (Zhou et al. QIMS 2019; Zhou et al. Ultrasonics 2019)。但超声零差 K 成像在肝纤维评估方面的可行性尚未见文献报道。首次利用超声零差 K 成像评估临床肝纤维化，并研究了不同成像窗口大小对评估结果的影响。**【方法】**利用最新的 XU 统计法估算零差 K 模型参数  $\alpha$  (有效散射子个数) 和  $k$  (相干与弥漫信号的比值)。采用滑动窗口法构建零差 K 参数图像，成像窗口的大小 (window slide length, WSL) 为换能器脉冲长度 (pulse length, PL) 的 1-9 倍。共招募 43 名肝纤维化患者，参考标准为活检穿刺 Metavir 半定量计分 (F0-F4)。利用受试者特征工作 (ROC) 曲线评价  $\alpha$  和  $k$  成像的诊断性能。**【结果】**活检穿刺结果为: F0 = 14, F1 = 10, F2 = 6, F3 = 2, F4 = 11。因 F3 较少，将 F3 和 F4 合并为一组。分别用 AUC1、AUC2 和 AUC3 表示零差 K 成像评估肝纤维化  $\geq F1$ 、 $\geq F2$  和  $\geq F3$  的 ROC 曲线下面积 (AUC)。 $\alpha$  成像的 AUC 为: 对于 WSL = 1-9 倍 PL, (AUC1, AUC2, AUC3) = (0.77, 0.63, 0.60), (0.76, 0.62, 0.62), (0.72, 0.62, 0.57), (0.75, 0.62, 0.58), (0.75, 0.64, 0.57), (0.68, 0.57, 0.54), (0.70, 0.62, 0.57), (0.63, 0.55, 0.50), (0.70, 0.59, 0.58)。 $k$  成像的 AUC 为: 对于 WSL = 1-9 倍 PL, (AUC1, AUC2, AUC3) = (0.73, 0.60, 0.55), (0.63, 0.56, 0.52), (0.51, 0.52, 0.60), (0.53, 0.54, 0.66), (0.52, 0.50, 0.56), (0.53, 0.52, 0.58), (0.55, 0.52, 0.54), (0.58, 0.60, 0.57), (0.63, 0.65, 0.58)。**【结论】**超声背散射零差 K 模型  $\alpha$  和  $k$  成像均可初步评价肝纤维化。WSL 对  $\alpha$  和  $k$  成像的诊断性能影响较小。[NSFC (11804013 & 61871005) and BJNSF (4184081).]

**【关键词】**超声背散射，零差 K 模型，超声组织定征，肝纤维化，定量超声

### S09-OR02 乳腺超声断层成像及其产业化

丁明跃  
华中科技大学

【目的】乳腺癌是世界和中国排名第一的女性癌症，对人们，尤其是女性的身心健康产生了巨大的伤害。研究结果表明，早期乳腺癌五年存活率高，而晚期则急剧下降。目前，钼靶X射线是乳腺癌筛查的金标准，然而对于致密型乳腺而言，检测率急剧下降，不适合于中国妇女。因此，急需一种适合于中国女性乳腺癌早期筛查的影像学手段。【方法】超声断层成像是近些年发展起来的一种革命性超声成像新方式。与传统反射式超声成像方式不同，她通过采用环形探头，采集反射与透射信息，可以通过重建获得反射、声速与衰减图像，从而为乳腺癌的早期诊断提供乳腺结构与功能的完整三维信息，大大提高了早期乳腺癌检测的准确率。然而，如何解决反射、声速、衰减图像的重建方法，构建可用于临床检测的硬件系统，是我们急需攻克的技术难题，也是本项研究的关键。【结果】2010年以来，我们开展了乳腺超声断层成像的研究工作。2014年建立了基于线列探头对扫描的实验系统，2015年研制成功了国内首个1024阵元环形探头，2016年研制成功基于该探头的超声断层成像系统，并获得了国内第一幅超声断层图像。2016年6月，为推进该项技术产业化，我们成立了武汉维视医学影像有限公司，专门从事乳腺超声断层成像技术的产业化工作。2017年研制完成了基于2048阵元的环形超声探头以及512通道的高速数据采集系统的第一代产品，并先后进行了离体和动物实验。2018年完成了第二代样机的研制工作，并获得了志愿者图像。2019年第三代产品样机完成并通过了安规、EMC等自测工作，为下一步的产品注册奠定了基础。【结论】“卡脖子”关键技术意义重大。

【关键词】超声断层成像；乳腺癌筛查；环形探头；三维重建；产业化。

### S09-OR03 基于机器学习的脑β节律频数分析法

刘晓波  
电子科技大学生命科学与技术学院

【目的】动作类电子游戏是现代生活中一种重要的娱乐方式。近年研究发现动作类电子游戏能影响玩家的认知功能（如选择性注意），且通常与脑电β节律有关。但是，传统的节律分析仅关注时程上的平均节律强度，难以准确刻画不同人群β节律变化。因此，本研究基于机器学习算法提出一种新的β节律频数分析方法。【方法】实验被试包含232例男性正常英雄联盟玩家，游戏水平按游戏专家排位分为水平1~水平5（各有27, 74, 77, 34和20人）。组间被试性别、年龄、受教育程度无显著差异。被试先后进行静息态和游戏状态脑电采集。首先对脑电进行预处理，包括坏导替换，转平均参考，陷波（45-55Hz）和带通滤波（1-60Hz）。随后，利用独立成分分析去除残留伪迹，并将数据转换为零参考。然后采用阈值法选取干净脑电，以无重叠滑动窗进行快速傅里叶变换时频分析，得到每例被试若干β节律指标段（β1（12.5-18.5 Hz），β2（18.5-21 Hz）和β3（21.0-30 Hz））。频数分析的核心思想是以每例被试游戏态β节律指标减去静息态的差值为特征，将最高和最低游戏水平被试作为训练集，其余水平被试以及留一的最高最低水平被试作为测试集，采用高斯核支持向量机对测试集中每例被试所有数据段的β节律差值进行分类，然后计算高水平分类标签所占其数据段总数的比例，即为该被试β节律模式的频数值。最后，采用单因素方差分析对各水平玩家间的频数值进行统计分析，并将其与被试游戏表现得分进行皮尔逊相关分析。【结果】结果表明高水平β节律分布模式的频数值在组间具有显著差异（ $p=2.11 \times 10^{-12}$ ,  $F=17.40$ ），且随着游戏水平的升高呈现显著上升趋势。进一步，我们发现该频数值与游戏表现呈显著正相关（ $p=0.00097$ ,  $r=0.22$ ）。【结论】不同游戏水平对脑功能的影响可以通过β节律模式频数法更加准确刻画。本研究的方法为理解游戏对大脑可塑性影响提供新的角度，且具有较好的应用前景。

【关键词】动作类电子游戏，脑电，beta节律，机器学习，频数

### S09-OR04 基于改进的分水岭和区域生长法的肝癌病灶分割算法研究

邹晓晴  
中山大学新华学院

【目的】计算机断层扫描（computed tomography, CT）检查是临床评估原发性肝癌病情与疗效的重要方法。然而，目前对CT图像的分析存在工作量大，可重复性差等缺点。为了有效地减少人工分割工作量大、分割结果受主观因素影响明显等问题，本文提出一种基于改进的分水岭和区域生长法的肝癌病灶分割算法。【方法】首先对原发性肝癌患者的腹部CT图像进行中值滤波，求出梯度图像，并利用模糊C均值算法将图像按像素特征合并成多个簇；然后以梯度图像作背景标记，在模糊C均值聚类后的图像上标出前景，二者结合修正梯度图像，在修正后的图像上采用标记符号分水岭算法将图像粗分出肝脏和病灶区域；最后在水分岭算法分割出的病灶位置选取种子点，利用区域生长法提取肿瘤病灶。【结果】选取原发性肝癌患者第一次术后动脉期腹部CT图像30组，利用本文算法提取肝癌病灶，与临床医生手动勾画的病灶区域进行比较，采用灵敏度、准确率、特异性三个参数进行评估，得到灵敏度为94.7%、准确率为98%、特异性为99.5%。【结论】本算法对原发性肝癌CT图像肿瘤区域分割效果较好，可用于原发性肝癌CT图像的肿瘤分割，为肝癌术后疗效评估提供一定的辅助作用。

【关键词】原发性肝癌；病灶分割；模糊C均值聚类；标记符号分水岭；区域生长法

**S09-OR05****基于深度神经网络的儿童气道树自动提取** 邹晓晴

魏建华

中国科学院深圳先进技术研究院

【目的】气道异物是儿科最常见的急症之一，由于婴儿与儿童气道狭小，咀嚼能力较弱，进食、哭闹、玩耍时容易误吸，严重者可致呼吸困难、甚至死亡。近年来随着人工智能技术的高速发展，计算机辅助诊断已成为医学影像诊断学中的研究热点之一，既往研究表明计算机辅助诊断 / 检测在发现疾病，提高诊断正确率、减少误诊率等方面起到了积极作用。通过精确分割婴儿与儿童气道树，为后续气道异物检测提供感兴趣区域并降低了计算量，还可排除非气道内伪影对于检测算法的影响以提高检测和诊断的精度。对医生的及时诊断起到了很大的辅助作用。【方法】提出了改进的 Unet 网络用于气道树的自动提取，增加了 ASPP 和 CBAM 模型用于捕获多尺度特征信息与感受野，并将高层特征的全局信息融入进低层特征从而提高分割精度，实现了对小目标物体的精确分割。【结果】在 160 套小儿气管支气管 CT 数据上的实验结果表明对气道树的平均分割 Dice 系数正常 CT 达到 92.53%，含有异物的 CT 达到 89.97%，全部平均分割 Dice 系数达到 91.25%。【结论】本实验改进了 Unet 结构，添加了 ASSP 和 CMBA 模型，并且将高层特征的全局信息融入进低层特征。实现了对婴儿与儿童气道树的自动提取，可以对正常的儿童气管支气管与有异物堵塞的气管支气管进行了有效的区分。对医生的及时诊断起到了很大的辅助作用。提取的气道树能清晰的反映出异物阻塞的位置。

【关键词】气道异物；深度全卷积神经网络；气道树；Unet

**S09-OR06****基于最长线性移位寄存器序列编码的磁声成像处理方法研究**

张顺起

中国医学科学院生物医学工程研究所

【目的】基于磁声耦合效应的生物电特性无创功能成像方法在生物的电刺激监测和肿瘤早期诊断等方面体现出了显著的优势。实验中发现，由于组织电学参数复杂，导致磁声信号幅度微弱，应用中采用的微秒窄脉冲磁声信号激励方法信噪比低，极易导致噪声受到干扰并淹没于噪声中。本研究提出基于最长线性移位寄存器序列的磁声信号编码激励与处理方法，由于该序列信号基于移位寄存器生成，可实现无限长的激励脉冲长度，有利于获得高信噪比，从而显著提高磁声成像的图像质量。本研究对最长线性移位寄存器序列激励提高磁声信号信噪比的处理方法进行研究，进一步解决磁声信号信噪比提升的问题。【方法】为研究验证基于最长线性移位寄存器序列的处理方法，本研究进行了仿真和实验研究。本研究采用移位寄存器生成 7, 15, 31, 63, 127 位的最长线性移位寄存器序列进行激励，从而提高信号功率，并采用匹配滤波方法进行信号复原。由任意函数发生器生成序列信号，由功率放大器放大，将仿体样本放置于 0.3T 静磁场中。样本置于水中进行声耦合。声传感器用于接收磁声信号，并由放大器放大，最后由计算机采集，进行脉冲压缩。【结果】对于石墨纸夹黄油实验模型，在未进行波形叠加平均条件下，序列信号激励明显提高磁声信号信噪比，7, 15, 31, 63, 127 位最长线性移位寄存器序列处理方法可提高磁声信号信噪比 9.68, 11.7, 14.75, 17.2 和 20.2dB，实现了磁声信号信噪比的提高，随着序列持续长度的增加，旁瓣逐渐减小，同时处理时间缩短为波形平均处理方法的 0.977%。【结论】本研究的最大长度编码脉冲处理方法使得磁声信号信噪比得到进一步提升。相比传统单脉冲模式的波形平均处理方法，提高了成像速度，显著提高了成像的速率。基于最长线性移位寄存器序列编码的激励和处理方法对提高磁声成像信噪比，改善成像质量，实现磁声成像的实时功能成像具有重要意义。

【关键词】磁声成像；编码激励；最长线性移位寄存器序列；信噪比；信号处理

**S09-OR07****基于普通摄像头的心率检测方法研究**

贾蒙丽

河南科技大学

【目的】心率测量是一种监测人体生理状态和身体状态的重要手段。传统的心率监测仪器成本高，操作繁杂，容易给被检测者造成心理压力。为了克服以上缺陷，本文提出了一种基于普通摄像头的非接触式心率测量方法。【方法】该方法首先使用普通摄像头采集人脸正面视频图像，利用人脸检测和跟踪技术将人脸区域从图像中提取出来，选取并定位额头作为感兴趣区域，对感兴趣区域的图像进行伽马变换；然后从伽马变换处理后的图像中分析提取出含有脉搏成分的信号，并利用小波滤波对提取出的原始信号进行处理，得到血液容积脉搏波；最后，对该波离散傅里叶变换后进行能量谱分析并计算出心率值。【结果】实验结果表明，本文使用的方法与电子血压计的测量结果具有较高的一致性，且本文使用的伽马变换有效地减少了光照干扰的影响，完全能够满足日常心率监测的要求。【结论】本文针对现有心率检测方法的不足，设计了一种基于普通摄像头的非接触式心率测量方法，该方法通过利用伽马变换抑制弱环境光线的干扰，经独立成分分析和小波滤波提取出血液容积脉搏波，再进行频谱分析估计出心率。提高检测性能，实现了真实场景下对心率的自动测量。测试结果表明，该方法可以克服眼睛眨动和弱环境光线等因素的干扰和影响，实现达到临床要求的测量精度。

【关键词】普通摄像头；非接触式测量；光电容积描记术；伽马变换；心率测量；独立成分分析

### S09-OR08

#### 基于双端读出探测器的高清晰磁兼容小动物 PET 成像系统

邝忠华

中国科学院深圳先进技术研究院

【目的】小动物 PET/MRI 是生物医学研究中一个非常强大的工具，因为 PET 和 MRI 具有很强的互补性。对于小动物 PET 扫描仪，需要同时达到高空间分辨率和高灵敏度才能有效提高 PET 成像的定量和定位精度。相互作用深度 (DOI) 不确定效应是小动物 PET 扫描仪同时实现高灵敏度和全视野均匀的高空间分辨率的最大障碍。本文采用 LYSO 晶体阵列和 SiPM 阵列的双端读出深度编码探测器，研发了一个具有高空间分辨率、高灵敏度和长轴向视野的磁兼容小动物 PET 扫描仪。【方法】该 PET 扫描仪由 4 个探测器环组成，每个环有 12 个探测器模块。扫描仪的环直径为 111 毫米，轴向视野为 106 毫米。磁屏蔽采用碳纤维管和铜箔构成。每个探测器模块由一个  $23 \times 23$  的 LYSO 晶体阵列耦合 2 个  $8 \times 8$  的 SiPM 阵列进行双端读出。LYSO 晶体像素尺寸为  $1.0 \times 1.0 \times 20$  mm<sup>3</sup>。系统电子学由 12 个 32 通道单事件处理单元 (SPU)，一个符合处理单元 (CPU)，一个系统时钟和同步板以及供电电路组成。目前系统集成已经完成，采用 Na-22 点源放置在系统轴向中心和不同径向位置，对系统的效率和空间分辨率进行了初步测量。利用 MLEM 算法对图像进行重建。并对一个 PET 探测器模块的 MRI 兼容性进行了测试。【结果】探测器的晶体分辨图可以清晰地分辨出所有晶体单元，探测器的 DOI 分辨率为 1.96 mm，能量分辨率为 18.9%。在能量窗为 250-750 keV 时，成像中心的绝对灵敏度达到了 17.5%。在视野中心 50mm 范围内，得到了 ~0.8 mm 的均匀空间分辨率。MRI 对 PET 探测器的性能影响很小，而 PET 探测器对 MRI 图像的信噪比影响也很小。【结论】基于双端读出三维探测器技术，研制了一个由 48 个深度编码探测器组成的高效率、高清晰和长轴向视野 MRI 兼容小动物 PET 扫描仪，并得到了该扫描仪的初步性能。接下来，将基于 NEMA 标准对该 PET 扫描仪的性能进行测量，开展模体和动物实验研究。

【关键词】磁兼容 PET；双端读出；高分辨率；高效率

### S09-OR09

#### 一种基于多角度扫描的磁声电成像方法研究

郝鹏慧, 孙通, 曾鑫, 闫杰杰

深圳大学

【目的】利用磁声电成像对不规则的早期肿瘤组织进行 360 度全面成像。【方法】该方法对目标体进行多次 B-mode 扫描，每次扫描的声束偏转角度不同，从  $0^\circ$  到  $90^\circ$ ，间隔为  $10^\circ$ ，在得到多个角度的 B-mode 图像后，利用算法把不同角度的图像进行叠加合成，最终得到肿瘤完整的 MAET 图像。【结果】可以把设计的乳腺模型中的两个椭圆肿瘤模型完整的重建出来。【结论】通过仿真验证了该方法在对不规则的早期肿瘤组织进行 360 度全面成像的可行性。

【关键词】早期肿瘤、多角度扫描、磁声电成像、有限元仿真

### S09-OR10

#### 基于数据驱动方法的高眼压青光眼病人的视觉皮层分区研究

曲汉阳

山东第一医科大学

【目的】青光眼不仅损害视神经，还会引起中枢神经系统病变。通过功能磁共振成像构建脑网络的方法是研究中枢神经系统功能病变的有效途径。构建脑网络的前提是定义网络节点，节点一般通过脑图谱来定义。但现有脑图谱精度不高，无法反映大脑功能特征，本文的目的是采用数据驱动的方法对青光眼患者的视觉皮层进行功能分区。【方法】采集 36 例青光眼患者的功能磁共振图像，数据预处理后对时间序列进行归一化，采用皮尔逊相关系数衡量每个体素时间序列的相关性，建立视觉皮层和全脑体素之间的相关矩阵，并计算平均相关矩阵。采用两种数据驱动方法—K 均值算法和层次聚类算法对平均相关矩阵进行聚类分析，聚类数即分区数设为 2-10。为了对数据驱动算法和现有脑图谱进行比较，本文采用了可重复性、功能一致性两种评价指标。通过对 36 名被试随机分组的方式计算两种数据驱动算法的戴斯相似性系数和调整兰德系数 (ARI) 评价可重复性。采用轮廓系数和一致性系数评价脑分区方法的功能一致性。【结果】两种数据驱动方法均能完成青光眼患者的视觉皮层分割。在可重复性方面，戴斯系数和 ARI 随着分区数的增加呈现下降趋势。K 均值算法的戴斯系数为 [0.3846, 0.9823]，ARI 为 [0.3125, 0.9304]，层次聚类算法的戴斯系数为 [0.3236, 0.9372]，ARI 为 0.2397, 0.7663]。在分区数增加时，K 均值的戴斯系数和 ARI 均高于层次聚类。对于功能一致性指标，两种方法的轮廓系数和一致性系数都与分区数呈正相关。布罗德曼图谱的轮廓系数为 0.0428，一致性系数为 0.3686。分区数增加时，K 均值算法的轮廓系数和一致性系数均高于层次聚类，而两种数据驱动方法的功能一致性指标远高于布罗德曼脑图谱。【结论】K 均值算法在可重复性和功能一致性方面要优于层次聚类算法。而且数据驱动的脑分区方法比传统的脑图谱更能反映青光眼被试大脑的功能特性，可以作为脑功能节点用于青光眼的网络分析。

【关键词】视觉皮层分区；高眼压青光眼；脑网络分析；功能磁共振成像；脑功能分区

**S09-OR11****基于U-net神经网络和超分辨率成像方法绘制胎儿大脑图谱**

李浩天

浙江大学生物医学工程与仪器科学学院

【目的】在胎儿成像领域，磁共振成像技术成为了临床检测胎儿病变的一种常用手段。但由于目前胎儿大脑成像技术和图像分析技术的限制，现有方法难以直接采集或重建胎儿大脑的三维解剖结构，不便于对胎儿大脑发育情况的测评和疾病的诊断。本研究旨在实现一种全自动的方法重建出胎儿大脑的三维结构并且绘制出胎儿大脑图谱。【方法】本文提出了一个基于深度学习的全自动分割模型，一种基于图像配准以及超分辨率重建的方法和一种胎儿大脑图谱的建立方法。（1）使用U-Net神经网络模型对含有胎儿大脑轮廓标签的母体腹部图像进行监督训练，以此让模型具备识别胎儿大脑轮廓的能力。（2）根据U-Net神经网络预测得到的胎儿大脑三个正交方向的2D断层图像，采用slice-to-volume的配准方法将各个方向采集的2D图像进行配准和运动伪影校正，最后进行3D超分辨率重建。（3）基于超分辨率重建得到的3D胎儿大脑图像，分孕周对相近孕周的大脑进行配准（线性和非线性迭代配准）和平均，得到各个孕周的胎儿大脑图谱，并通过非线性分析方法获取胎儿大脑随着孕周增加的发育的时空变化模式。【结果】U-Net神经网络预测得到的胎儿大脑轮廓与真实值的Dice系数达到0.95以上，敏感度达到0.97以上，特异度达到0.99以上，表现出了极好的分割性能。基于图像配准以及超分辨率重建的方法纠正了胎儿大脑2D断层图像之间的运动伪影和灰度失真问题，得到了胎儿大脑的3D高分辨率图像。根据胎儿大脑图谱的建立方法绘制了23-36周相邻两个孕周的胎儿大脑图谱和图谱中胎儿大脑的各个结构随着孕周增加的变化过程。【结论】通过上述方法的实现，可以完全不需要任何额外的人工操作自动地获取胎儿大脑的3D高分辨率图像，胎儿大脑图谱中大脑各部分的细微构造以及发育状况得以清晰地展现。这是迈向胎儿大脑三维定量分析的重要一步，不仅对特定的临床问题有诊断价值，而且对增进胎儿大脑发育过程的理解也有巨大的潜在价值。

【关键词】磁共振成像、U-net神经网络、超分辨率成像、胎儿大脑图谱

**S09-OR12****基于多感受野网络与低剂量CT的肺部磨玻璃结节自动检测算**

倪扬帆

中国科学院上海技术物理研究所

【目的】低剂量计算机断层扫描（Low Dose Computed Tomography）所获取的肺部高分辨率图像是检测肺结节的有效手段。针对当前肺部磨玻璃结节检测敏感性和假阳性问题，本文希望构建出一个能够拥有较高敏感性的自动检测算法，能够对肺内各种类型的结节具有较高的检出率。【方法】本文采用深度学习方法构建了一个深度三维卷积神经网络：多感受野网络（Multi-Receptive Field network），并以此网络为基础提出了一个肺部磨玻璃结节（Ground-Glass nodule）自动检测算法。考虑到磨玻璃结节形状大小等因素，本文采用多感受野方法，使得网络输入单一尺度图像时也可取得较高的网络性能。该研究使用临床1431个病例共计1624个结节的低剂量CT样本作为数据集（结节的直径在3mm到30mm之间），并采取了一系列如翻折、平移和旋转等措施扩大样本数量。多感受野网络经过训练和测试评估构建起自动检测算法。【结果】该数据集上的实验结果表明本文所提出的算法对于磨玻璃结节与假阳性结节的分类准确率达到85.1%，检测算法在平均假阳性率为4FPs（False Positive per scan）时的敏感性达到95.2%，降低了误诊率和漏诊率。【结论】三维多感受野网络模型对小结节的筛选具有良好的效果。在常规检查中，基于多感受野网络的肺部磨玻璃结节自动检测算法可以用于低剂量CT的结节筛查，辅助放射科医生的阅片工作。

【关键词】磨玻璃结节；多感受野网络；自动检测算法

**S09-OR13****基于局部相位信息的膈肌超声图像分割与膈肌移动度测量**

张德蓉

电子科技大学

【目的】实现膈肌超声图像的自动分割与膈肌移动度的测量。【方法】本文提出基于局部相位信息的算法自动分割膈肌，根据分割后的结果定位膈肌最底部，自动计算膈肌移动度（DE）。为了验证所提出方法的有效性，对5名志愿者的动态膈肌超声图像进行膈肌自动分割并计算膈肌移动度，并与M模式超声的人工测量结果对比。【结果】结果表明，本方法的结果与M超人工测量结果的平均误差0.94mm，平均相对误差9%。【结论】通过图像相位信息分割膈肌，实现了超声膈肌移动度的自动测量。该方法有望代替膈肌移动度的人工测量，减少人工交互量。

【关键词】膈肌分割；膈肌移动度；相位对称

### S09-OR14

#### 基于改进的线性迭代聚类与卷积神经网络的粘连细胞显微图像分割与计数

屈若为

河北工业大学

【目的】针对粘连细胞显微图像自动分割不准确和计数速度慢等问题，提出了一种基于改进简单线性迭代聚类算法 SLIC(Simple linear iteration clustering) 超像素与卷积神经网络 (CNN) 的细胞显微图像分割和技术的方法。【方法】本文提出了一种基于改进简单线性迭代聚类算法 SLIC(Simple linear iteration clustering) 超像素与卷积神经网络 (CNN) 的细胞显微图像分割和技术的方法。首先对收集到的 1200 幅细胞显微图像进行图像增强等预处理，选取种子点数后对图像进行改进后的 SLIC 超像素分割，再对图像进行去噪，得到 44878 幅细胞图像。最后利用卷积神经网络将 44878 个细胞 (训练图像 35902 幅，测试图像 8976 幅) 的粘连情况进行训练与测试。【结果】实验结果表明，针对粘连细胞显微图像自动分割不准确和计数速度慢等问题，该算法将分割计数的准确率提高到 92%，改进的 SLIC 算法使单幅图片的处理时间由 120ms 左右下降到 100ms 左右。此模型的提出，为细胞分割技术提供了新的参考。【结论】本文提出的改进的 SLIC 超像素聚类与卷积神经网络 (CNN) 算法的细胞图像分割与计数方法，具有广阔的应用范围。与一些传统的细胞分割算法相比，其优越性在于利用了超像素聚类方法在图像边界信息提取上的优势，结合了细胞显微图像局部结合度较高的特性，能够得到完整的细胞图像，并且提升了计算效率；采用 CNN 方法识别粘连细胞的粘连情况，解决了细胞的重叠问题，能够避免粘连细胞带来的计数误差。本研究为临床后续的病理诊断提供定量的分析结果，能够降低病理医生主观性造成的诊断偏差，减少其简单重复工作的强度，提高医生诊断效率。【关键词】SLIC；卷积神经网络；粘连细胞图像分割；医学图像处理；计算机辅助诊断

### S09-OR15

#### 高性能自闭症人群大脑结构拓扑特性的跨年龄变化模式研究

郑炜豪

浙江大学

【目的】自闭症谱系障碍 (ASD) 是一种普遍性神经发育疾病，严重影响患者的情感认知和行为。研究表明，ASD 患者的大脑生长曲线异于正常发育人群 (TDC)，而异常发育如何影响皮层结构的拓扑连接模式尚不明确。本研究旨在探究 ASD 人群皮层拓扑结构随年龄增长的变化模式，从结构连接视角揭示 ASD 患者皮层异常发育对脑功能整合和分离的影响。【方法】研究数据为 ABIDE 数据库的 3T T1 加权影像，包括 262 例高性能 ASD 患者及 262 例年龄、性别、IQ 和采集中心完全匹配的正常对照。被试按照年龄被划分为儿童 (7-12 岁)、青少年 (12-18 岁) 和青年 (18-40 岁)。我们使用 Freesurfer 提取大脑皮层 148 个脑区的皮层厚度 (CT) 和表面积 (SA)。我们将每个脑区看作网络的一个节点，通过计算脑区特征间的皮尔森相关，构建各年龄段不同人群的 CT 和 SA 网络，并采用图论对聚类系数、全局效率、模块化等网络指标进行分析。【结果】ASD 患儿 SA 网络的“小世界”属性及鲁棒性较正常儿童显著降低，说明其网络更加随机化且易受攻击，而青少年和成年患者的网络未表现出异常。另外，患者的 CT 网络未出现显著改变。模块化分析显示 ASD 患者的 cingulate gyri、insular-opercular 和 temporo-parietal 皮质等与情感、认知、社交等功能密切相关的区域均出现模块重组，这可能与患者社会行为和情感处理能力缺陷有关。此外，ASD 患儿的 hub 节点主要聚集在前额叶，可能由患者幼年额叶的异常发育所致。【结论】ASD 显著影响 SA 网络的拓扑结构。异常的连接模式主要体现在儿童时期，包括患儿网络的随机化、hub 节点的集中化等，且随年龄增长逐渐消失。此外，ASD 患者在不同年龄段均出现相似的模块重组，表明其可能反映了 ASD 特异性的病理信息。我们的研究揭示了 ASD 在不同时期对大脑皮层结构组织模式的影响，为研究 ASD 患者的大脑变化机制提供了理论支持。【关键词】自闭症，皮层拓扑结构，跨年龄，图论

### S09-OR16

#### 使用密集全连接卷积网络进行宫颈癌患者 CTV 自动预勾画

郭雯

武汉大学

【目的】宫颈癌患者临床靶区体积 (CTV) 的精确勾画，对患者治疗效果及放疗计划设计、评估与优化都具有重要作用。目前，勾画工作主要由放疗科医师手动完成，费时费力且范围常因医师习惯不同存在差异。女性盆腔解剖结构复杂，不同患者靶区形状受盆腔形状、膀胱充盈程度、病变分期等影响大，自动勾画难度大，国际上尚无文献报道。本研究尝试使用一种密集连接的融合网络 Dense V-Network，试图在样本量较少时准确预勾画术后患者 CTV。【方法】该网络包含 Dense block 结构，保证网络中最大信息交流；并融合 V-Net 的水平连接和残差结构，解决深度增加导致训练误差增大的退化现象。研究选取 125 例分期相近的宫颈癌术后患者 CT 数据，随机选择 100 例作为训练集，调整模型参数；25 例作为测试集，评估网络性能。使用 8 项最具代表性的参数，从图像重合度及体积差异性评估预勾画精度。【结果】术后患者 CTV 自动预勾画表现优异，DSC、SI、Incl 的平均值与标准差分别为  $0.81 \pm 0.04$ 、 $0.84 \pm 0.04$ 、 $0.77 \pm 0.07$ ，最大值分别为 0.88、0.89、0.91，图像重合度较高；JD、 $\Delta V$ 、DC/mm、MDA/mm、HD/cm 平均值与标准差分别为  $0.32 \pm 0.05$ 、 $0.13 \pm 0.10$ 、 $4.38 \pm 2.15$ 、 $2.66 \pm 0.46$ 、 $1.91 \pm 0.52$ ，最小值分别为 0.22、0.01、0.10、1.76、1.17，体积差异性较小。与两个单一网络进行对比，通过单一网络对融合网络的单因素方差分析，DSC、JD、HD、 $\Delta V$  结果具有显著差异性 ( $p < 0.01$ )。【结论】融合两个在医学图像分割方面表现优异的网络，有效提升复杂形态特征值学习，可在复杂盆腔中预勾画 CTV，为医生勾画提供参考，提高效率。

结果显示, 训练样本有限, 该网络亦可准确勾画术后患者 CTV。且结果明显优于单一网络, 并优于国际报道的结果。

【关键词】深度学习; 卷积神经网络; 自动分割; 宫颈癌临床靶区体积; 预勾画

## S09-OR17

### 基于胶囊内窥镜的消化道物体尺寸测量

周 到

中南民族大学

【目的】胶囊式内窥镜可获得病人消化道内图像, 有助于医生根据被摄组织的形态、颜色等进行疾病诊断。然而传统胶囊式内窥镜无法获得病灶的尺寸信息, 因此无法给出定量分析结果。如何准确测量消化道内物体三维尺寸是胶囊内窥镜发展的重要方向。【方法】本研究提出了一种光学测距的物体尺寸测量的方法。为建立光学测距模型, 首先对胶囊光学系统进行了标定。通过拍摄距胶囊镜头不同距离处的白板和网格板, 建立了深度信息与图像亮度、激光光斑像素位置的映射关系, 以及图像像素与实际物体尺寸的关系, 即图像比例尺。实物测量时, 先以较短的时间间隔分别点亮激光器和 LED, 获得光斑图像和白光图像。然后, 通过计算激光光斑位置, 获得光斑点处的实际深度, 用于计算环境因子, 从而校正由于曝光参数及物体反射系数变化等对白光图像亮度的影响。再通过引入 TV 最小化约束, 根据白光图像求得场景光照分布, 以消除图像噪声、色彩变化、局部阴影等对测距的干扰。最后, 利用亮度-深度关系及图像比例尺获得图像内各点的实际三维坐标。用户可根据需要计算或测量图像中任意两点之间的距离或任意范围的面积。【结果】在包含息肉、出血点、溃疡斑、褶皱等的仿消化道模体上进行了体外测试。结果表明, 该系统可在气体及液体环境中测量各种模拟消化道结构及病灶尺寸。在距胶囊式内窥镜 0~60 mm 的深度范围内, 平均物体尺寸测量误差小于 1.5 mm。【结论】利用激光器及光学图像处理方法, 胶囊式内窥镜可在 0~60 mm 内进行精确的物体尺寸测量, 精度在毫米量级, 实验验证了该系统的可行性。

【关键词】胶囊式内窥镜; 光学测距; 图像处理; 消化道; 尺寸测量

## S09-OR18

### 高分辨率超声胶囊内窥镜成像技术研究

黄耀才

中国科学院深圳先进技术研究院

【目的】小肠是消化道最长的器官, 越来越多的小肠疾病被人们认识。传统小肠检查方法的敏感性和准确性都较低, 医生难以作出明确诊断。胶囊内窥镜是一种无创、耐受性好的内窥镜, 其主要适应症为不明原因消化道出血、克罗恩病和可疑小肠肿瘤等。然而, 临床上的胶囊内窥镜装置仅使用光学成像, 只能观察到胃肠粘膜表面的情况, 无法获取黏膜及腔壁的深层信息。高频率 (> 20MHz) 超声波具有约 10mm 深的组织穿透能力, 可获得 40-120 $\mu$ m 分辨率的超声图像。本文涉及的超声胶囊内窥镜具有上述深度成像能力, 并用于离体猪小肠的三维成像实验。【方法】本文提出的超声胶囊内窥镜主要由胶囊外壳、电机、磁环、线缆和中心频率为 40MHz 的单阵元超声换能器构成。胶囊外壳由无毒、声学性能良好的材料制成, 与传统的胶囊形状一致, 尾部引出用于供电和数据通信的线缆。超声换能器在跟随电机机械旋转的同时进行扫描成像, 成像时, 换能器向胶囊外壳垂直发射超声波, 换能器接收到管腔组织的超声回波后, 通过线缆将数据传送到成像软件, 形成 B 模式超声图像。将 12.5 $\mu$ m 钨丝均匀地固定在一个圆周上形成一个线仿体装置, 再将超声胶囊内窥镜放置在该线仿体装置的中心位置, 对钨丝成像。将超声胶囊内窥镜伸入猪小肠中, 开始成像后, 使用具有匀速拖动功能的机械装置将胶囊内窥镜撤出肠道外, 可采集到一系列具有位置信息的肠道二维 B 模式超声图像, 三维重建后得到肠道的三维超声图像。【结果】观察到各钨丝成像点既细又亮, 且亮度基本相同, 说明超声胶囊内窥镜的成像性能良好, 并计算得到其轴向、横向分辨率分别为 70 $\mu$ m 和 110 $\mu$ m。实验采集到的猪小肠二维 B 模式超声图像信噪比良好, 肠道的黏膜、黏膜下层、固有肌层和浆膜分层较明显。根据二维 B 模式超声图像的位置信息对其进行三维重建, 得到三维超声图像, 肠道轮廓清晰。【结论】经实验验证, 所提出的超声胶囊内窥镜能获得生动直观的超声三维图像, 分辨率良好, 可以作为光学内窥镜检查的补充手段。

【关键词】超声胶囊内窥镜; 高频率超声; 深度成像; 高分辨率; 三维超声图像

## S09-OR19

### 基于双能窗技术提升双层晶体脑 PET 灵敏度的仿真研究

许书钰

北京科技大学

【目的】PET (正电子发射断层成像仪) 是核医学成像的顶尖设备, 脑 PET 成像是脑科学和脑疾病研究的重要手段。成像过程中设置能量窗可以减少伽马光子在模体上的散射事件, 但也剔除了一部分在探测器上的散射事件, 降低了探测效率。本文针对双层晶体脑 PET 设备, 提出一种基于双能窗技术的方法以提升脑 PET 的灵敏度。【方法】采用蒙特卡罗方法进行仿真研究, 基于 GATE 软件实现对双层晶体脑 PET 的建模: 将内外两层晶体厚度均设置为 10 mm, 改变外层低能窗阈值, 进行探测结果的仿真, 完成仿真结果 ROOT 格式数据的 C++ 处理程序, 进行数据处理与分析, 获得双层晶体脑 PET 最优化的双能窗设计。【结果】结果证明双能窗技术提高了双层晶体脑 PET 的灵敏度, 并在高能窗为 450-750 KeV, 外层晶体低能窗为 30-250 KeV 时效果最好。以位于 PET 中心的泛源为例, 灵敏度由传统的

2.71%，提升到了 3.69%，是传统能窗技术的 1.36 倍，且对不同形状的放射源探测效率均有所提高，具有普适性。【结论】因此基于双能窗技术的双层晶体脑 PET 的使用，可以有效提升系统的灵敏度，有利于未来脑科学和脑疾病研究。

【关键词】正电子发射型断层显像；双能窗技术；双层晶体；蒙特卡罗方法；灵敏度

## S09-OR20

### 非人灵长类动物脑功能超声成像技术研究

董怡婧

劳特伯生物医学成像研究中心

【目的】大脑是人类最复杂、最重要的器官之一。新技术的出现极大地促进了我们对大脑如何工作的理解，尤其是磁共振成像 (MRI) 和脑电图 (EEG)。然而，它们都有一些局限性。MRI 虽然具有毫米级的空间分辨率，但只有秒级的时间分辨率。相反，脑电图具有毫秒级的时间分辨率，但只有厘米级的空间分辨率。它们都不能提供关于脑血流的准确信息。医用超声具有时空分辨率高的优点，与 MRI 相比，它更经济、便携。近年来，基于平面波的成像序列进一步提高了灵敏度，为功能超声脑成像开辟了新的途径。由于进化的同源性，猴子的大脑在解剖学结构和功能机制上与人类非常相似。在本研究中，我们利用功能超声成像技术 (fUS, Functional ultrasound) 来研究猴子初级视觉皮层的信息处理过程。【方法】实验猴子 (四岁，雄性) 在 V1 区域完成开颅手术及训练后开始实验。实验刺激图案选取光栅与随机散点两种图案。该试验均在实验对象 M4 清醒状态下进行。超声换能器采用中心频率为 15MHz 的线性阵列，共有 128 个阵元。实验过程中使用可 360° 旋转的夹持装置固定换能器；数据采集成像平台采用可编程成像平台 (Verasonics Vantage system)，其可实现快速数据采集。数据采集工作，任务共分为两个步骤。(1) 离散采集静息状态 (黑暗)，1.7s 一幅图像，共采集 10 组数据；(2) 离散采集光栅、散点状态，共采集 20 组数据。【结果】fUS 可以提供高分辨率的脑血流图像，根据获得的数据，我们观察到视觉刺激与血流模式之间存在明显的协变。当散点的亮度越强，血流强度峰值越高。【结论】根据获得的数据，我们观察到视觉刺激与血流模式之间存在明显的协变。当散点的亮度越强，血流强度峰值越高。根据我们的研究结果，fUS 可以为脑科学研究提供一个新型的脑成像研究工具。

【关键词】脑功能超声成像；非人类灵长动物；初级视觉皮层

## S09-OR21

### 基于磁共振多参数定量成像的棕色脂肪活性动态特性研究

程传力

中国科学院深圳先进技术研究院

【目的】棕色脂肪组织是一种以消耗能量为主要功能的特殊脂肪组织，是治疗肥胖和相关代谢疾病的新靶点。棕色脂肪的活性是衡量其耗产能力的关键指标，本研究基于磁共振成像探究棕色脂肪组织激活前后脂肪含量和 T2\* 定量参数的动态变化特性，实现无创在体棕色脂肪活性评估。【方法】本研究以 SD 大鼠为研究对象，采用上海联影公司的 uMR 790 3.0T 磁共振系统进行扫描成像，扫描参数如下：重复时间 TR 为 234ms，8 回波梯度回波成像 (TE1=2.99ms, ΔTE=1.79ms)、像素分辨率为 0.47×0.47 mm<sup>2</sup>、层厚为 2.1mm、扫描部位为肩胛骨处棕色脂肪组织；单次扫描时长为 5 分钟，共进行 60 次连续扫描；第 13 次扫描前行腹腔注射去甲肾上腺素激活棕色脂肪组织；在实验过程中，采用异氟烷气体持续麻醉，并以光纤温度计监测肛温变化。本研究小组在前期工作中开发了一种结合多分辨率局部增长算法和自反馈机制的磁共振化学位移编码成像方法，该方法可用于磁共振水脂分离，同时实现精确的脂肪和 T2\* 定量。本研究中，对采集的多回波数据进行处理，得到每个扫描时间点的脂肪含量和 T2\* 定量参数；统计不同扫描时间点的脂肪含量和 T2\* 的变化特性对棕色脂肪组织的活性进行定量描述。【结果】注射去甲肾上腺素后，棕色脂肪组织的脂肪含量持续下降，而 T2\* 参数不断增大，二者分别在注射去甲肾上腺素后 60 分钟达到最值；然后脂肪含量和 T2\* 参数开始逐渐恢复：脂肪含量增加，T2\* 减小。【结论】本研究基于磁共振成像探究了棕色脂肪激活后脂肪含量和 T2\* 定量参数的动态变化特性。注射去甲肾上腺素后，脂肪含量的减少表明棕色脂肪激活后不断消耗脂肪而产生热；T2\* 参数的增大表明氧耗的增加。随着棕色脂肪活性的降低，脂肪含量和 T2\* 参数开始恢复。本研究为棕色脂肪组织提供了一种新的无创研究手段，对于深入探究棕色脂肪与相关疾病的关系具有重要科学价值。

【关键词】磁共振成像；棕色脂肪组织；活性评估；水脂分离

## S09-OR22

### 基于深度对抗网络的自动心脏磁共振图像分割

杨欣雨

济南大学

【目的】心血管病是当前世界上致死率最高的疾病之一，心脏磁共振图像 (Magnetic Resonance Image, MRI) 的分割是其临床诊断和心脏功能评估的重要步骤。在临床上，医生会手动分割心脏 MRI。这种方法不但耗时耗力，而且不够客观。为了将医生从繁重的重复性工作中解放出来，我们致力于提出自动的心脏 MRI 分割方法，以减缓医疗资源紧缺的压力，提升诊断效率。【方法】有感于深度神经网络的强大功能，我们提出了一种新型的深度对抗网络——Segmentive Adversarial Network (SAN)，用于实现心脏 MRI 自动分割。这种方法将能够应用于智能医疗机器人或远程诊断中，以优化智慧医疗体系中的心血管疾病的诊疗流程。SAN 包含一个分割器和一个鉴别器。分割器能够输出高精度分割图，鉴别器采用全卷积的方法，可以在像素级别上区分输入图像是来自 ground truth 还是分割器输出的分割图。

同时, 鉴别器还可以输出一个置信度图, 以分辨出分割图的哪一区域更加接近于 ground truth。之后再通过反向传播, 更新分割器参数, 使得分割器输出更加接近于 ground truth。【结果】我们在 ACDC 数据集上进行分割实验 (分割左心室, 右心室和心肌) 以验证模型的有效性, 实验结果为, 总平均 Dice 系数为 0.92, 总平均 Hausdorff 距离为 9.03 mm, 总平均灵敏度为 0.90。【结论】实验结果证明, SAN 的分割结果达到了当前最先进的水平。此外, 学习曲线表明 SAN 可以有效减少过拟合。

【关键词】心脏 MRI; SAN; 语义分割; 对抗网络

## S09-OR23

### 基于电阻抗成像技术的难治性癫痫发作检测研究

王 蕾

西北工业大学

【目的】难治性癫痫的主要治疗方式是手术切除病灶, 但对于手术也无效的患者, 尚缺乏有效的治疗手段。若能在癫痫发作前进行预测, 并提前采取干预措施抑制即将到来的癫痫发作, 对于缓解患者病痛以及治愈癫痫发作具有重大意义。影像学研究表明, 在癫痫发作前脑血流灌注会发生改变。电阻抗成像 (electrical impedance tomography, EIT) 是一种对血液变化十分敏感的成像技术, 理论上能够对癫痫发作前期的血流变化进行成像。而癫痫发作前期的阻抗变化分析必须基于癫痫发作期的阻抗变化, 因此本实验的目的是研究癫痫发作期电阻抗的变化以及 EIT 是否能够检测到癫痫发作期电阻抗的变化。【方法】设计能够同步采集电阻抗信号与脑电信号的采集电极系统, 实时监测大鼠的癫痫发作。以脑电癫痫特征波判断癫痫发作期以及癫痫发作间期, 并观察同步监测的致痫灶部位的电阻抗成像以及阻抗值的变化。对比分析同一只大鼠的癫痫发作期以及发作间期, 研究癫痫发作期电阻抗变化是否具有特异性; 对比分析实验组与生理盐水对照组, 研究电阻抗成像技术是否具有检测癫痫发作的能力。【结果】利用同步采集系统监测 8 只大鼠的 63 次癫痫发作, 其中 54 次 (85.71%) 癫痫发作过程中致痫灶部位电阻抗成像慢慢变红, 阻抗值也逐渐降低直至癫痫发作结束。癫痫发作期与癫痫发作间期相比阻抗值降幅达到 4.86%-9.17%。对照组在注入生理盐水后, 阻抗值变化小于 1%, 与实验组相比具有显著性差异 ( $F=16.41, P=0.004$ )。【结论】实验结果提示癫痫发作期致痫灶部位的阻抗值下降, 且这种变化能够被 EIT 检测到并进行实时成像。这一结果为癫痫发作前期电阻抗分析奠定了基础, 也为电阻抗成像技术预测癫痫发作提供了思路和方法, 具有重要的科学和临床价值。

【关键词】电阻抗成像; 癫痫; 癫痫发作检测

## S09-OR24

### 基于半监督式多通道生成对抗式网络的视网膜病变辅助诊断

谢莹鹏

深圳大学生物医学工程学院

【目的】各种视网膜病变是导致人类失明的主要原因, 近年来随着眼底成像技术的发展, 深度学习逐渐成为计算机辅助诊断视网膜病变时的研究热点。然而, 传统的深度学习方法通常依赖于大量的标记图像, 有别于自然数据集, 想要大批量地获取及标注眼底图像的代价是昂贵的, 加之视网膜上病灶在高分辨率眼底图像上像素占有率低及其分布的随机性也使得卷积神经网络无法很好地降采样有效信息。【方法】本文提出了一种半监督式多通道生成对抗式网络, 它可以合理利用未标记图像并能生成拟合已有样本高阶分布的样本以此降低网络对标记图像的依赖性, 进一步地我们引进了通用特征预提取策略对图像降采样, 一定程度避免因图像压缩导致的信息失真问题, 提高了生成网络的鲁棒性。【结果】实验结果表明, 相比使用传统方法的对照网络, 我们提出的网络具有更好的泛化能力并且在精度上提高了 10.5%, 最高达到 88.9% 的诊断准确率。【结论】在实践中, 我们的网络可以在数据收集困难, 标注成本高的深度学习问题上展现出相当大的应用潜力。

【关键词】视网膜病变; 半监督式; 多通道; 生成对抗式网络; 通用特征预提取策略

## S09-OR25

### 基于深度卷积神经网络的早产儿视网膜病变 plus 病变的自动诊断与量化分析

罗宇豪

中国科学技术大学

【目的】本文的目的是研发一个面向 plus 病变的自动诊断和定量分析系统。该系统不仅可以提供诊断决策, 还可以对疾病的典型病理特征进行定量分析, 帮助医生做出最佳的判断和沟通决策。【方法】利用深度学习网络对视网膜血管与视盘进行分割。在血管分割的基础上, 对 plus 疾病进行分类, 并自动计算视网膜血管弯曲度、宽度、分形维数与密度。【结果】深度学习网络对与 plus 疾病的诊断敏感性为 95.1%, 特异性为 97.8%。对于 preplus 和 plus 病变的检测, 敏感性和特异性分别为 92.4% 和 97.4%, 网络的加权  $\kappa$  值为 0.9244。正常组、preplus 组以及 plus 组的血管弯曲度分别为  $3.61 \pm 0.08$ 、 $5.95 \pm 1.57$ 、 $10.67 \pm 0.50$  ( $104\text{cm}^{-3}$ )。血管的宽度为  $63.46 \pm 0.39$ 、 $67.21 \pm 0.70$ 、 $68.89 \pm 0.75\mu\text{m}$ 。分形维数分别为  $1.18 \pm 0.01$ 、 $1.22 \pm 0.01$ 、 $1.26 \pm 0.02$ 。血管密度分别为  $1.39 \pm 0.03$ 、 $1.60 \pm 0.01$ 、 $1.64 \pm 0.09$  (%)。各区间数值差异均统计学意义。同时 plus 疾病患者在经过玻璃体腔注射雷珠单抗的治疗后, 其四个病理特征的数值均有明显变化。【结论】本文构建的系统对早产儿视网膜病变 plus 病变的诊断具有较高的准确性。其为疾病进展的动态特征提供了定量分析。该系统不仅能够帮助医生提供分类决策, 还能够提供量化的典型病理特征来帮助医生进行诊断。

【关键词】早产儿视网膜病变; 视网膜; plus 病变; 深度卷积神经网络; 图像处理

### S09-OR26

#### 基于颅外噪声成分分解的功能核磁共振影像降噪算法

任建勋

清华大学

【目的】功能核磁共振影像 (fMRI) 是一种高空间分辨率的非侵入式的大脑功能成像技术, 但是在扫描过程中受到多种因素的影响会引入大量噪声, 所以对 fMRI 数据的降噪处理一直是一个研究热点。由于 fMRI 信号理论上只存在血管分布的大脑内。但我们观察到一些数据, 大脑皮质的信号和颅外空间中的信号呈现出较强的相关性。考虑到颅外理论上不存在信号, 我们开发了一种基于颅外噪声成分分解的降噪方法。【方法】我们使用的临床数据集包含 14 位帕金森病患者, 每位患者都获取一组全脑结构像数据和 5 段静息态数据, 每段静息态数据长 6 分钟。我们首先应用了传统的预处理流程, 包括: 时间配准校正, 头动校正, 结构像功能像配准, 带通滤波 (带宽 0.01-0.1Hz), 计算六自由度头动参数和白质、脑室及全脑平均信号以及它们的一阶差分共 18 个噪声。在此基础上, 我们按照以下步骤对颅外噪声进行成分分解 (图 1): 1、获取 mask: 获取脑外 mask, 在与脑的边界处缩减一个体素以避免提取到脑内信号; 2、提取信号: 利用脑外 mask 提取时间序列信号组成体素 X 时间点的信号矩阵; 3、降噪: 应用主成分分析 (PCA) 将脑外信号矩阵从百万维降低到十维, 解释率可达 80% 以上; 4、噪声回归: 将 18 个协变量和 10 个脑外噪声的主要成分合并成噪声矩阵, 用一般线性模型将它们从体素信号中回归。

【结果】结果表明, 脑外噪声的主成分与处理前数据的相关性空间分布和传统预处理方法处理的数据脑内种子点功能连接图在脑外环状噪声分布上有很高的相似性, 说明这些主成分成功地提取到了相应结构噪声。传统处理方法后的数据和本方法处理后的数据的种子点的功能连接分析的比较发现, 本方法处理后的数据显著地降低了脑内脑外的噪声水平。【结论】在降噪后, 临床数据质量得到大幅提升, 提高了数据的可用性。且该方法应用简单, 我们建议将该方法集成到标准的预处理流程中。降噪后的数据可以进行进一步的分析, 如个体功能分割, 功能连接对运动评分的预测等等, 具有很大的临床意义。

【关键词】功能核磁共振影像; 降噪算法; 主成分分析

### S09-OR27

#### 一种用于 SPECT 成像的并排 LYSO/GAGG 复合晶体探测器

魏清阳

北京科技大学

【目的】单光子发射计算机断层扫描 (SPECT) 是临床和预临床应用中的一种有效的代谢和功能成像技术。SPECT 系统的关键组成部分之一为伽马射线探测器, 高质量 SPECT 成像需要高性能探测器。本文开发了一种并排 LYSO/GAGG 复合晶体阵列耦合稀疏的  $8 \times 8$  SiPM 阵列的探测器模块。【方法】LYSO/GAGG 复合晶体采用脉冲波形积分与峰值比进行甄别。对探测器模块进行了  $^{99m}\text{Tc}$  泛场源照射实验。【结果】 $^{99m}\text{Tc}$  实验结果表明, 使用简单的积分峰值比参数可以有效甄别 LYSO 和 GAGG。 $12 \times 12$  的 LYSO 和 GAGG 晶体阵列的晶体尺寸为  $1.35 \times 2.7 \times 7 \text{ mm}^3$ , 在泛场图上可以成功分辨。GAGG 的平均峰值为 LYSO 的 114%,  $12 \times 12$  的 LYSO 晶体和  $12 \times 12$  的 GAGG 晶体的平均能量分辨率分别为 26.23%~4.64% 和 21.29%~3.67%。【结论】计算和实验证明, 并排 LYSO/GAGG 复合晶体探测器模块实现了较高的分辨率和灵敏度, 适用于高性能 SPECT 系统。

【关键词】单光子发射计算机断层成像; 复合晶体; LYSO/GAGG; 硅光电倍增管; 高性能

### S09-OR28

#### 端到端 CT 重建网络中实现域变换作用的全连接层权重可视化研究

张其阳

中国科学院深圳先进技术研究院

【目的】根据 CT 重建理论, 目前存在的传统重建算法包括解析重建算法与迭代重建算法, 要实现 CT 重建都必须经过域变换过程, 域变换过程需要每个域中的单个元素都要和另外一个域中的所有元素产生运算, 变换过程需要消耗大量的计算资源与存储资源。随着人工智能技术的兴起, 出现了采用神经网络实现 CT 重建的技术。本研究通过对深度端到端的 CT 重建神经网络进行研究, 研究其实现域变化过程的网络部分, 分析其稀疏性, 并探求一种节省内存与计算资源的解析方法改造网络, 把这种域映射变换的先验信息嵌入到网络, 使网络专注于核心功能的学习。【方法】首先, 实现了具有全连接层的三种不同神经网络。第一个神经网络 (A) 只有一个完全连接的层, 后面五个卷积层, 前四个卷积层每个卷积层有 128 个滤波器, 最后一层只有 1 个滤波器。所有卷积层的卷积核为  $3 \times 3$  步幅为 1。使用的激活函数是 tanh。第二个神经网络 (B) 重新实现了 AUTOMAP (Zhu 等, 2018), 有两个全连接的层, 后面是两个卷积层, 和一个反卷积层。不同之处在于输出图像尺寸为  $64 \times 64$ 。第三个神经网络 (C) 只有最后一层是全连接层, 前面三个卷积层, 每个卷积层有 128 个滤波器, 所有卷积层的权重内核为  $1 \times 5$  步幅为 1。使用的激活函数是 tanh。网络训练完成后, 通过全连接层的权重与正弦图像素单元、CT 图像像素单元之间的关系, 组型出权重图像, 与解析法或迭代法的系统矩阵的权重图像进行对比。【结果】全连接层的权重与解析法或迭代法的系统矩阵的权重分布相同, 通过可视化比较, 在反投影应处理作用上一致, 可以采用传统的反投影解析算法来替换网络的全连接层实现域变换功能。【结论】可以采用传统的反投影解析算法来替换网络的全连接层实现域变换功能。

【关键词】域变换, 深度学习, CT 重建

**S09-OR29****基于深度学习的光纤束传输图像的恢复**

任广彬

华中科技大学

【目的】由包层内成千上万根光纤纤芯密集排列而组成的光纤束，由于其可传输图像的能力和很小的横截面以及柔软可弯曲的特性，在内窥成像，显微成像等生物医学领域得到了广泛的应用。然而由于六角形密集排列的纤芯之间的间隙使得输出图像不连续，形成蜂窝状格点，降低了图像的分辨率。并且非常小的纤芯间距使得纤芯之间存在串扰，导致输出图像边缘模糊，细节丢失。同时在相干光成像中，由于相邻纤芯中还存在较强的模式耦合，因此串扰更加严重，这大大限制了光纤束在相干光成像中的应用。为降低相邻纤芯之间的耦合强度，通常采用改变光纤束的物理参数，如纤芯间距、直径、数值孔径等的方法。但这种方法不但提高了制造难度，还有可能导致图像质量的降低，比如增大纤芯间距所导致的分辨率的降低。近年来深度学习被迅速应用到了从光纤等散射介质出射的散斑图来恢复入射的相干光图像上来。

【方法】这里我们提出一种基于深度学习的从光纤束输出图样恢复输入图像的方法，来得到较高分辨率的图像并去除图像中的蜂窝状格点。我们首先将手写体图像(mnist数据集)入射到光纤束(直径0.39 mm、纤芯数12500、纤芯直径约2 μm、纤芯中心间距3.34 μm)端面一个较小的区域内，区域的大小只覆盖大约15\*15根纤芯。由于相邻纤芯之间的串扰，使得从光纤束输出的激光散斑图样已经完全无法直接分辨出输入的图像。然后用20000张输入的手写体图像和对应输出图像的对卷积神经网络进行训练。最后用4000张输出图像测试训练得到的卷积神经网络，评估网络的性能。【结果】结果显示使用该网络重建的图像与输入图像的相关性超过了0.9，且对重建图像的分类准确率达到0.945。而这只利用了光纤束整个端面面积的<2%。我们还对分辨率测试卡，一般医学图像等具有更高分辨率的图像进行了训练和测试，结果表明通过卷积神经网络重建得到的图像能够获得更多输入图像的细节，并能消除纤芯之间模式耦合导致的图像模糊和纤芯六角形排列导致的图像格点，明显提高图像的质量。【结论】该方法能够消除纤芯之间模式耦合导致的图像模糊和纤芯六角形排列导致的图像格点，明显提高图像的质量，获得更多原始图像的细节。这项工作将拓宽光纤束在相干光成像中的应用，使得通常应用在非相干光成像上的具有极小纤芯间距的光纤束也能应用在相干光成像领域中。

【关键词】光纤束；深度学习；卷积神经网络