内蒙古自然科学奖提名公示

1. 项目名称：基于非局部均值的图像去噪与图像恢复理论与算法研究
2. 提名单位：内蒙古大学
3. 提名意见：同意申报，同意公示。
4. 项目简介：

本项目围绕非局部均值（NLM）算法的理论分析展开，聚焦于医学图像采集与重构过程中常见的噪声问题，并提出了一系列关键的去噪算法。医学影像在采集过程中常受到噪声、模糊等因素的影响，这些问题严重影响了图像质量，尤其在生物医学图像的采集与重构中，噪声问题尤为突出。为了有效解决这些问题，本项目主要研究了模糊图像的复原问题，并提出了一种基于空间参数自适应正则化的去噪去模糊模型，为医学图像处理提供了创新性解决方案。

1.本项目首次提出了Oracle非局部均值算法，解决了非局部均值估计中自适应权重核选择的难题。该算法以邻域内观测值的加权平均为基础，其中权重由局部图像块的相似性决定。通过建立理论框架，项目组推导出最优权重核为逐点自适应带宽的三角核，从而显著优化了非局部均值估计的均方误差上界。所提出的最优加权核非局部均值算法不仅能够自动选择用于自适应去噪的空间变化平滑参数，还在理论上证明了其在常规条件下的最优收敛速度。该算法具备优越的理论严谨性与实际应用潜力。

2.本项目在非局部均值算法的基础上，结合轻量级残差卷积神经网络（CNN），创新性地提出了一种高效的图像去噪与重建方案。该方法充分挖掘了非局部均值算法的统计特性与卷积神经网络的学习能力优势，将两者有机融合，构建了理论与实践兼备的统一框架。通过在经典非局部算法（如NLM和BM3D）的GPU实现中应用该方案，显著提高了图像处理的计算效率，同时有效降低了硬件资源需求。尤其在复杂纹理图像的去噪任务中，新方法展现出卓越的性能提升，进一步确立了其在图像处理领域中的创新性和实用价值。

3.本项目首次引入数值秩研究四元数矩阵性质，构建了基于非局部自相似性的新框架，并将非局部自相似性先验首次应用于彩色图像修复，提出了高效鲁棒的四元数矩阵补全算法。该算法通过非局部自相似性实现了精确重建，理论和实验均证明其能有效修复不完整或受损的图像数据。此外，项目提出了基于张量的四元数补全方法，将彩色视频建模为四元数张量，提出创新性算法，能高效修复视频数据，显著提升修复精度与效率。上述方法在图像与视频修复中表现卓越，与现有方法相比，具有显著优势，能更好地恢复色彩与几何特性，且优化计算效率，为图像与视频处理领域提供了强大工具与广阔应用前景。

4.本研究首次分析了去噪与去马赛克（DN&DM）方案与去马赛克后去噪（DM&DN）方案在全彩图像恢复中的应用，解决了去噪与去马赛克的相互影响问题。研究发现，DM&DN方案通过调整去噪器噪声参数，能够有效应对去马赛克后的噪声结构，从而显著提升去噪效果，相比DN&DM方案更好地保留图像细节，避免了过度平滑问题。在实际应用中，DM&1.5DN方案表现最佳，其中采用RCNN算法去马赛克，在调整参数的CBM3D算法进行去噪。项目组通过理论分析揭示了去马赛克后噪声特性，优化了参数选择，显著提高了去噪效果，克服了棋盘效应，保留了更多细节，为高质量彩色图像恢复及医学图像采集提供了高效算法，对相关领域应用具有重要推动作用。

5.首次提出了边缘自适应混合正则化（EAHR）模型的基本理论与方法，解决了图像去噪与去模糊中边缘保护的挑战。通过引入结合全变差（TV）模型与谐波模型的边缘检测操作，稳健地确定图像噪声中的边缘位置，生成边缘信息矩阵，并依据该矩阵自适应调整缩放参数，实现去噪的同时有效保护图像边缘。该矩阵在每次迭代中自动更新，以确保边缘保护的持续性与有效性。此外，本研究构建了一个凸优化模型，并通过sPADMM方法实现高效求解，具有线性收敛性。该方法突破了传统固定参数在平滑与边缘区域难以兼顾的局限，通过四种平滑函数构建了数学性质优良的光滑凸模型，证明了其全局收敛性，为图像复原提供了新的理论支持和高效算法。

本项目在非局部均值算法、彩色图像去噪与去马赛克、低秩矩阵补全及图像复原等领域取得显著进展，推动了图像处理技术在医学影像、遥感图像等领域的广泛应用。课题组的研究为图像重构和去噪提供了坚实理论基础，并促进了新型算法的实际应用，具有重要的科学意义和应用价值。项目的 5 篇代表作包括 4 篇高水平学术论文和 1 篇 CCF A 类会议论文，累计被引用 96 次。所提算法被多位国际知名学者引用，包括新西兰科学院院士 Nikola Kasabov、香港理工大学张磊教授、电子科技大学李厚强教授、首尔大学 Kyoung Mu Lee 教授及坦佩雷大学 Karen Egiazarian 教授等，展现了国际学术影响力。

1. 代表性论文专著目录：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文（专著）名称/刊名/作者 | 年卷页码（xx年xx卷xx页） | 发表时间（年月 日） | 通讯作者（含共同） | 第一作者（含共同） | 国内作者 |
| 1 | Nonlocal means and optimal weights for noise removal/SIAM Journal on Imaging Sciences/金其余、Ion Grama、Charles Kervrann、刘全升 | 2017年10卷4期, 1878-1920页 | 2017年11月 | Charles Kervrann | 金其余 | 金其余 |
| 2 | Fast, nonlocal and neural: A lightweight high quality solution to image denoising/ IEEE Signal Processing Letters/郭宇、Axel Davy、 Gabriele Facciolo、 Jean-Michel Morel、金其余 | 2021年28卷 1515-1519页 | 2021年07月 | 金其余 | 郭宇 | 郭宇、金其余 |
| 3 | Non-local robust quaternion matrix completion for large-scale color image and video inpainting/IEEE Transactions on Image Processing/贾志刚、金其余、吴国宝、赵熙乐 | 2022年31卷3793-3808页 | 2022年5月 | 吴国宝 | 贾志刚、金其余、赵熙乐 | 贾志刚、金其余、吴国宝、赵熙乐 |
| 4 | A review of an old dilemma: Demosaicking first, or denoising first?/proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops/金其余、Gabriele Facciolo、 Jean-Michel Morel | 2020年 | 2020年6月 | Gabriele Facciolo | 金其余 | 金其余 |
| 5 | Edge adaptive hybrid regularization model for image deblurring/Inverse Problems/张婷婷、陈洁、乌彩英、贺志飞、曾铁勇、金其余 | 2022年38卷 6期 065010页 | 2022年5月 | 金其余 | 张婷婷、陈洁、乌彩英 | 张婷婷、陈洁、乌彩英、贺志飞、曾铁勇、金其余 |

1. 主要完成人：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 排名 | 技术职称 | 完成单位 | 工作单位 |
| 金其余 | 1 | 教授 | 内蒙古大学 | 内蒙古大学 |
| 贾志刚 | 2 | 教授 | 江苏师范大学 | 江苏师范大学 |
| 乌彩英 | 3 | 副教授 | 内蒙古大学 | 内蒙古大学 |
| 吴国宝 | 4 | 教授 | 香港浸会大学 | 香港浸会大学 |
| 赵熙乐 | 5 | 教授 | 电子科技大学 | 电子科技大学 |
| 曾铁勇 | 6 | 教授 | 香港中文大学 | 香港中文大学 |

1. 完成单位：

|  |  |
| --- | --- |
| 排名 | 单位名称 |
| 1 | 内蒙古大学 |
| 2 | 江苏师范大学 |
| 3 | 香港浸会大学 |
| 4 | 电子科技大学 |
| 5 | 香港中文大学 |