
OES | 兼顾低剂量与高质量：基于多高斯聚类方差缩减的可解释低剂量CT图像增强

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40981.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

OES | 兼顾低剂量与高质量：基于多高斯聚类方差缩减的可解释低剂量CT图像增强。

Opto-Electronic Science论文推荐中山大学葛昕副教授团队提出了一种基于直方图域的可解释图像增强算法mGCVR，该算法探索直方图域低剂量CT的图像增强问题，能够灵活适配多样化的噪声特性，鲁棒性强，对于推动低剂量CT的应用具有重要意义。

Interpretable low-dose CT enhancement via multi-Gaussian cluster variance reduction

Xiaofeng Zhang¹, Yilan Zhu¹, Yongsheng Huang¹, Jielong Yang², Zhili Wang³, Kai Zhang⁴, Si Chen⁵, Linbo Liu⁶ and Xin Ge^{1*}

Abstract: Computed tomography (CT) is indispensable in both clinical medicine and biological research, yet reducing radiation exposure while maintaining image quality remains a big challenge. To address this, we propose multi-Gaussian Cluster Variance Reduction (mGCVR), a method that enables low-dose CT images to approximate the quality of high-dose scans. mGCVR models the heterogeneous tissue CT intensity distribution using multiple Gaussian components, and performs denoising by shrinking the variance within each component. In biological imaging experiments, mGCVR consistently improves image quality across the entire field of view. Compared with classical denoising algorithms, mGCVR produces images that more closely resemble high-dose clinical CT images and achieves superior performance in quantitative metrics. These results validate the effectiveness of mGCVR and highlight its potential for broad use in both medical imaging and scientific applications.

Keywords: X-ray imaging; denoising; histogram-domain processing; image enhancement; low-dose CT

DOI: [10.29026/oes.2026.250042](https://doi.org/10.29026/oes.2026.250042) | CSTR: [32246.14.oes.2026.250042](https://cstr.cn/32246.14.oes.2026.250042)

Citation: Zhang XF, Zhu YL, Huang YS et al. Interpretable low-dose CT enhancement via multi-Gaussian cluster variance reduction. *Opto-Electron Sci* 5, 250042 (2026).

¹School of Science, Shenzhen Campus of Sun Yat-sen University, Shenzhen 518107, China; ²College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; ³School of Physics, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; ⁴Beijing Synchrotron Radiation Facility, Institute of High Energy Physics, Beijing 100049, China; ⁵Department of Ophthalmology, Yong Loo Lin School of Medicine, National University of Singapore, Singapore 117597, Singapore; ⁶Guangzhou National Laboratory, No. 9 XingDaoHuanBei Road, Guangzhou International Bio Island, Guangzhou 510005, China.

*Correspondence: X Ge, E-mail: gexin5@mail.sysu.edu.cn

文章 Zhang XF, Zhu YL, Huang YS et al. Interpretable low-dose CT enhancement via multi-Gaussian cluster variance reduction. *Opto-Electron Sci* 5, 250042 (2026).

第一作者：张晓峰

通信作者：葛昕

研究背景

计算机断层成像（CT）凭借其无创获取物体内部结构信息的优势，已成为临床诊断和生物医学研究的重要手段。然而，高质量CT成像所需的X射线辐射增加了患者的健康风险。因此，如何在降低辐射剂量的同时维持图像质量，是CT成像领域长期关注的重要问题。在低剂量CT成像中，图像常受高噪声、边界模糊及细节对比度下降的影响

，干扰医生对病灶的判断。尽管现有的深度学习增强方法在视觉效果上表现出色，但其黑箱特性导致推理过程缺乏物理可解释性。因此，发展一种兼具物理意义与强去噪能力的可解释图像增强算法，对于推动低剂量CT的应用具有重要意义。

本文亮点

针对低剂量CT图像噪声强、结构信息易被掩盖的问题，中山大学理学院葛昕副教授及其研究团队提出了一种基于直方图域的可解释图像增强算法mGCVR。相关成果近期以Interpretable low-dose CT enhancement via multi-Gaussian cluster variance reduction为题发表在Opto-Electron Science。

与传统图像域和频谱域以及深度学习方法不同，mGCVR在直方图域探索低剂量CT的图像增强问题。研究团队发现，高剂量CT图像在灰度直方图上通常呈现出更紧凑的小方差分布特征，而低剂量CT由于噪声干扰，其灰度分布会出现明显扩散。基于这一观察，mGCVR在直方图域建立多高斯混合模型对图像灰度分布进行建模，并通过像素标签分配将图像像素划分为多个统计聚类。在此基础上，mGCVR通过像素级重赋值校正图像灰度分布，使得直方图呈现出与高剂量CT同样的小方差统计分布特征，算法原理如图1所示。

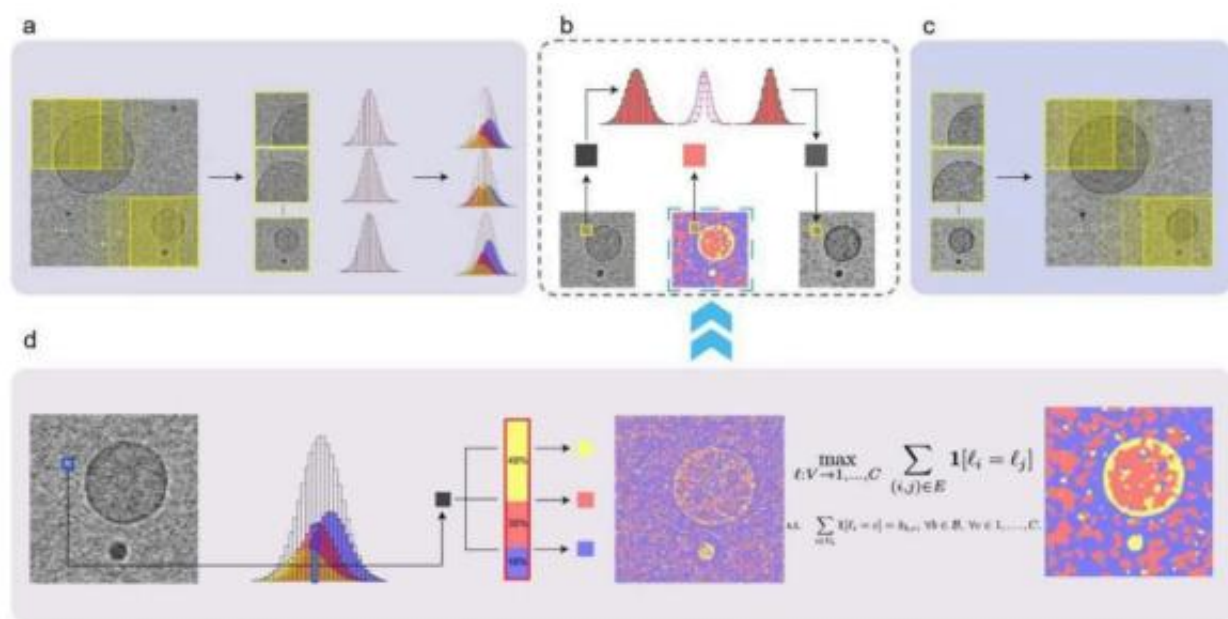


图1 mGCVR算法示意图

研究团队以离体斑马鱼为样本

，分别利用多项评价指标评估了mGCVR算法在真实生物样本上的表现。实验结果表明，在辐射剂量大幅降低6倍的情况下，mGCVR能实现全局高保真的CT图像增强（图2）。

图2 mGCVR实现的斑马鱼CT图像增强

此外，该算法在极低光子数（仅为真值的 $1/80$ ）的仿真测试中，仍表现出有效的噪声抑制能力（图3）。文中多样本实验表明，mGCVR能够灵活适配多样化的噪声特性，在不同扫描设备及组织特性下均具有极强的鲁棒性。这一成果充分体现了mGCVR在低剂量CT成像及相关科学成像中的广阔应用潜力。

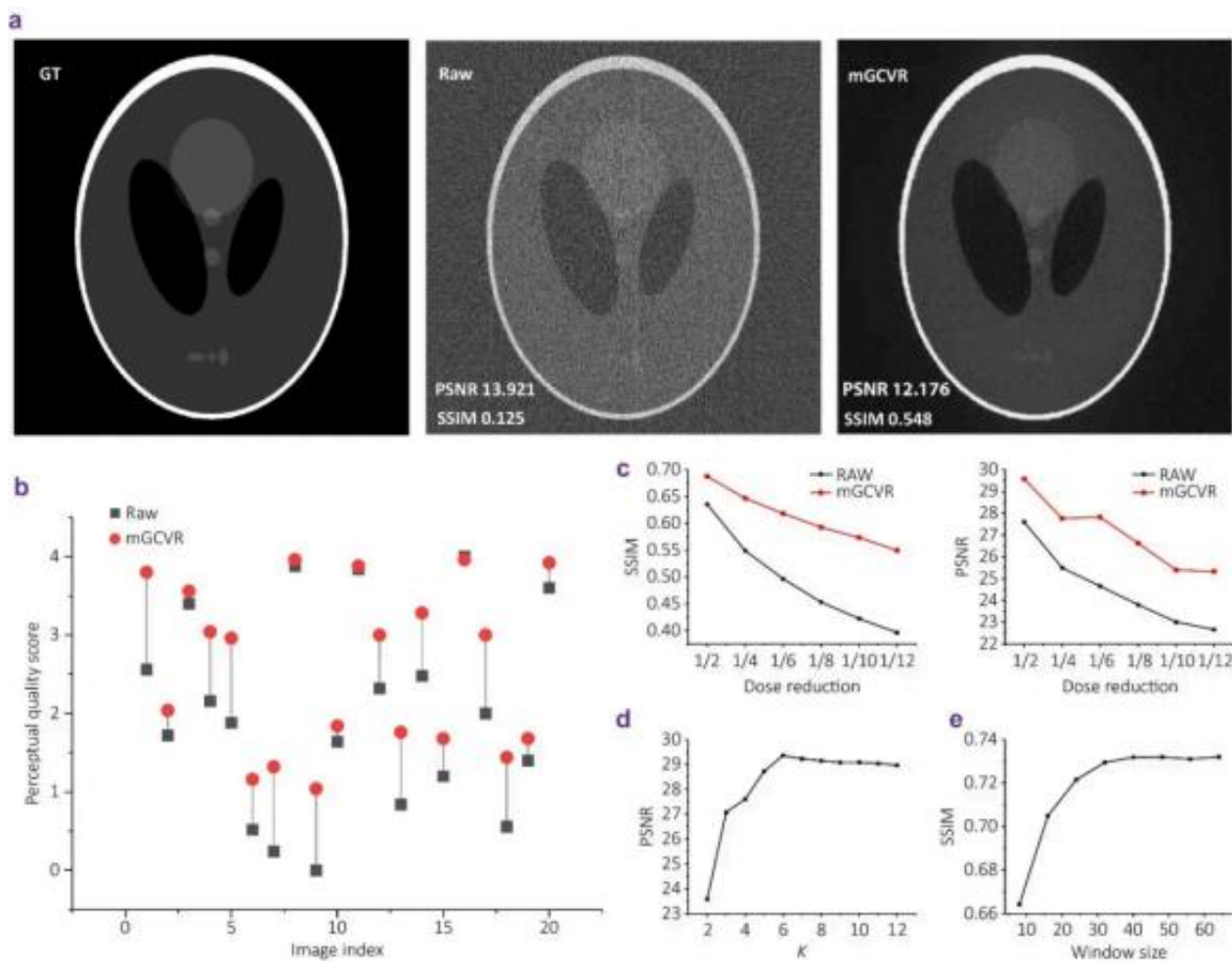


图3 mGCVR对噪声水平及参数设置的鲁棒性

该工作得到了广州国家实验室科研任务专项(GZNL2026A03001 , GZNL2025C03014-01)、广东省基础与应用基础研究基金 (2023A1515011289) 和广东省重点实验室 (2024B 1212010005 , 2024KSYS001) 的支持。

研究团队简介



葛昕副教授

葛昕，现任中山大学百人计划 副教授。本科和博士毕业于中国科学技术大学，先后在香港中文大学物理系和新加坡南洋理工大学电子电气工程学院进行博士后研究。长期从事成像方法学研究工作，共发表高水平论文 60 余篇，其中在 Opto-Electron. Sci、PhotoniX、i Science、Bioeng. Transl. Med.、J. Light. Technol.、Opt. Laser Technol.、Opt. Lasers Eng.、APL Bioengineering 等国际期刊上发表第一作者和通讯作者论文（含共同）22 篇，授权发明专利 10 余项。担任多个高水平期刊审稿人、《CT 理论与应用研究》编委、中国光学工程学会高级会员和中国体视学学会会员等学术职务。



张晓峰 博士研究生

张晓峰，中山大学2021级博士研究生，主要从事光学成像相关方向的研究，聚焦于显微成像与CT成像技术。在读期间系统开展了成像算法与成像系统的协同优化研究，涉及超分辨重建、图像去噪与反卷积、频域建模与优化等关键问题。同时，兼顾软硬件一体化设计，参与成像系统的搭建、调试与性能评估，具备从数据获取到算法实现的完整技术链能力。研究工作面向高分辨率、高信噪比成像需求，在生物医学成像等应用场景中具有良好的实践价值与拓展潜力。



研究团队合影



长按识别此二维码，直达全文
来源：光电期刊

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发