

自然科学奖公示内容

一、 项目名称：图像层次化结构先验学习与感知质量增强理论与方法

二、 提名者及提名意见（包含提名等级）：

提名者：陕西省教育厅

提名意见：本项目聚焦于分辨率不足与动态弱光场景下的图像感知质量增强核心科学问题，基于图像层次化结构先验学习理论，从图像非局部相似性、局部各向异性和多尺度稀疏性三个维度系统学习稳健的图像先验，创新性地提出了基于实例学习与基于重构方法的层次化自然图像超分辨增强模型、复杂退化条件下基于多层次先验与渐进反馈的图像感知质量增强模型，以及基于生物学启发的细粒度视觉质量感知新测度，取得了一系列原创性科学发现和有价值的应用基础理论研究成果。项目成果获得 2024 年度中国图象图形学学会自然科学奖一等奖，2020 年度陕西省高等学校科学技术一等奖，2019 年度陕西省电子学会自然科学技术一等奖，2018 年度 ACM 西安分会“新星奖”。成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。特提名为 2025 年度陕西省科学技术自然科学二等奖。

三、 项目简介：

低质量图像的动态感知与理解是计算机视觉及人工智能领域的基础性核心问题，其科学本质在于如何学习层次化的图像结构先验，实现退化图像中细节的恢复与感知质量的提升。然而，现有低质量图

像增强方法在复杂自然场景下存在先验表示能力不足、特定先验挖掘不充分以及复杂退化难以有效解耦的问题，严重制约了相关技术的理论发展与应用推广。其核心科学挑战在于如何系统揭示自然场景图像的多尺度结构与退化规律，并构建稳健的先验学习与分层增强机制，实现高保真图像恢复与增强。针对上述问题，在国家自然科学基金面上项目、中国博士后基金及陕西省自然科学基金重点项目的资助下，项目组经过十余年的系统探索，构建了完整的图像层次化结构先验学习与感知质量增强理论与方法体系。主要成果包括：基于实例学习与重构方法相结合的层次化超分辨重建理论框架；超分辨重建网络与先验估计网络协同优化的人脸超分辨增强框架；基于多尺度异构深度网络的渐进式弱光图像增强框架，以及细粒度视觉质量感知新测度，为复杂自然场景下的高保真图像恢复提供了坚实的理论基础和方法支撑。主要科学发现如下：

(1) 建立了实例-重构融合与层次化先验建模的图像超分辨重建理论框架，揭示了基于实例学习与重构方法的互补性关系。提出了图像非局部相似性、局部各向异性和多尺度稀疏性先验联合构建稳健正则化超分辨重建模型的图像表观建模方法，提出的由粗到精的渐进式重建机制，阐明了层次化增强能够同时保持图像边缘清晰度与纹理逼真度的规律，解决了长期存在的超分辨图像在“边缘清晰”与“纹理真实”之间难以兼顾的科学难题。

(2)建立了复杂退化条件下基于多层次先验与渐进反馈的图像感知质量增强统一框架，揭示了渐进式反馈机制在提升退化图像恢复质

量中的正向作用。发现了自然图像与人脸图像在极端退化场景下多尺度结构先验的指导作用，以及分层解耦与跨尺度融合对复杂退化特征重建的关键价值；提出了结合“分而治之”多分支建模与时序相关性反馈的渐进式增强方法，突破了退化图像在结构保真度与伪像抑制方面长期难以兼顾的科学瓶颈。

(3) 提出基于生物学启发的细粒度视觉质量感知理论与测度方法。

受人类视觉感知机制启发，提出了多尺度、跨层次特征计算与联合推理的视觉质量感知框架，构建了高精度、细粒度的视觉质量感知新测度，能与人类主观感知保持高度一致，为图像质量评价理论研究提供了新的科学依据。

5 篇代表性论文 Google Scholar 总他引 523 次，单篇最高 Google Scholar 总他引 171 次，得到了来自 30 多个国家/地区学者的引用和高度评价，包括 10 余位美/英/加等国院士和 30 余位 IEEE/ACM/AAAI Fellow。项目组曾获 2024 年度中国图象图形学学会自然科学奖一等奖，2020 年度陕西省高等学校科学技术一等奖，2019 年度陕西省电子学会自然科学技术一等奖。项目部分成果应用于华为、海信等企业的产品中获得成功应用。

四、 客观评价：

【重要科学发现点 1 的评价】

IEEE Fellow、IEEE SPL 高级编辑、SIAM SIIMS，IEEE-TIT，ACHA 等国际刊物副主编、2007 年所罗门·西蒙·马尼教学卓越奖、2008 年亨利·陶布学术卓越奖、2010 年赫歇尔-里奇创新奖的获得者、

以色列理工学院计算机科学系教授 Michael Elad 于 2014 年发表在《IEEE TIP》的论文中引用并评述了项目组的代表性著作 1, 在**代表性引文 1**中指出本项目组的**代表性著作 1**是一种通过多尺度字典联合利用重建图像的稀疏性, 以及局部与非局部图像先验知识的超分辨重建方法。 (“Zhang et al. [18] take advantage of sparsity of the reconstructed image through a multi-scale dictionary, along with local and non-local image priors.”) [代表性引文 1]

IEEE Fellow、法国总统“最高骑士荣誉勋章”获得者、法国 INRIA Christine Guillemot 教授于 2014 年发表在《IEEE TIP》上的论文中引用了项目组的**代表性著作 1**, 在**代表性引文 2**指出本项目的**代表性著作 1**是一种除了使用稀疏表示实例正则项外, 还使用多个正则项实现全局优化图像生成过程的方法。 (“In [17], instead, another sparse-representation-based SR algorithm is presented, which, in addition to a sparse example-based term, uses several regularization terms to globally optimize the image generation process.”) [代表性引文 2]

IEEE Fellow、IEEE Transactions on Signal Processing 论文奖获得者、NSF 职业奖获得者、美国加利福尼亚大学 Truong Q. Nguyen 教授于 2019 年发表在《IEEE TIP》的**代表性引文 3**中, 3 次引用并评述了项目组的**代表性著作 2**, 指出**代表性引文 3**是在受**代表性著作 2**提出的组合实例学习和重构方法启发的基础上, 提出将实例学习和重构方法联系起来, 建立互补性正则化约束的组合超分辨重建方法。 (“In addition, the work in [2] claims that the combination of the

reconstruction-based and learning-based methods can further improve the SR performance. Inspired by these works, we propose a combined SISR method, which bridges these two SISR methods and provides complementary regularization constraints.”) [代表性引文 3]

【重要科学发现点 2 的评价】

IEEE Follow, 美国国家科学基金会早期职业生涯发展奖、美国 ARO YIP 奖、美国 ONR YIP 奖获得者，美国德州农工大学熊子祥教授于 2023 年发表在《Neural Networks》上的论文中引用并评述了项目组的代表性著作 3，在代表性引文 4 中指出本项目组的代表性著作 3 是一种利用人脸关键点作为额外人脸先验作为监督信息训练深度网络的代表性方法。（“The latest work employs additional face a priori supervision, such as face resolution maps (Chen et al., 2018), landmark heat maps (Bulat & Tzimiropoulos, 2018; Yu, Fernando, Ghanem, Porikli, & Hartley, 2018; Zhuang, Li, Zhang, Li, & Lu, 2022), and identity information (Zhang, Zhang, Cheng, Hsu, Qiao, & Liu, 2018), to train their networks.”) [代表性引文 4]

IEEE Follow, 太平洋多媒体会议（IEEE Pacific Conference on Multimedia）大会主席，中国侨界贡献奖获得者，电子科技大学曾兵教授于 2025 年发表在《IEEE TCSVT》上的论文中引用并评述了项目组的代表性著作 3，在代表性引文 5 中引用了本课题组 2 篇论文，并指出本项目组的代表性著作 4 是基于 CNN 多尺度特征优化网络结构的代表性方法，并在预定义的退化条件下取得了优异的性能。（most

subsequent works have focused on optimizing the network architectures such as multi-scale features and transformers [11], [12], [13],[14], [15], [16], [17], [18], [19] and objective functions [20], [21], [22], [23]. These CNN-based methods have achieved impressive performance on SISR with a predefined single degradation setting (e.g., bicubic downsampling).) [代表性引文 5]

IEEE Follow, 美国国家发明家科学院院士、香港工程科学院院士、香港岭南大学副校长 Sam Kwong 教授, 于 2023 年发表在《IEEE TMM》上的论文中引用并评述了项目组的代表性著作 4, 在代表性引文 6 中指出本项目组的代表性著作 4 是引入多样化的网络结构和先验知识, 构建端到端的低光照图像增强网络的代表性方法。(“Furthermore, many works develop diverse architectures and priors to construct end-to-end networks for low-light image enhancement [2], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43].”) [代表性引文 6]

【重要科学发现点 3 的评价】

匈牙利图像处理与模式识别学会创始人、国际模式识别协会 (IAPR) 会士、匈牙利工程院院士, 布达佩斯技术与经济大学教授 Tamas Sziranyi 于 2020 年发表在《IEEE TIP》上的代表性引文 7 中用一段话重点引用并评述了项目组的代表性著作 5, 指出本项目组的代表性著作 5 是一种致力于从原始图像数据中自动学习最适合预测质量得分的特性表示的代表性方法。(“Similarly, the BLINDER model

was proposed by Gao et al. [38]. By feeding an image into a VGG16 network and generating one feature vector in each layer, a quality score was created and then estimated for each feature vector by SVR.”[代表性引文 7]

IEEE/IET Follow, 新加坡工程技术学会荣誉会士，新加坡南洋理工大学(NTU)计算机与数据科学学院的校长讲席教授 Weisi Lin 于 2020 年发表在《IEEE TIP》上的代表性引文 8 中专门引用并评述了项目组的代表性著作 5，指出本项目组的代表性著作 5 是一种从预训练的 CNN 网络中提取多层次特征表征层次化退化的代表性方法。（“ In order to capture the hierarchical degradation, some researchers extract multilevel features from the existing pretrained CNN models (on other tasks, e.g., object classification), then these features are regressed with SVR to predict image quality. The structure of such type is represented by Fig.2(b). For example, BLINDER [12] extracts features at each layer of VGG16 [29]. Then SVR is utilized to obtain a score at each layer, and the final quality score is computed by averaging the layer-wise scores.”[代表性引文 8]

五、 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	知识 产权 是否 归国 内所 有
----	------------	----	----	--------------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------------------	------------------	---------------------------------

1	Multi-scale dictionary for single image super-resolution	IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition	Kaibing Zhang, Xinbo Gao, Dacheng Tao, Xuelong Li	2012 年 11 月 21 页	2012 年 6 月 26 日	张凯兵	张凯兵	张凯兵, 高新波, 李学龙	是
2	A unified learning framework for single image super-resolution	IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems	Jifei Yu, Xinbo Gao, Xuelong Li, Dacheng Tao, and Kaibing Zhang	2014 年 25 卷 780-792 页	2013 年 11 月 20 日	高新波	庾吉飞	庾吉飞, 高新波, 李学龙, 张凯兵	是
3	Multi-level landmark-guided deep network for face super-resolution	Neural Networks	Cheng Zhuang, Minqi Li, Kaibing Zhang, Zhen Li, Jian Lu	2022 年 152 卷 276-286 页	2022 年 5 月 5 日	张凯兵	庄诚	庄诚, 李敏奇, 张凯兵, 李正, 卢健	是

4	Multi-branch and progressive network for low-light image enhancement	IEEE Transactions on Image Processing	Kaibing Zhang, Cheng Yuan, Jie Li, Xinbo Gao, Minqi Li	2023 年 32 卷 2295-2308 页	2023 年 4 月 14 日	高新波	张凯兵	张凯兵, 袁诚, 李洁, 高新波, 李敏奇	是
5	Blind image quality prediction by exploiting multi-level deep representations	Pattern Recognition	Fei Gao, Jun Yu, Suguo Zhu, Qingming Huang, Qi Tian	2018 年 81 卷 432-442 页	2018 年 4 月 13 日	俞俊	高飞	高飞, 俞俊, 朱素果, 黄庆明	是
<p>承诺: 该表所列论文专著的知识产权归国内所有且无争议, 未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年省部级(政府)科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖提名项目中作为支撑材料出现。用于提名陕西省科学技术奖的情况, 已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的作者的同意, 其中, 未列入项目主要完成人的第一作者、通讯作者(含共同第一作者、共同通讯作者)已出具知情同意书面签字意见, 与其他作者的有关知情证明材料均存档备查。因未如实告知上述情况而引起争议, 且不能提供相应存档备查的证据, 本人愿意承担相应责任, 并接受处理。</p>									

六、 主要完成人情况:

排名	姓名	技术职称	行政职务	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	张凯兵	教授	副院长	西安工程大学	西安工程大学	项目负责人, 负责整个项目的研究方

						案、研究目标和研究内容的制订与组织实施，是代表性论著 1、5 的主要学术思想提出者，对《重要科学发现》中所列第 1、2、3 项发现均做出了创造性贡献。在该项目中投入的工作量达 80%。
2	李洁	教授	无	西安电子科技大学	西安电子科技大学	项目主要参与人之一、协助项目第一完成人承担的国家自然科学基金项目的规划与实施，对《重要科学发现》中所列第3项发现均做出了创造性贡献。在该项目中投入的工作量达 60%。
3	高飞	副研究员	无	西安电子科技大学	西安电子科技大学	项目主要参与人之一，提出了生物学启发的细粒度视觉质量感知测度，是代表性论著 5 的主要学术思想提出者，对《重要科学发现》中所列第 3 项发现做出了创造性贡献。在该项目中投入的工作量达 60%。
4	李敏奇	副教授	无	西安工程大学	西安工程大学	项目参与人之一，是代表性论著 3、4 的主要学术思想提出者，对《重要科学发现》中所列第 3 项发现做出了创造性贡献。在该项目中投入的工作量达 40%。
5	卢健	副教授	无	西安工程大学	西安工程大学	项目参与人之一，是代表性论著 3 的主要学术思想提出者，对《重要科学

						发现》中所列第 2 项发现做出了创造性贡献。在该项目中投入的工作量达 30%。
--	--	--	--	--	--	---

七、 主要完成单位情况：

主要完成单位：（依次列写完成单位名称）

排 名	完成单位	贡 献
1	西安工程大学	西安工程大学是本成果主要支持项目国家自然科学基金项目“资源受限条件下实时超分辨重建方法研究”的依托单位，项目第一完成人张凯兵是西安工程大学计算机科学学院教师，在项目实施过程中，本单位给予项目主持人及其合作成员在实验室科研用房、仪器设备及配套设施等软硬件方面全面支持和相应服务和指导，为项目的顺利实施起到了关键性作用。
2	西安电子科技大学	西安电子科技大学是本成果主要支持项目国家自然科学基金项目“资源受限条件下实时超分辨重建方法研究”的合作研究单位，其中本项目第 2 完成人是国家自然科学基金的核心成员，与第 1 完成人有密切合作，共同承担并完成国家自然科学基金项目 1 项，合作发表 SCI 检索论文 9 篇。第 3 完成人是本项目国家自然科学基金项目“资源受限条件下实时超分辨重建方法研究”的主要参与人王海军参与张凯兵承担的博士后研究课题，以共同作者发表 SCI 论文 5 篇，并且一直保持着紧密的合作关系。第 5 完成人是西安电子科技大学 VIPSL 实验室毕业的硕士研究生，是本课题的参与人之一，是代表性著作 2 思想的主要提出者。

八、 完成人合作关系说明（**合作方式**包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。下表中的“项目排名”指在本次报奖中的完成人排序。）

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果名称
1	共同立项	张凯兵/1 李洁/2	2014-至今	国家自然科学基金面上项目:资源受限环境下实时超分辨重建方法研究结题证明
2	共同立项	张凯兵/1 高飞/3 李敏奇/5	2019-至今	国家自然科学基金面上项目:基于分治策略与增量字典学习的图像超分辨重建方法研究结题证明
3	共同立项	张凯兵/1 李敏奇/3	2019-至今	陕西省自然科学基金基础研究计划重点项目: 基于多视角特征集成学习的图像超分辨重建方法结题证明
4	论文合著	张凯兵/1 李 洁/3 李敏奇/5	2009-至今	Multi-branch and progressive network for low-light image enhancement
5	论文合著	李敏奇/2 张凯兵/3 卢健/5	2012-至今	Multi-level landmark-guided deep network for face super-resolution
6	共同获奖	张凯兵/1 李洁/2 卢健/6	2009-至今	2020 年度陕西高等学校科学技术奖一等奖
7	共同获奖	张凯兵/3 李洁/5	2009-至今	2024 年度中国图象图形学学会自然科学奖一等奖
8	共同获奖	张凯兵/1 李洁/2	2009-至今	2019 年度陕西省电子学会自然科学技术一等奖