

ASFST: Adaptive Spectral Filters Sparse Transformer for Hyperspectral Image Denoising

基于自适应光谱滤波器稀疏注意力的高光谱图像去噪

陈锐杰, 徐帆江, 唐熊忻*, 尹超

2025 International Conference on Intelligent Computing

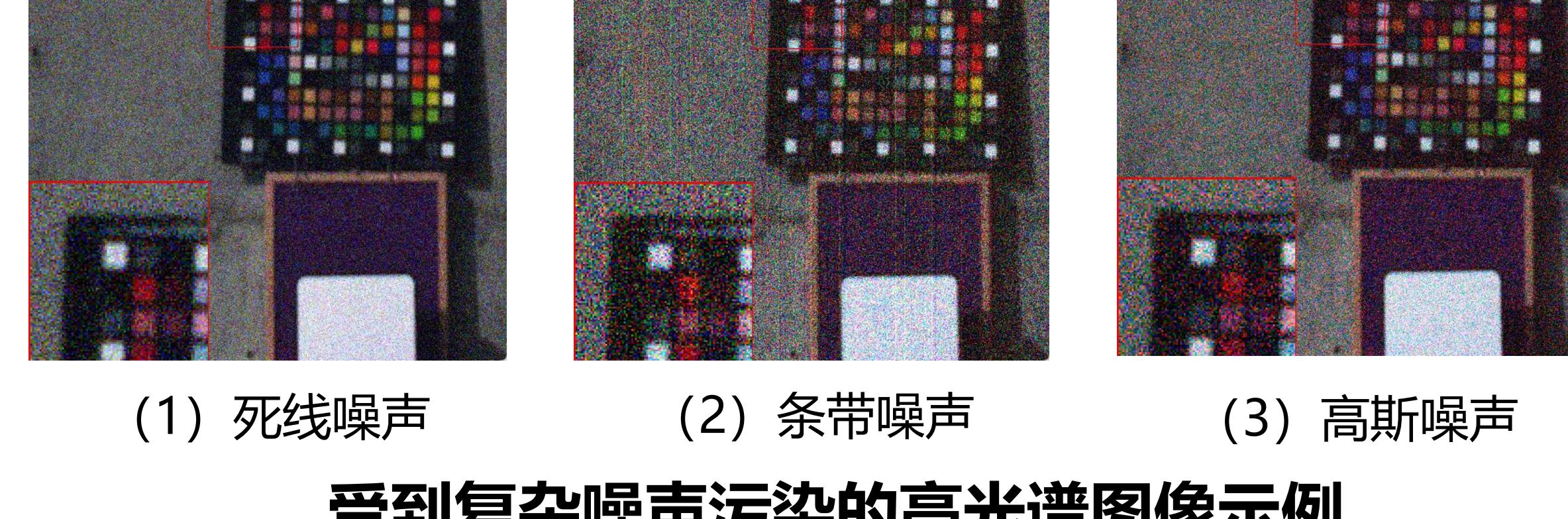
✉ chenruijie23@mails.ucas.ac.cn

研究背景

问题背景

高光谱图像具有丰富的光谱信息, 在农业监测、医学诊断和地质勘探等领域具有重要应用价值。然而, 其多波段特性及光谱分光过程导致单波段光子数受限, 易产生噪声。这些噪声不仅降低图像视觉质量, 还会严重影响分类、目标检测等下游任务性能。

受到简单噪声污染的高光谱图像示例



(1) 死线噪声

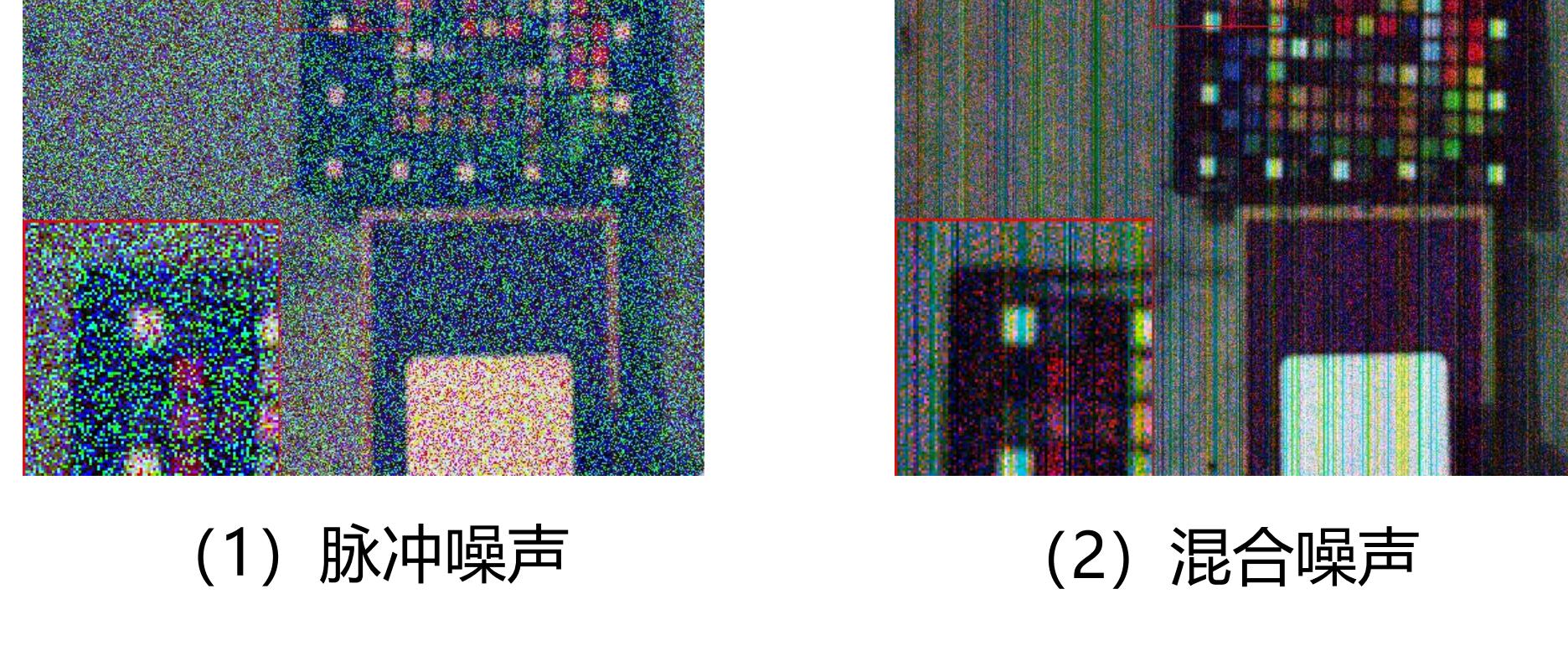
(2) 条带噪声

(3) 高斯噪声

研究现状

- 基于传统先验的方法: 依赖手工先验模型 (如低秩、稀疏性), 计算复杂度高且难以处理复杂噪声。
- 基于深度学习方法: 深度学习方法通过数据驱动学习显著提升了性能, 但CNN受限于局部感受野难以建模光谱全局关系, 而Transformer虽能捕获长程依赖, 却可能因密集连接引入噪声干扰。

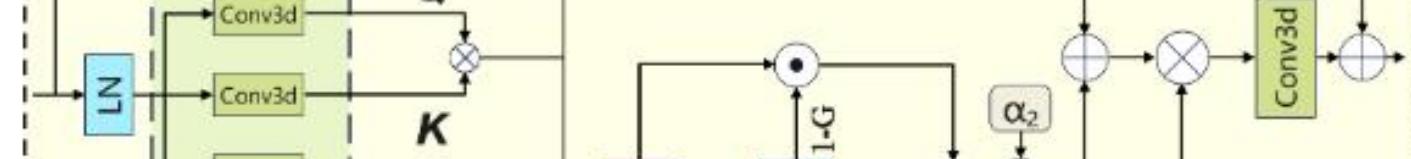
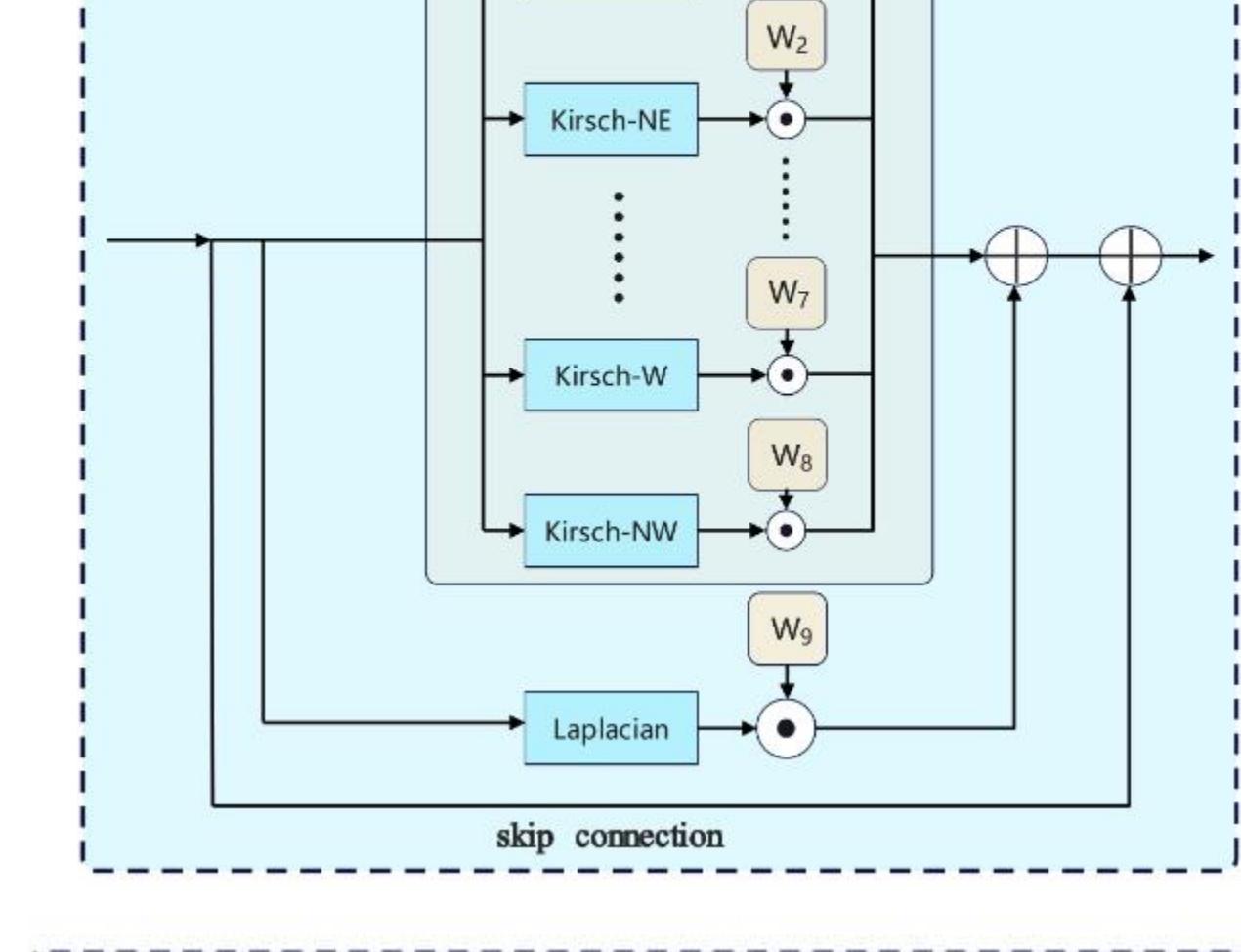
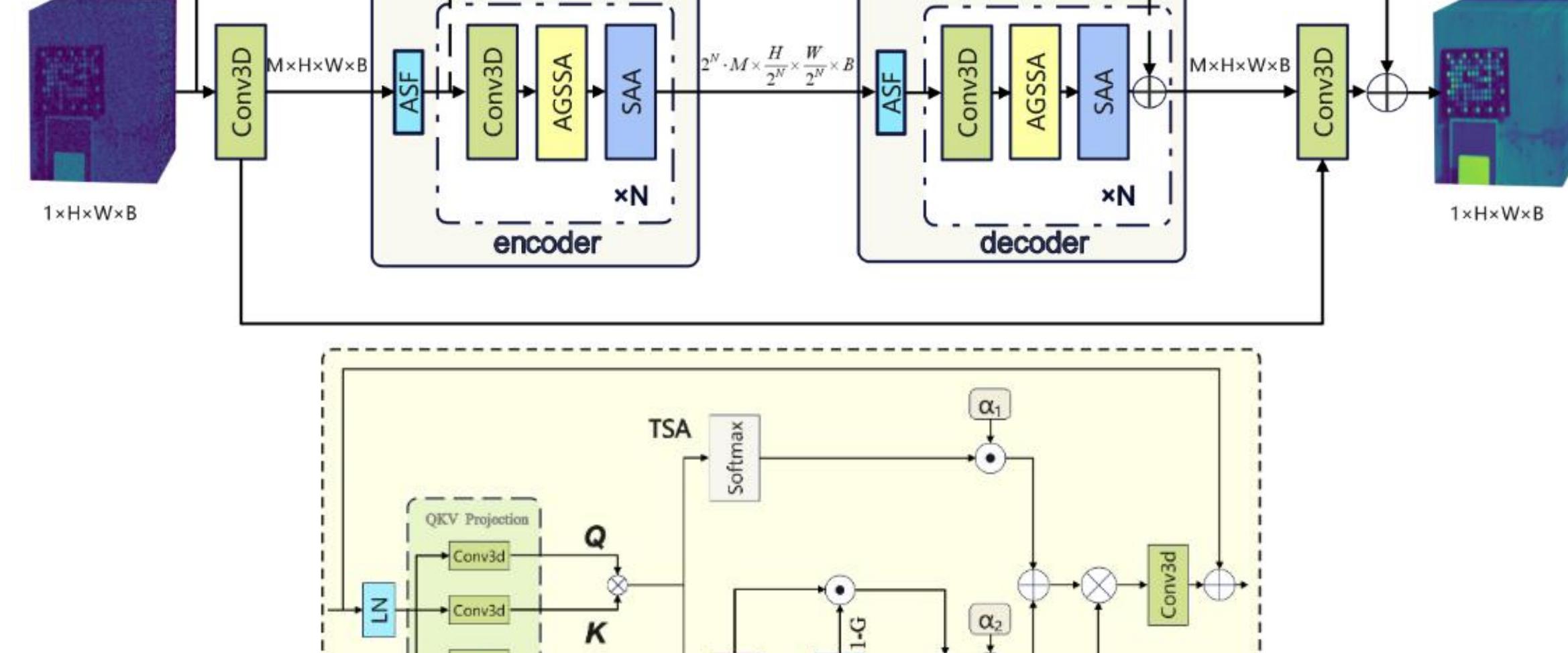
受到复杂噪声污染的高光谱图像示例



(1) 脉冲噪声

(2) 混合噪声

研究方法



解决方案

- 自适应光谱滤波模块: 通过可学习参数动态调整滤波权重, 将传统光谱先验知识与深度特征学习有机结合, 增强模型对复杂噪声分布的适应能力。
- 自适应门控稀疏自注意力模块: 创新性地融合传统自注意力和门控稀疏注意力机制, 其中稀疏注意力通过阈值控制显著减少冗余计算, 在保持长程依赖建模能力的同时有效抑制噪声传播。
- 光谱增强注意力模块: 采用谱间差异化加权策略, 通过分析各波段信噪比特性自适应分配注意力权重, 强化有效光谱特征的表征能力。

实验结果

简单噪声去噪效果上的定量比较结果

Methods	Non-i.i.d				Stripe			Deadline		
	PSNR	SSIM	SAM	PSNR	SSIM	SAM	PSNR	SSIM	SAM	
Noise	19.08	0.21	33.96	16.43	0.125	36.21	16.88	0.151	36.96	
LRTV [4]	33.02	0.884	4.31	32.83	0.854	10.96	31.22	0.801	7.64	
LLRT [3]	34.28	0.873	4.64	34.25	0.882	4.83	32.67	0.843	5.48	
NGMeet [5]	35.52	0.898	5.16	35.12	0.913	7.51	33.43	0.855	6.06	
SST [12]	43.76	0.981	1.96	43.15	0.978	2.06	42.94	0.978	2.12	
SERT [13]	44.27	0.981	1.87	43.7	0.98	1.95	43.62	0.979	2.00	
TDSAT [14]	44.36	0.981	1.89	43.9	0.979	1.97	43.91	0.979	1.98	
ASFST	44.32	0.981	1.86	43.8	0.98	1.94	43.89	0.98	1.96	

复杂噪声去噪效果上的定量比较结果

Methods	Impulse				Mix	
	PSNR	SSIM	SAM	PSNR	SSIM	SAM
Noise	15.64	0.146	41.97	13.26	0.096	43.38
LRTV [4]	28.32	0.789	8.81	27.15	0.775	8.87
LLRT [3]	29.68	0.762	8.54	28.88	0.797	7.17
NGMeet [5]	29.48	0.837	8.84	28.21	0.812	7.7
SST [12]	41.96	0.973	2.39	39.3	0.957	2.87
SERT [13]	42.57	0.974	2.27	40.2	0.963	2.8
TDSAT [14]	42.82	0.973	2.31	41.92	0.97	2.57
ASFST	43.05	0.976	2.09	42.18	0.973	2.35

结果分析

- ASFST在三种简单噪声退化数据集的PSNR指标上均取得最优或次优的增强效果, 其余两种指标均取得最优结果, 在光谱相似度上有明显进步。
- ASFST在两种复杂噪声退化数据集的三种指标都取得了最优效果, 特别是光谱相似度上有显著进步。