

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

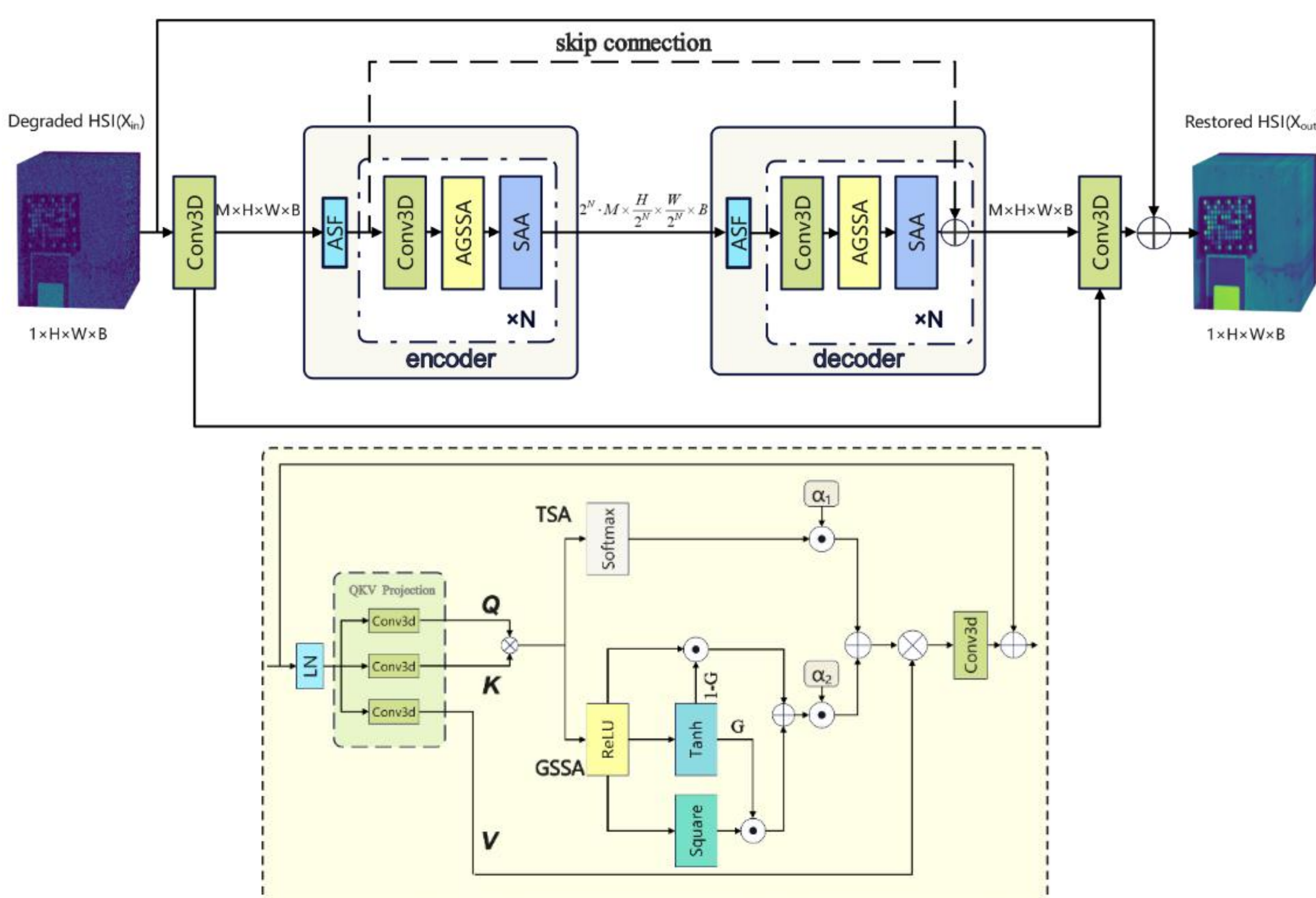
问题背景

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。

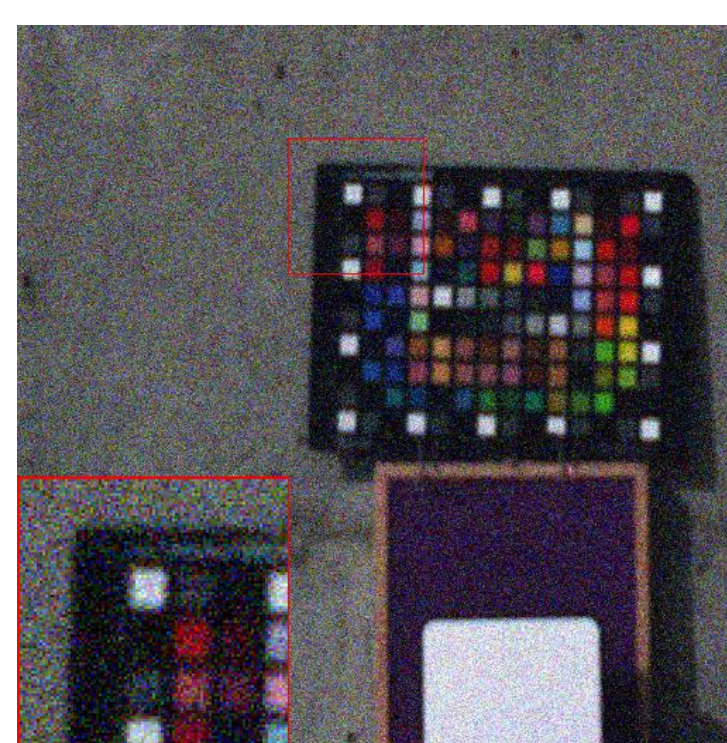
研究现状

- **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。

研究方法



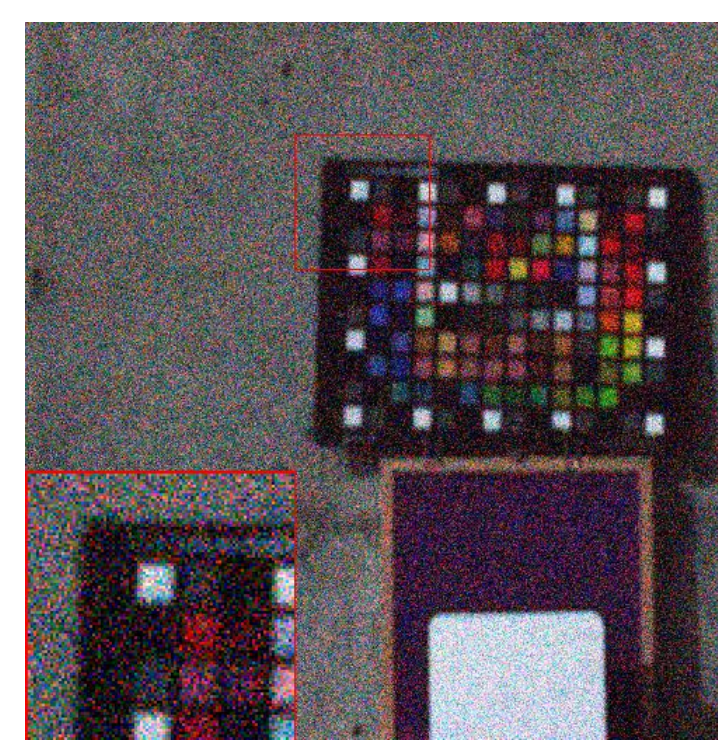
受到简单噪声污染的高光谱图像示例



(1) 死线噪声

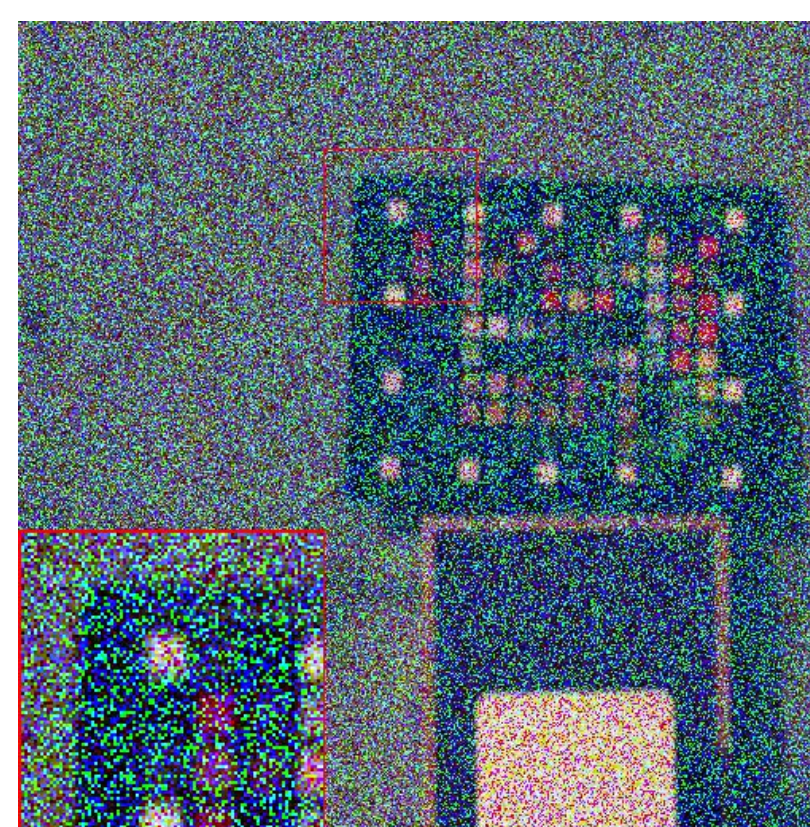


(2) 条带噪声

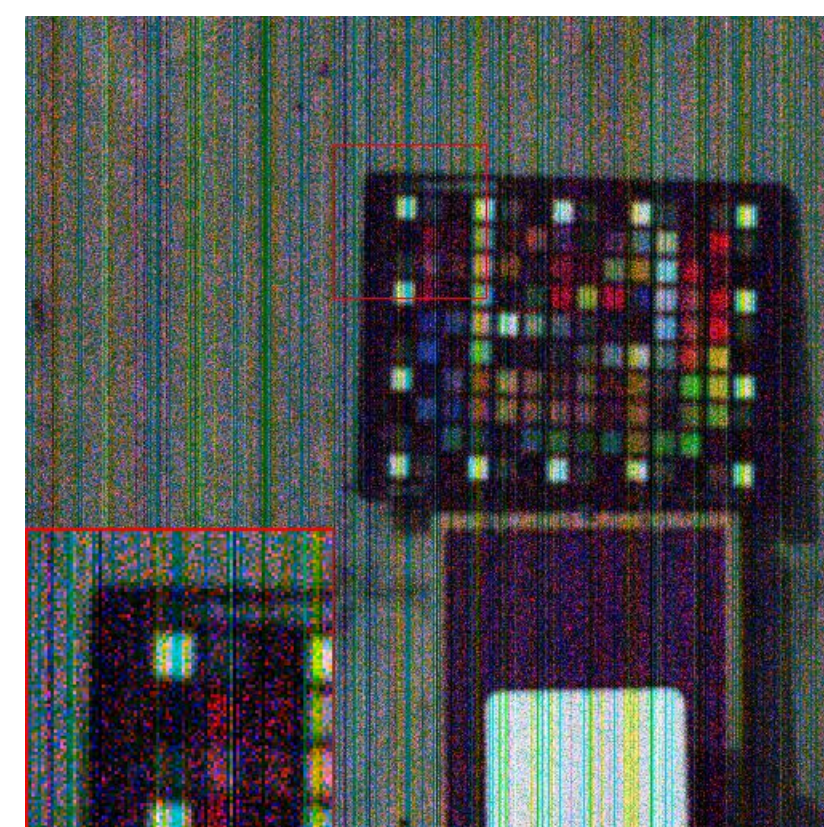


(3) 高斯噪声

受到复杂噪声污染的高光谱图像示例

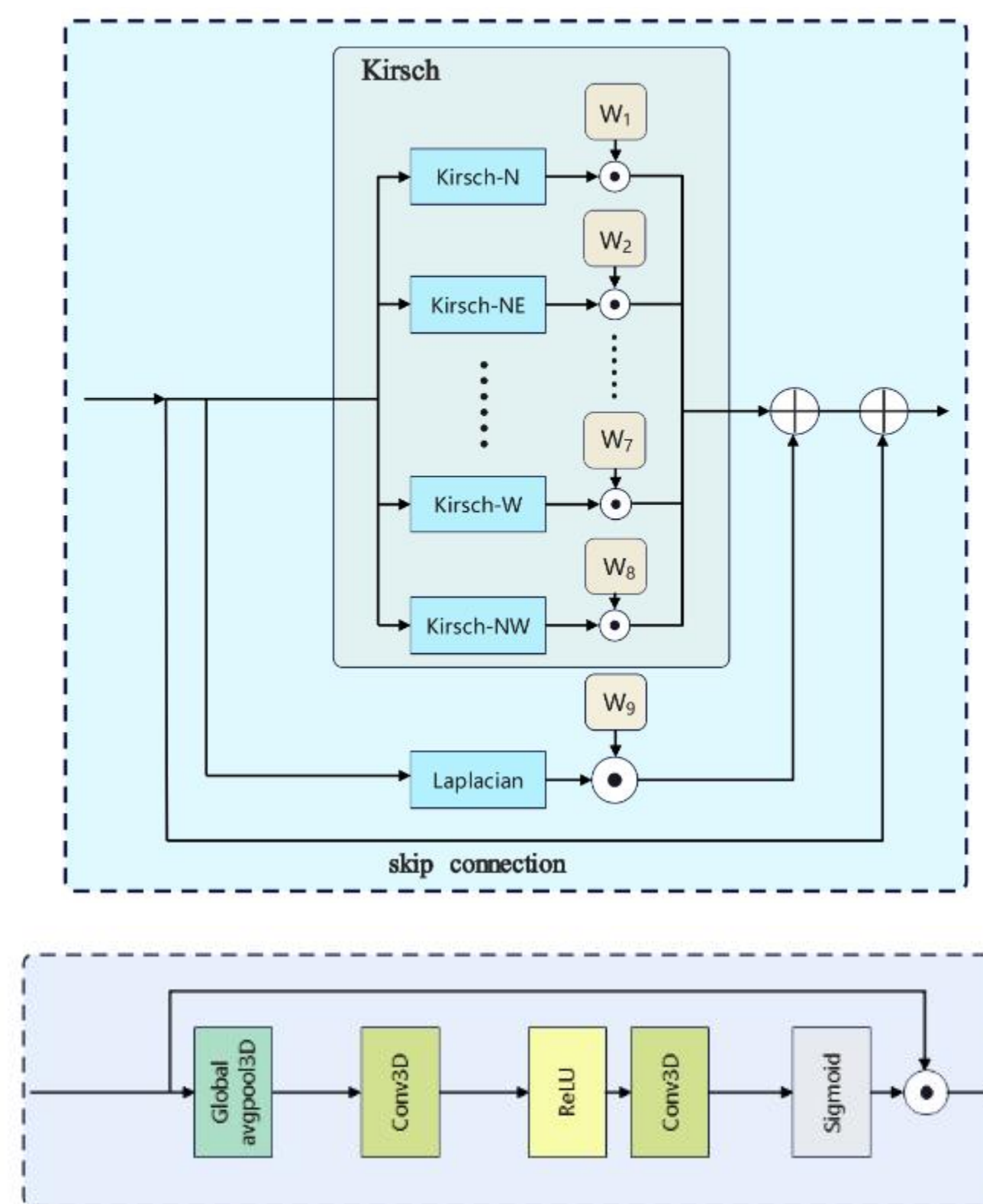


(1) 脉冲噪声



(2) 混合噪声

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代表能力。

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	<u>0.898</u>	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	<u>1.87</u>	43.7	0.98	<u>1.95</u>	43.62	<u>0.979</u>	2.00
TDSAT [14]	44.36	0.981	1.89	43.9	<u>0.979</u>	1.97	43.91	<u>0.979</u>	<u>1.98</u>
ASFST	<u>44.32</u>	0.981	1.86	<u>43.8</u>	0.98	1.94	<u>43.89</u>	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	<u>0.974</u>	<u>2.27</u>	40.2	0.963	2.8
TDSAT [14]	<u>42.82</u>	0.973	2.31	<u>41.92</u>	<u>0.97</u>	<u>2.57</u>
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。