

doi: 10.7690/bgzd.2025.02.012

非均匀低光照环境下视频动态图像清晰化研究

张爽

(辽宁警察学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 为提高非均匀低光照环境下视频动态图像的清晰化水平, 提出一种非均匀低光照环境下视频动态图像清晰化研究方法。构建视频动态图像光照变化尺度分解模型, 依据光照初始变换参数敏感性, 融合匹配视频动态图像噪点特征参数并分解离群参数。采用高阶相似度特征匹配法建空间一致化噪点过滤模型, 依过滤结果清晰化视频动态图像。实验结果表明: 该方法处理后图像的信噪比达到了 47.8 dB, 图像结构相似性均值为 0.980, 均方误差仅为 0.086, 图像清晰化处理时间为 5.21 s, 证明该方法实用且能有效提高图像清晰化能力。

关键词: 变光照环境; 视频; 动态图像; 清晰化; 噪点过滤

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Research on Video Dynamic Image Clarity in Non-uniform Low Light Environment

Zhang Shuang

(Liaoning Police College, Dalian 116026, China)

Abstract: In order to improve the level of video image clarity in non-uniform low-light environment, a research method of video image clarity in non-uniform low-light environment is proposed. A video dynamic image illumination change scale decomposition model is construct, and according to that sensitivity of the illumination initial transformation parameter, the noise feature parameters of the matched video dynamic images are fuse and the outlier parameters are decomposed. A spatial uniform noise filtering model is established by using a high-order similarity feature matching method, and a video dynamic image is made clear according to a filtering result. The experimental results show that the signal to noise ratio (SNR) of the image processed by this method reaches 47.8 dB, the mean value of image structure similarity is 0.980, the mean square error is only 0.086, and the processing time of image clarity is 5.21 s, which proves that this method is practical and can effectively improve the ability of image clarity.

Keywords: variable lighting environment; video; dynamic image; sharpening; noise filtering

0 引言

随着信息技术的飞速发展, 视频技术已深度融合入人们的日常生活与工作中, 成为信息传播与视觉体验不可或缺的一部分。在实际应用中, 由于拍摄设备、环境条件、传输方式等多种因素的影响, 视频动态图像的清晰度往往难以得到保证。模糊、失真的图像不仅影响观众的视觉体验, 更在医疗诊断、安防监控、智能交通等领域造成诸多不便; 因此, 视频动态图像清晰化技术的研究显得尤为重要^[1-3]。

文献[4]中提出基于条件生成对抗网络的视频图像清晰化方法, 针对获取的视频图像样本进行了预处理, 基于条件生成对抗网络重建低清晰图像, 实现图像清晰化处理, 但该方法对视频动态图像滤波处理的抗干扰性能不好, 导致图像信噪比较高。文献[5]中提出图像去雾方法, 通过分析有雾和无雾图像斑块的不同特征, 提出了一种新的简单先验算

法, 即无雾图像斑块具有最大的局部图像熵。然后利用提出的先验算法计算透射图, 得到无雾霾图像, 实现图像清晰化处理, 但该方法处理后的图像的结构相似性较低。

针对上述问题, 笔者研究非均匀低光照环境下视频动态图像清晰化方法, 并进行仿真测试。

1 光照变化尺度分解模型及图像参数分析

1.1 光照变化尺度分解模型的参数敏感性分析

为了实现变光照环境下视频动态图像清晰化处理, 首先针对视频动态图像中存在的光照变化现象, 构建光照尺度信息分解模型对这种变化进行分解和描述。这个模型能够将每一帧图像分解成多个尺度的图像, 以便后续处理^[6]。构建的模型为光照变化尺度分解模型, 并且分析该模型的参数敏感性。

1) 对图像采用 S 变换进行时频特征分解^[7], 可得到 n 次变换的第 i 级 Radon 分解下的变光照环境

收稿日期: 2024-07-10; 修回日期: 2024-08-11

基金项目: 辽宁省科技厅项目(2020JH2/10300109); 辽宁省科技厅应用基础研究计划项目(2023JH2/101300134);

辽宁省公安大数据智能应用重点实验室项目(2022JH13/10200047)

第一作者: 张爽(1981—), 女, 辽宁人, 硕士。

下视频动态图像。

2) 结合三元组检验和梯度分解方法^[8]提取的梯度信息，构建沿梯度方向的点云特征匹配模型：

$$\text{WSSIM}_{H_i} = \sum_{E_{LH_i}} [\omega_{HL_i} \cdot \text{WSSIM}_{HL_i} + \omega_{LH_i} \cdot \text{WSSIM}_{LH_i} + \omega_{HH_i} \cdot \text{WSSIM}_{HH_i}] \quad (1)$$

式中： ω_{HL_i} ， ω_{LH_i} ， ω_{HH_i} 分别为候选匹配选取参数、图匹配求解参数和模因子参数； WSSIM_{HL_i} ， WSSIM_{LH_i} ， WSSIM_{HH_i} 分别为基于特征的点云配准权重分配系数； H_i 为光照敏感性分析参数 ($i=1, 2, 3, 4, 5$)； E_{HL_i} 为多尺度分解参数。通过匹配，可以获得一组对应的特征点对 (X, Y) ，用于后续软抠图处理。

3) 基于重加权随机游走匹配的方法^[9]，利用匹配出的特征点对 (X, Y) 来估计图像中不同区域之间的距离关系，得到一张描述图像软抠图边界的距离图，记为 FWSSIM：

$$\text{FWSSIM}(X, Y) = \left(\omega_{LL} \cdot \text{WSSIM}_{H_i} + \sum_{i=1}^5 (\omega_{H_i} \cdot \text{WSSIM}_{H_i}) \right) / \left(\omega_{LL} + \sum_{i=1}^5 \omega_{H_i} \right) \quad (2)$$

式中： ω_{LL} 为 2 组点云的相似度特征分配集； ω_{H_i} 为沿梯度方向的点云特征匹配的权重。

4) 使用点云特征匹配模型，以及之前得到的距离图，进行进一步处理，最终得到构建的光照尺度信息分解模型：

$$\left. \begin{aligned} E_{HL_i} &= \text{WSSIM}_{H_i} \sum_j \text{FWSSIM}(X, Y) \cdot (c_j^{HL_i})^2 \\ E_{LH_i} &= \text{WSSIM}_{H_i} \sum_j \text{FWSSIM}(X, Y) \cdot (c_j^{LH_i})^2 \\ E_{HH_i} &= \text{WSSIM}_{H_i} \sum_j \text{FWSSIM}(X, Y) \cdot (c_j^{HH_i})^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中： $c_j^{HL_i}$ 、 $c_j^{LH_i}$ 、 $c_j^{HH_i}$ 为光强透射率的计算结果； E_{HL_i} 、 E_{LH_i} 、 E_{HH_i} 为基于特征的点云配准对应的多尺度分解参数。

经上述图像处理，获得变光照环境下视频动态的信噪比较好的全息图，实现对光照变化尺度分解。

1.2 噪点特征参数融合匹配和离群参数分解

利用先前得到的光照变化尺度分解模型的参数敏感性结果，对视频动态图像中的噪点特征参数进行融合匹配和离群参数分解。以此减少噪点的影响，并提高图像相关信息的准确性。

根据图像融合匹配和离群参数分解的需求，选择特定的 Retinex 算法^[10-11]提取视频动态图像的噪

点特征分量：

$$\omega_{HL_i} = E_{HL_i} / (E_{HL_i} + E_{LH_i} + E_{HH_i}) \quad (4)$$

$$\omega_{LH_i} = E_{LH_i} / (E_{HL_i} + E_{LH_i} + E_{HH_i}) \quad (5)$$

$$\omega_{HH_i} = E_{HH_i} / (E_{HL_i} + E_{LH_i} + E_{HH_i}) \quad (6)$$

针对各波段的噪点特征差异性，采用空谱信息增强处理的方法，对噪点特征分量进行区域性信息增强和噪点滤波处理。

$$\text{Im}a(x_i) = \frac{J + \sum p(x_i | z_i, u_{i-1}, z_{i-1}, \dots, u_0, z_0)}{\sum (\omega_{HL_i} + \omega_{LH_i} + \omega_{HH_i})} \quad (7)$$

式中：

$$J = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^* d(x_k, v_i) + \beta \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^* d(\bar{x}_k, v_i) \quad (8)$$

式中： u_{ik}^* 为图像的色差对比度； $d(x_k, v_i)$ 为聚类参数； n 为图像像素点个数； p 为区域大小系数； c 为噪声滤波参数； x_k 为像素点位置； v_i 为像素点聚类速度； z_i 为噪声点； u_{i-1} 为正常点。

基于辅助影像与目标图像的自适应匹配结果，利用全局显著图融合方法对区域性信息增强和噪点滤波处理^[12]后的特征参数进行融合匹配：

$$\text{ws}(X, Y) = \iint_J \frac{2 | \sum_{i=1}^N c_{x,i} c_{y,i} | + K}{\sum_{i=1}^N |c_{x,i}|^2 + \sum_{i=1}^N |c_{y,i}|^2 + K} \quad (9)$$

式中： c_x 和 c_y 分别为全局显著图融合信息分量； K 为光谱分辨率。

引入图像的成像初始评价参数 w^T ，考虑色差对比度 u_{ik}^* 、聚类参数 $d(x_k, v_i)$ 和图像像素点个数等参数 n 与噪点特征离群参数之间的关联性，进行如下离群分解：

$$L = J(w, e) - \sum_{4C} a_i \left\{ \sum_{ws(X, Y)} w^T \varphi(x_i) + b + e_i - y_i \right\} \quad (10)$$

式中： $J(w, e)$ 为相似图块对之间的偏移量的相似度； a_i 为分解得到的视频动态图像的点云几何信息； $\varphi(x_i)$ 为影像结构和纹理的空间模式； $4C$ 为恢复出的最大池化输出特征图的通道数； e_i 为偏移量； b 为离群分解因子。

2 实现视频动态图像清晰化处理方法

在完成噪点特征参数融合匹配和离群参数分解后，降低了视频动态图像的噪声。基于该去噪后的图像，建立噪点过滤模型以实现视频动态图像清晰化处理。该清晰化处理方法结合了一元匹配和高阶匹配方法，对分解得到的视频动态图像的点云几何信息进行优化匹配。

得到视频动态图像的点云几何信息进行匹配变换^[13]的基函数:

$$\left. \begin{aligned} f(x_1, x_2) &= r_1 x_1 \left(1 - a_i \frac{x_1}{N_1} - \sigma_1 \frac{x_2}{N_2} \right) = 0 \\ g(x_1, x_2) &= r_2 x_2 \left(1 - \sigma_2 \frac{x_1}{N_1} - a_i \frac{x_2}{N_2} \right) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

式中: r_1 为视频动态图像的点云集合信息匹配维数; r_2 为波段映射模型; σ_1, σ_2 为像元的反射率值; N_1, N_2 为视频动态图像的光照仿射不变矩^[14-15]。

在复杂背景干扰下, 将阴影视为缺失区域, 生成新的掩膜为:

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1-t(x)). \quad (12)$$

式中: A 为视频动态图像的尺度信息; $t(x)$ 为云掩膜提取辅助影像的透射率; $J(x)$ 为光谱波段中对应的视差分量^[16-18]。

在生成新的掩膜后, 构建训练样本阶段的模糊样本匹配集, 得到各波段特征匹配的判别函数为 H_1, H_0 来判断像元是否缺失, 则有:

$$\left. \begin{aligned} H_1: U(t) &= V(t) + \alpha(t)W(t) \\ H_0: U(t) &= V(t) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

式中: $V(t)$ 为视频动态图像的稀疏先验信息分量; $W(t)$ 为同源高光谱辅助信息; $\alpha(t)$ 为单个波段中的缺失像元; H_1 为变光照图像分布区域的色差; H_0 为空间一致性滤波参数; $U(t)$ 为各波段特征匹配。

利用训练样本阶段的式(13)得到的判别函数, 将其作为特征之一^[19-20]。综合考虑各种因素, 建立空间一致化噪点过滤模型, 完成视频动态图像清晰化处理, 公式为:

$$l = \frac{\sum_{H_1} (2u_x u_y + C_1)}{\sum_{H_0} (u_x^2 + u_y^2 + C_1)} \quad (14)$$

式中: u_x 和 u_y 为图像空间像素的 2 维几何矩; C_1 为输出像素序列的不变矩。

根据上述分析, 通过综合考虑像元缺失、变光照环境下色差分布区域、稀疏先验信息等因素, 通过噪点过滤模型的构建进行更准确的噪点过滤和图像增强处理, 从而提高视频动态图像的清晰度水平, 实现图像清晰化处理。

3 实验测试

3.1 实验准备

通过仿真实验验证笔者方法在实现变光照环境下视频动态图像清晰化处理的性能, 进行实验测试。

通过爬虫技术在公开的平台爬取相关视频, 构建实验的样本集, 给出数据集中训练样本的视频个数和测试样本视频个数为 1 000 和 300, 处理模板图像尺寸为 $145 \times 145 \times 3$, 各个波段的变光照环境下视频动态图像模型分布参数如表 1 所示。

表 1 各个波段的变光照环境下视频动态图像的分布参数

波段	边缘尺度	匹配度/%	水准残差/mm
1	0.260	4.829	3.557
2	0.271	4.926	3.798
3	0.269	4.964	3.899
4	0.261	4.753	3.744
5	0.269	4.827	3.683
6	0.260	4.829	3.557

根据上述仿真参数设定, 进行变光照环境下视频动态图像的增强处理, 得到变光照环境下视频动态图像如图 1 所示。



(a) 暗光照



(b) 强光照

图 1 不同光照下原始图像

3.2 性能评估指标

在该实验中以图像清晰化处理结果、输出信噪比、图像结构相似性和图像清晰化处理时间为方法的性能评估指标, 其中图像清晰化处理结果为直观地观察图像的清晰程度、颜色和纹理, 图像清晰化处理时间通过计算机自带软件直接统计, 该数值取各个图像清晰化处理耗时的值。另外 2 个性能评估指标通过下述公式计算获得:

1) 输出峰值信噪比 (peak signal-to-noise ratio, PSNR) 的计算公式是:

$$MSE = \frac{(l_1 - l'_1)^2 + (l_2 - l'_2)^2 + \dots + (l_N - l'_N)^2}{N}; \quad (15)$$

$$PSNR = 10 * \log_{10}((val_{max}^2) / MSE)。 \quad (16)$$

式中： l' 和 l 分别为原始图像和清晰化处理后的图像； val_{\max} 为图像像素的最大值；MSE 为均方误差。

输出信噪比是衡量图像质量和噪声水平之间关系的指标。它反映了图像中 useful 信息与噪声的比例，比值越高表示噪声对图像的影响越小，图像质量越好。

2) 图像结构相似性 (structural similarity index, SSIM) 的计算公式是：

$$SSIM = [b(l, l'), h(l, l'), s(l, l')]^\eta \quad (17)$$

式中： $b(l, l')$ 、 $h(l, l')$ 和 $s(l, l')$ 分别为亮度、对比度和结构的相似性系数； η 为一个参数，可以根据实际需求设定，默认为 1。

图像结构相似性衡量了 2 幅图像的结构相似程度，即它们在亮度、对比度和结构上的一致性。SSIM 考虑了人类感知中的亮度、对比度和结构的重要性，因此更能准确地评估图像的相似性。

3.3 结果分析

以图 1 所示的图像为测试对象，采用笔者所提方法进行图像清晰化处理，得到变光照环境下视频动态图像的滤波结果如图 2 所示。

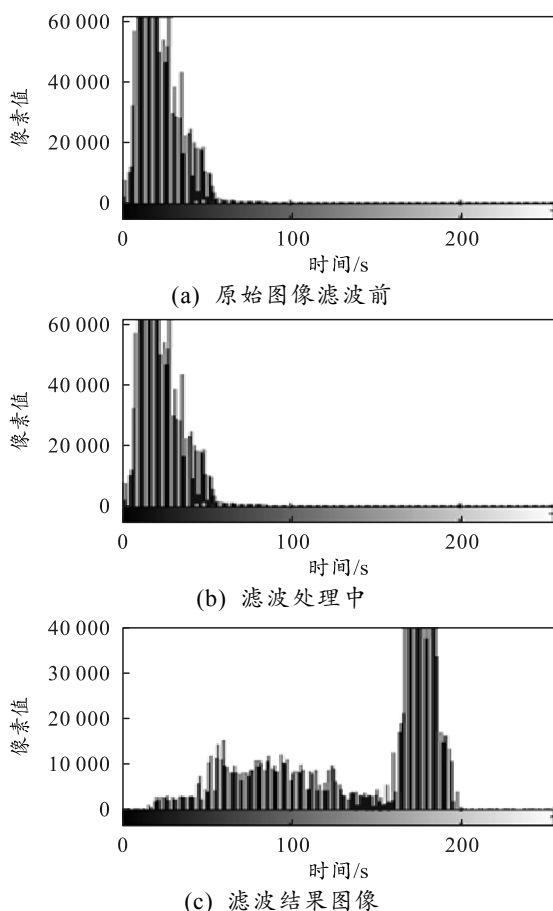


图 2 变光照环境下视频动态图像的滤波结果

根据图 2 的滤波结果，进行图像清晰化处理如图 3 所示。

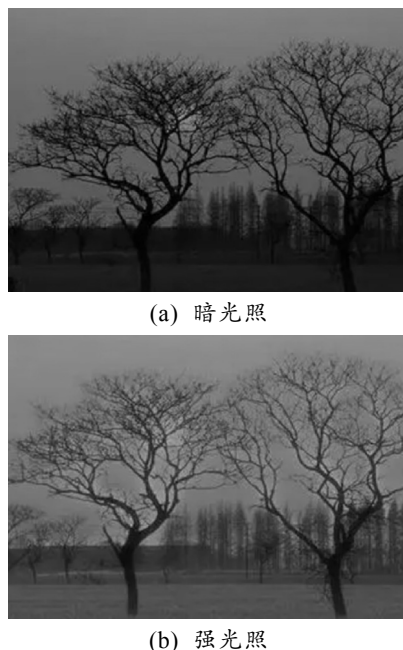


图 3 图像清晰化处理输出

对比图 1 和 3 可知，在应用笔者所提方法清晰化处理图 1 的图像后，图像显示的内容更加清晰，颜色更加鲜明，纹理更加清晰完整，由此可知，该方法能有效清晰化处理变光照环境下视频动态图像，处理后的图像可视化效果较好，光场偏移修正能力较好。

在上述定性分析的基础上，计算均方误差，分析不同清晰化处理方法的实验结果，数据如表 2 所示。

表 2 不同方法的均方误差

迭代次数	本文中方法	文献[4]方法	文献[5]方法
10	0.109	0.141	0.119
20	0.102	0.137	0.114
30	0.098	0.132	0.110
40	0.096	0.129	0.107
50	0.094	0.121	0.105
60	0.092	0.117	0.100
70	0.090	0.110	0.098
80	0.088	0.101	0.096
90	0.086	0.097	0.094
100	0.086	0.097	0.094

根据表 2 数据可知，3 种方法的均方误差均较低，详细分析可知，在 100 次迭代时，均方误差是实验中的最低数值，此时本文中方法的均方误差仅为 0.086，而此时的文献[4]和[5]方法的均方误差为 0.097 和 0.094，实验结果说明本文中方法在一定程度上达到了视频动态图像清晰化效果。

将上述的均方误差数据绘制成图，分析变化趋

势，结果如图 4 所示。

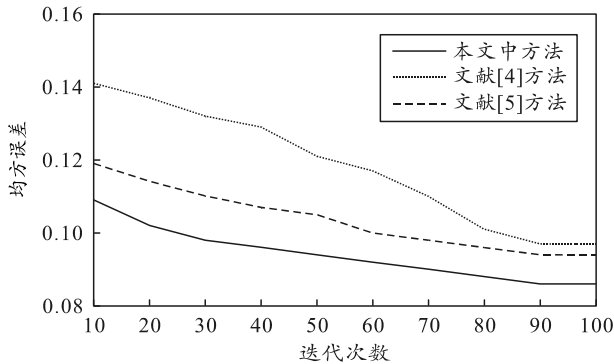


图 4 均方误差曲线对比

根据上图可知：本文中方法的均方误差曲线整体低于文献方法，随着迭代次数的增加，均方误差逐渐降低，在达到 90 次迭代左右时，均方误差保持稳定，文献方法也随着迭代次数的增加而降低，并且在 90 次迭代左右达到稳定状态，但是相比可知，文献方法稳定后的均方误差高于本文中方法，进一步验证了本文中方法的均方误差优于文献方法。

将上述获取的均方误差数据代入式(16)，测试输出信噪比，以文献[4]和[5]方法为对比方法，得到的实验结果如表 3 所示。

表 3 不同方法的输出信噪比 dB

迭代次数	本文中方法	文献[4]方法	文献[5]方法
10	43.2	39.2	42.6
20	43.5	40.2	42.9
30	44.6	41.3	43.1
40	44.8	42.2	43.5
50	45.1	43.1	43.8
60	45.8	43.3	44.3
70	46.5	43.8	44.5
80	46.7	44.2	44.7
90	47.1	44.3	45.0
100	47.8	44.7	45.2

根据上表数据可知：3 种方法的输出信噪比不同，均存在一定程度的波动，在 100 次迭代时，本文中方法的信噪比达到了 47.8 dB，而此时的文献[4]方法的信噪比仅为 44.7 dB，文献[5]方法的信噪比仅为 45.2 dB。3 种方法相比可知，本文中方法的信噪比有效提高了图像质量。

为了进一步分析本文中方法的性能，以图像结构相似性为评估指标，3 种方法的结构相似性实验结果如表 4 所示。

根据表 4 数据可知：3 种方法处理后的图像的结构相似性均较高，本文中方法的结构相似性最高，其清晰化处理 300 张图像后，结构相似性均值达到了 0.980，而此时的文献[4]方法的结构相似性仅为 0.971，文献[5]方法的结构相似性仅为 0.972。实验

结果进一步说明：本文中方法有效提高了图像清晰化处理后的结构相似性，验证了用该方法清晰化处理的视频动态图像质量更好。

表 4 结构相似性分析

图像张数	本文中方法	文献[4]方法	文献[5]方法
30	0.975	0.961	0.981
60	0.984	0.969	0.982
90	0.982	0.973	0.961
120	0.977	0.976	0.976
150	0.979	0.972	0.952
180	0.980	0.975	0.974
210	0.985	0.973	0.963
240	0.978	0.972	0.979
270	0.982	0.971	0.980
300	0.981	0.972	0.975
均值	0.980	0.971	0.972

将表 4 数据绘制成图，观察结构相似性变化情况，结果如图 5 所示。

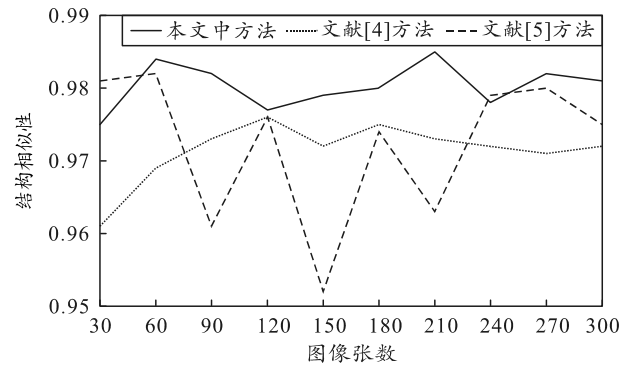


图 5 结构相似性

根据上图可知：文献[5]方法清晰化处理图像后，其也具备了较高的结构相似性，最高值达到了 0.982，但是该方法的结构相似性波动较大，处理效果不稳定，而文献[4]方法的结构相似性整体低于本文中方法。由此可知，本文中方法比文献[5]方法更加稳定，比文献[4]方法的结构相似性更高，证明该方法的清晰化处理的视频动态图像质量更好。

以图像清晰化处理时间为性能评估指标，该指标为单张图像处理的时间。不同方法的结果如表 5 所示。

表 5 不同方法的图像清晰化处理时间 s

图像张数	本文中方法	文献[4]方法	文献[5]方法
30	5.23	5.56	5.30
60	5.16	5.73	5.55
90	5.20	5.75	5.67
120	5.19	5.65	5.51
150	5.17	5.59	5.59
180	5.22	5.61	5.38
210	5.30	5.63	5.49
240	5.18	5.70	5.43
270	5.25	5.68	5.62
300	5.21	5.59	5.61

根据上表数据可知：不同方法的图像清晰化处理时间不同，但是 3 种方法的处理时间均较低，具备较好的清晰化处理效率。详细分析可知：本文中方法的图像清晰化处理时间仅为 5.21 s，相对较低，而文献[4]方法的图像清晰化处理时间为 5.59 s，文献[5]方法的图像清晰化处理时间为 5.61 s。该实验结果表明：本文中方法的图像清晰化处理时间最低，即与文献方法相比，该方法有效减少了图像清晰化处理时间，提高了处理效率。

4 结论

笔者提出非均匀低光照环境下视频动态图像清晰化方法。实验结果表明：该方法清晰化处理后的图像的信噪比达到了 47.8 dB，图像结构相似性均值达到了 0.980，均方误差仅为 0.086，图像清晰化处理时间仅为 5.21 s，说明该方法能有效提升图像的可视化水平，具备较好的图像清晰化处理能力。

参考文献：

- [1] 孙福盛, 韩燮, 丁江华, 等. LYTRO 相机光场图像深度估计算法及重建的研究[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(13): 175-180.
- [2] 杨飞璠, 李晓光, 卓力. 基于注意力残差编解码网络的动态场景图像去模糊[J]. 应用光学, 2021, 42(4): 685-690.
- [3] DUTTA M K, KAUR M, SARKAR R K. Comparative performance analysis of Fuzzy Logic and Particle Swarm Optimization (PSO) techniques for image quality improvement: With special emphasis to old and distorted folk paintings[J]. Optik, 2022, 254(4): 1-5.
- [4] 刘君, 邓毅, 杨延西, 等. 基于条件生成对抗网络的空气预热器内红外补光监测视频图像清晰化方法[J]. 热力发电, 2021, 50(10): 130-134.
- [5] WU X, LIU X Y, YUAN F. Fast dehazing method for improving the image quality in pellet size measurement[J]. Computers in Industry, 2021, 128(1): 1-16.
- [6] 谭威, 宋闯, 赵佳佳, 等. 基于多层次图像分解的图像融合算法[J]. 红外与激光工程, 2022, 51(8): 486-494.
- [7] 蔡剑华, 肖永良. 基于广义 S 变换时频滤波的 MT 数据去噪[J]. 地质与勘探, 2021, 57(6): 1383-1390.
- [8] 聂丰英, 侯利霞, 万里勇. 自适应双边滤波与方向梯度的红外图像增强[J]. 红外技术, 2022, 44(12): 1309-1315.
- [9] 胡立华, 左威健, 聂瑶瑶. 基于加权相似性度量的特征匹配方法[J]. 计算机应用, 2021, 41(2): 511-516.
- [10] 蒲恬, 张子夜, 彭真明. 保持自然度的非均匀光照图像增强的 Retinex 算法[J]. 数据采集与处理, 2021, 36(1): 76-84.
- [11] 刘卫东, 李吉玉, 张文博, 等. 基于 Retinex 和 ADMM 优化的水下光照不均匀图像增强算法[J]. 西北工业大学学报, 2021, 39(4): 824-830.
- [12] LIU T, LIN T, CHEN C W. An Ensemble Machine Learning Botnet Detection Framework Based on Noise Filtering[J]. Journal of Internet Technology, 2021, 22(6): 1347-1357.
- [13] RAMAZAN A K, EROL S, EROL B. An Experimental Study of a New Keypoint Matching Algorithm for Automatic Point Cloud Registration[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021, 10(4): 204-220.
- [14] LIAN Y Z, PENG P, XU W S. Filter pruning via separation of sparsity search and model training[J]. Neurocomputing, 2021, 462(28): 185-194.
- [15] JIN J, FANG H, DALY I, et al. Optimization of Model Training Based on Iterative Minimum Covariance Determinant In Motor-Imagery BCI[J]. International Journal of Neural Systems, 2021, 31(7): 1-15.
- [16] 马新惠, 刘溪, 刘豪. 无人机外挂红外镜头的图像清晰化算法[J]. 电工技术, 2024(6): 96-98.
- [17] 王凯娜, 张玉昆, 葛海飞. 基于分布式光纤的视觉传达图像清晰化处理系统[J]. 激光杂志, 2023, 44(5): 198-204.
- [18] 牛宏侠, 王春智, 梁乐观, 等. 基于改进暗通道先验的沙尘图像清晰化算法[J]. 吉林大学学报(理学版), 2023, 61(6): 1407-1418.
- [19] 赵征鹏, 李俊钢, 普园媛. 改进的 Retinex 低照度图像清晰化处理[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(8): 220-226.
- [20] 孙令翠, 冯辉宗. 基于编码量化参数调节的图像清晰化处理[J]. 计算机仿真, 2022, 39(4): 180-184.