

引用格式:何贵,钟羽中,李振阳,等.一种双曝光度图像融合算法[J].微电子学与计算机,2021,38(3):21-26.[HE G, ZHONG Y Z, LI Z Y, et al. Research on dual-exposure image fusion algorithm[J]. Microelectronics & Computer, 2021, 38(3): 21-26.]

一种双曝光度图像融合算法

何 贵,钟羽中,李振阳,吴克江,佃松宜
(四川大学 电气工程学院,成都 610065)

摘 要:为克服传统图像增强算法在光照强度不均的密闭腔体内对图像增强不足和自然度保留能力弱的问题,本文提出了一种双曝光度图像融合的算法.首先通过图像熵最大化准则估计最佳曝光度,然后利用相机响应模型合成最佳曝光度图像,并基于自适应的权重评估方法融合弱光照图像和最佳曝光度图像,最后利用改进的 BM3D (Block-matching And 3D Filtering) 方法对融合图像去噪.所提方法在公开数据集和 GIS 设备的密闭腔体内进行了验证.实验结果表明,本文方法能够增加图像熵,减少图像噪声,提高低光照部分的亮度,保护图像自然度.

关键词: 密闭腔体; 图像熵; 最佳曝光度; 权重评估

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2021)03-0021-06

Research on dual-exposure image fusion algorithm

HE Gui, ZHONG Yu-zhong, LI Zhen-yang, WU Ke-jiang, DIAN Song-yi

(Sichuan University, College of Electrical Engineering, Chengdu 610065, China)

Abstract: To overcome the problem of insufficient enhancement and weak naturalness preservation ability of the image in a closed cavity with uneven illumination intensity, a double exposure image fusion algorithm is proposed in this paper. Firstly, the optimal exposure is estimated by the image entropy maximization criterion. Secondly, the camera response model is used to synthesize the optimal exposure image. Thirdly, the low-light image and the optimal exposure image are fused based on the adaptive weight evaluation method. Finally, the improved BM3D (block-matching and 3D filtering) method is used to denoise the fusion image. The proposed method is validated in a closed chamber of open data set and GIS equipment. Experimental results show that the proposed method could increase the entropy of the image, reduce the noise of the image, improve the brightness of the low-light part, and protect image naturalness.

Key words: closed cavity; image entropy; optimal exposure; weight evaluation

1 引言

目标检测和目标跟踪等视觉算法依赖能够反映更多场景细节的高质量图像.受成像设备和光照条件等因素的影响,图像容易出现模糊甚至丢失场景细节信息的问题,降低视觉感受并严重影响视觉算法的性能^[1].考虑到密闭腔体内部非均匀结构和表面的金属反射,这种影响更为显著^[2].

基于直方图均衡化(Histogram Equalization

HE)技术的算法^[3]和基于Retinex光照物理模型实现的LIME(Low-light Image Enhancement)低照度图像增强算法^[4]可以很好地增强低照度图像的对比度,但是简单的亮度变化过程会造成过饱和和自然度保留不足等问题.限制对比度的直方图算法^[5]试图抑制过度增强,但对不均匀图像增强效果并不太好.Lore等^[6]和Park等^[7]提出了基于机器学习利用图像的先验知识进行图像增强的一类LLIE算法.这类算法虽然能更好的增强不均匀图像,但采集

用于训练的图像数据的复杂性一定程度上限制了其性能. 上述各类算法均是对单张低照度图像进行处理, 而单一的低照度图像有效信息有限, 不能全面的反映场景的所有细节, 因此具有一定的局限性. Fu 等^[8]利用低照度图像生成多张图像, 融合它们之间的互补图像信息进行图像增强^[9].

受到 Fu 等提出的 MF 算法启发, 为获得质量更高的增强图像, 本文提出了一种改进的双曝光度图像融合算法, 其贡献在于:

(1) 在同一静态场景不同光照条件下, 多曝光度图像采集困难, 本文通过相机响应模型生成最佳曝光度图像.

(2) 本文算法改进 BM3D 算法^[10]对融合图像进行去噪处理, 有效的减少了融合图像噪点.

(3) 本文不仅在公开数据集上对所提算法进行了验证, 同时也在真实的密闭腔体环境中进行了测

试. 实验表明, 本文算法能有效控制金属反光区域的对比度, 提高光照不足区域的亮度.

2 本文算法

如图 1 所示, 本文针对光照不均环境提出的图像增强算法主要由五个步骤组成:

(1) 最佳曝光度估计, 根据图像熵最大化准则估计输入图像的最佳曝光度;

(2) 最佳曝光度图生成, 结合估计的最佳曝光度和原图生成最佳曝光度图像;

(3) 权重评估, 估计最佳曝光度图和原图权重矩阵;

(4) 图像融合, 利用权重矩阵对原图像和最佳曝光度图像进行融合;

(5) 去噪, 利用改进的 BM3D 算法对融合图像进行去噪处理.

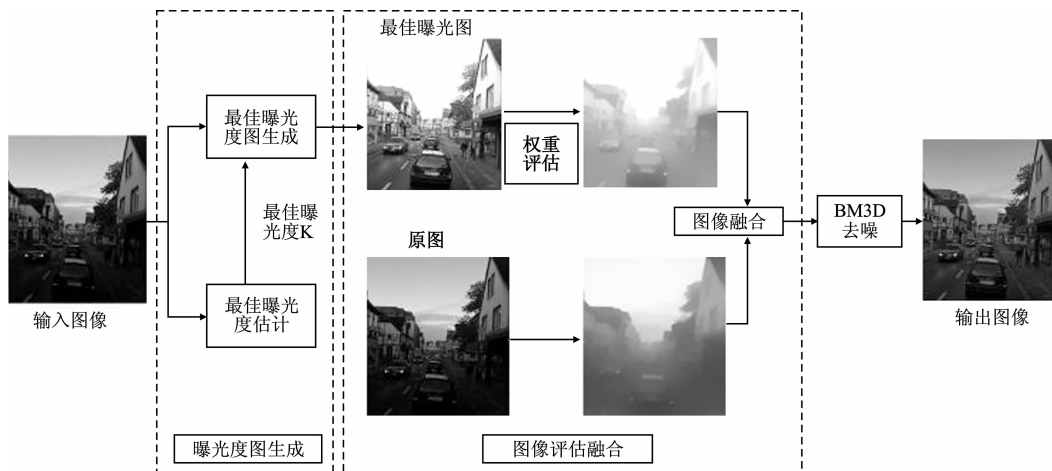


图 1 双曝光度图融合框架

2.1 最佳曝光度确定

如图 2 所示, 曝光度好图像能反映场景更多的信息, 具有更高的图像熵, 利用图像熵最大化准则确定最佳曝光度, 排除曝光度良好的像素点, 保留欠曝光的像素点

$$Q = \{P(x) \mid \hat{T}(x) < 0.5\} \quad (1)$$

式中, Q 仅仅包含欠曝光的像素点, P 表示输入原图, $\hat{T}$ 为初始的光照映射, 值为 R, G, B 三基色通道像素最大值.

根据文献^[11]中, 在低光照条件下, 图像的亮度部分的变化程度远远大于颜色部分的变化程度. 因此, 在估计最佳曝光度时, 只考虑亮度部分, 通过取三基色通道几何平均来定义亮度部分 B

$$B = \sqrt[3]{Q_r \cdot Q_g \cdot Q_b} \quad (2)$$

式中, Q_r, Q_g 和 Q_b 分别表示输入图像 Q 的三基色通道, $\cdot$ 表示三通道像素值对应相乘.

曝光度良好的图像比欠曝和过曝图像包含更多的图像信息, 利用图像熵来测量图像信息, 图像熵 H 定义为

$$H(B) = - \sum_{i=1}^N p_i \cdot \log_2 p_i \quad (3)$$

式中, P_i 表示灰度值在第 i 个灰度范围内的像素所占比例, N 为灰度级的数量 (N 通常设置为 256).

通过曝光度和亮度变化函数 (Brightness Transform Function, BTF) 模型得到多曝光度图像

$$P = g(B, K) \quad (4)$$

式中, P 为曝光度 K 对应图像, g 表示 BTF 模型.

如图 2 所示, 随着曝光率的增加, 图像熵先增加



图2 多曝光图像集及其图像熵值

再减小,采用一维最小化器估计最佳曝光度

$$\hat{K} = \operatorname{argmax}_K H(g(B, K)) \quad (5)$$

式中, $\hat{K}$ 为最佳曝光度,为了提高计算效率,求解最佳曝光度时,利用最近邻插值算法将输入图片尺寸缩小为 60×60 大小。

2.2 最佳曝光度图生成

最佳曝光度图利用相机响应模型生成,相机响应模型由相机响应函数(Camera Response Function, CRF)模型和亮度变化函数模型组成。

2.2.1 BTF 模型估计

曝光度不同的两张图像 P_0 和 P_1 估计 BTF 模型 g :

$$P_1 = g(P_0, K) = \beta P_0^\gamma \quad (6)$$

式中, β 和 γ 是与 BTF 模型相关的参数。

2.2.2 CRF 模型估计

在 BTF 模型中,参数 β 和 γ 由相机参数和曝光度 K 确定,通过求解比较方程获得的 CRF 模型获得参数之间关系。比较方程定义为

$$f(KE) = \beta f(E)^\gamma \quad (7)$$

式中,解析解 f 由如下方程组可得

$$f(E) = \begin{cases} e^{b(1-E^a)}, & \text{if } \gamma \neq 1 \\ E^c, & \text{if } \gamma = 1 \end{cases} \quad (8)$$

式中, a 和 b 是 $\gamma \neq 1$ 时的模型参数

$$a = \log_K \gamma, b = \frac{\ln \beta}{1 - \gamma} \quad (9)$$

且 c 是 $\gamma = 1$ 时的模型参数

$$c = \log_K \beta \quad (10)$$

根据等式(8)中 γ 的不同可以得到两个不同的 CRF 模型,当 $\gamma = 1$ 时,CRF 模型为幂函数方程且 BTF 模型是一个简单的线性方程。当 $\gamma \neq 1$ 时 CRF 模型为两参数方程且 BTF 模型是非线性方程。由于大多数相机的 BTF 模型为非线性,我们采用 $\gamma \neq 1$ 情况的 BTF 模型 g

$$g(P, K) = e^{b(1-K^a)} P^{(K^a)} \quad (11)$$

式中,相机参数 a , b 和曝光度 K 用于计算模型参数 β 和 γ 。其中,使用适合大多数相机的固定参数($a = -0.3293, b = 1.1258$)进行计算。

2.3 权重评估

评价双曝光度图的融合权重是图像融合的关键,曝光度良好区域赋予大的权重,曝光度不足的地方赋予小的权重。直观上讲,光照强度高的地方大概率情况曝光度良好,设计的权重评估器应给与更高的权重值保护对比度。权重评估器设计为

$$\hat{\omega} = T^\mu \quad (12)$$

式中, T 为改进的光照映射, μ 是控制加强率的参数,当 $\mu = 0$ 时不进行图像增强;当 $\mu = 1$ 时过曝光和欠曝光像素同时增强;当 $\mu > 1$ 时像素容易出现过饱和和细节丢失,通过多次实验比较,本文算法设置 $\mu = 0.5$ 。

如图3所示,基于双边滤波和最大值原理估计 T 的方法虽然能加强局部一致性,但不能保护结构信息。通过求解优化问题得到保持整体结构同时平滑纹理细节的光照映射估计

$$\min_T \| \hat{T} - T \|_F^2 + \alpha \| M \circ \nabla T \|_1 \quad (13)$$

式中 $\| * \|_F$ 和 $\| * \|_1$ 分别表示 Frobenious 范数和 l_1 范数, $\hat{T}$ 为初始的光照映射,值为 R, G, B 三基色通道像素最大值, T 为改进的光照映射, ∇T 表示 T 的一阶导数,包括水平 $\nabla_h T$ 和垂直 $\nabla_v T$ 方向导数, α 为参数, M 为改进的光照映射导数的权重矩阵,基于 RTK 算法^[12]设计权重矩阵 M ,式(13)可以化简为

$$\min_T \| \hat{T} - T \|_{l_2}^2 + \alpha \sum_x \frac{M_h(x) (\nabla_h T(x))^2}{|\nabla_h \hat{T}(x)| + \epsilon} + \frac{M_v(x) (\nabla_v T(x))^2}{|\nabla_v \hat{T}(x)| + \epsilon} \quad (14)$$

式中, ϵ 为数值很小的参数,防止分母为 0。

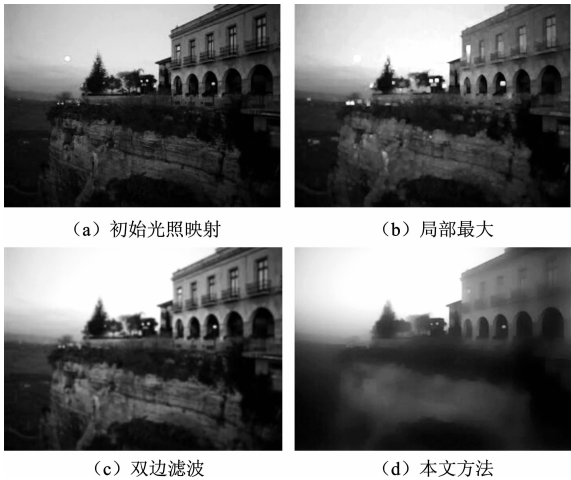


图3 不同光照映射对比

2.4 图像融合

利用获得的最佳曝光度图和原图进行融合,融合公式由最佳曝光度($\hat{K}$)、BTF模型(g)、原图权重矩阵($\hat{\omega}$)、最佳曝光度图权重($1 - \hat{\omega}$)组成

$$R^c = \hat{\omega} \circ P^c + (1 - \hat{\omega}) \circ g(P^c, \hat{K}) \quad (15)$$

式中, c 为 R, G, B 三基色通道索引,权重矩阵 $\hat{\omega}$ 由式(12)利用原图 P 得到.

2.5 BM3D去噪

隐藏在原图昏暗区域的噪声可能在融合后的图像中依旧存在,许多已有的去噪算法被用于提高图像质量^[13-15].考虑到各个算法的均衡性,选用BM3D作为最终的去噪方法.为减少计算量,只在Y通道执行算法.此外,不同区域的图像噪声量不同,为避免处理的不平衡性,通过以下处理:

$$R_f \leftarrow R \circ T + R_d \circ (1 - T) \quad (16)$$

式中, R_d 和 R_f 分别是去噪和重组的结果,去噪结果如图4所示.

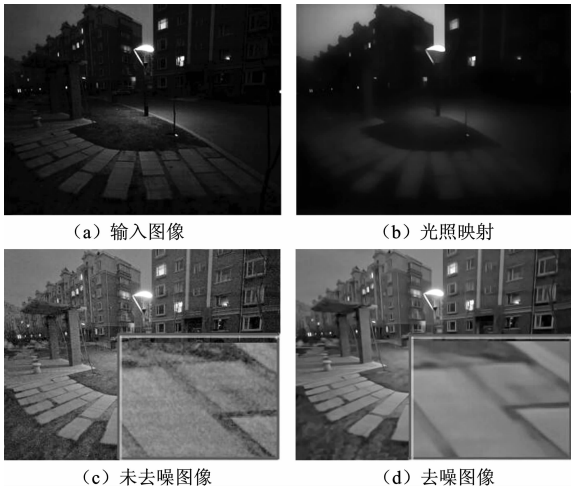


图4 图像去噪前后对比

3 实验结果与分析

为了验证本文算法的有效性,本文算法在公开数据集(VV数据集)上与现有的图像增强算法(MSRCR算法^[16]、DONG算法^[17]、LIME算法^[5]、MF算法^[8]、NPE算法^[18]、SRIE算法^[19])进行比较.其中,VV数据集中的23张图像内容为日常生活场景且每张图像均有过曝和欠曝部分.

性能好的图像增强算法,能够增加图像信息量的同时保护图像自然真实.实验采用图像熵和衡量保持自然度指标LOE(Lightness Order Error)对上述各方法进行定量评价.其中,图像熵是一种特征的统计形式,反映图像中平均信息量的多少,对焦良好的图像的熵大于没有清晰对焦的图像的熵,图像熵越大,代表图像越清晰;衡量保持自然度指标LOE利用计算原始图像和增强图像的亮度顺序差得到,LOE值越小,代表图像增强后,对图像自然度保护越好,图像的观感越好.

数据集比较结果如图5和图6所示,其中,图5奇数行表示原图像及不同图像增强算法处理的结果,偶数行表示不同图像增强算法处理结果的自然度保护情况;图6表示本文在23张数据集图像上进行测试,并计算各个算法在各个指标上的平均值和方差.

经测得VV测试集图像熵平均值为6.721,从图5和图6可以看出,所有算法对图像对比度和图像熵均有提升.其中,MSRCR算法对图像对比度增强最明显,图像熵提升最大,图像熵方差最小,但LOE值最大,对图像自然度的保护不足,LOE的方差最大,算法的稳定性低;其余算法的图像熵较为接近,均在7.2到7.4之间,但LOE较大.本文算法在取得现有的先进算法相近图像熵的同时,LOE值和LOE的方差最小,图像的观感最好,稳定性也最高.

图7表示现有算法处理不同大小图像的速度比较,其中,SIRE和NPE算法虽然LOE值较小,但耗时严重.本文算法在保证耗时较少的同时,对图像自然度保护最好.

为进一步验证本文算法在实际场景中的有效性,我们在变电站气体绝缘开关设备(Gas Insulated Switchgear, GIS)的密闭腔体环境中进行测试.其结果如图8所示,腔体内结构复杂,光照不均造成图像视觉质量较低.经过本文算法增强后,有效补偿了图像亮度,图像质量也得到有效提高. LIME算法与本文算法相比,其对过曝部分的抑制能力较弱.通过表1可以看出,MF算法与本文算法相比,虽然对比

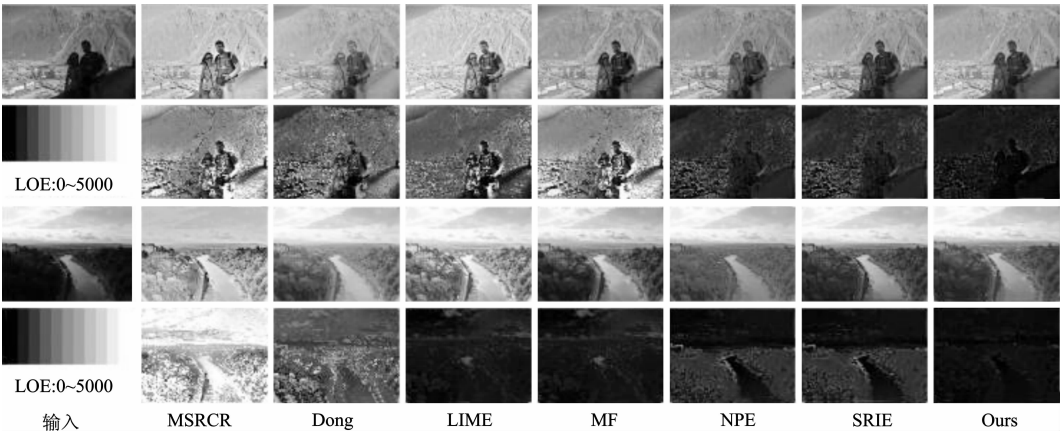


图 5 LOE 比较

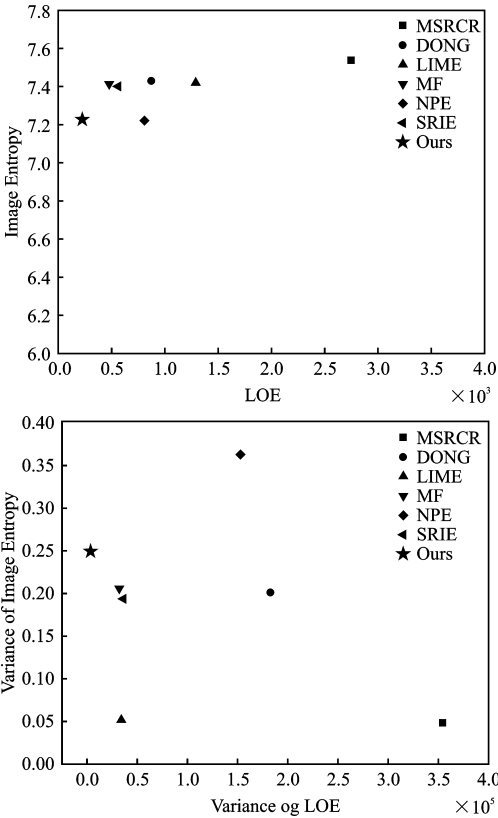


图 6 客观质量评价指标比较

度较高,但其 LOE 值较高,对图像自然度保护不足,图像熵较低.

表 1 客观质量评价指标比较

Index	Initial	LIME	MF	Ours
LOE	N/A	1143.0	737.58	197.91
Information Entropy	7.512 4	7.282 7	7.570 2	7.632 8

所有的实验在 8 GB,64 位计算机上,利用 Matlab 进行算法的编码测试.

4 结束语

本文针对真实的密闭腔体环境中欠曝光与过曝

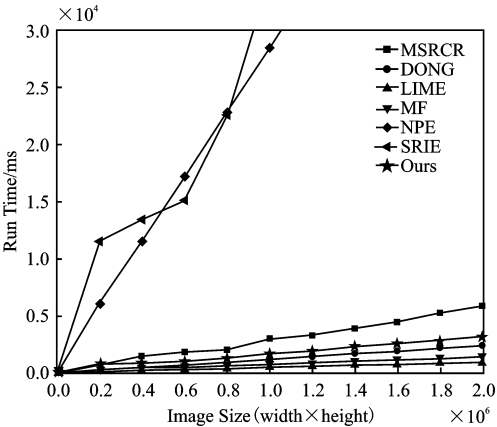


图 7 不同算法时间比较

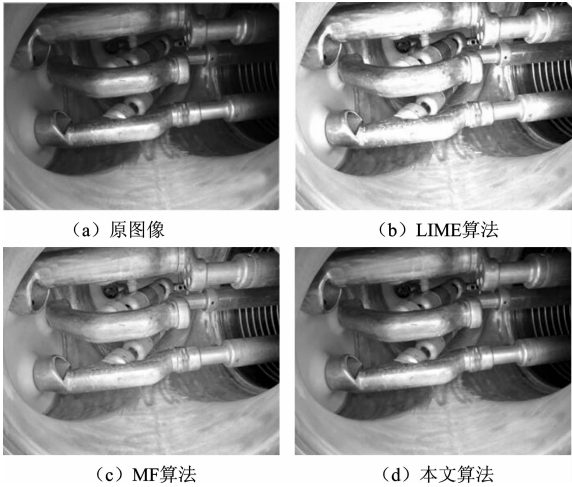


图 8 真实场景下算法测试实验结果图

光问题,提出了一种改进的双曝光图融合算法,该算法基于图像熵最大化准则进行最佳曝光度图的生成,并对原图和最佳曝光度图的权重进行评估,然后进行两张图像的融合,最后针对图像噪声较多问题,改进 BM3D 算法对融合图像进行去噪处理.通过数据集和实际场景测试表明,该算法相比于其他先进算法,充

分利用图像结构化信息,在有效提高图像信息量和亮度的同时,保护图像自然度,保证图像的观感。

虽然本文方法取得了较为理想的结果,仍然存在以下不足:(1)只考虑了加性高斯噪声,未来可研究针对融合图像的去噪方法。(2)为了减少计算量,本文算法只利用了最佳曝光度图像,而忽略了其他曝光度图像。未来可研究多曝光度图融合方法。

参考文献:

- [1] 肖进胜, 庞观林, 唐路敏, 等. 基于轮廓模板和自学习的图像纹理增强超采样算法[J]. 自动化学报, 2016, 42(8): 1248-1258. DOI: 10.16383/j. aas. 2016. c150458.
- XIAO J S, PANG G L, TANG L M, et al. Image texture enhancement via upscaling algorithm based on contour stencils and self-learning[J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(8): 1248-1258. DOI: 10.16383/j. aas. 2016. c150458.
- [2] 王乐, 纪竟, 邓彦松. 基于图像分割的水下管道检测机器人设计[J]. 机器人技术与应用, 2017(4): 37-40. DOI: 10.3969/j. issn. 1004-6437. 2017. 04. 011.
- WANG L, JI J, DENG Y S. Design of underwater pipeline inspection robot based on image segmentation [J]. Robot Technique and Application, 2017(4): 37-40. DOI: 10.3969/j. issn. 1004-6437. 2017. 04. 011.
- [3] HUANG L D, ZHAO W, ABIDI B R, et al. A constrained optimization approach for image gradient enhancement[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2018, 28(8): 1707-1718. DOI: 10.1109/TCSVT. 2017. 2696971.
- [4] GUO X J, LI Y, LING H B. LIME: low-light image enhancement via illumination map estimation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2017, 26(2): 982-993. DOI: 10.1109/TIP. 2016. 2639450.
- [5] KAPOOR R, GUPTA R, SON L H, et al. Fog removal in images using improved dark channel prior and contrast limited adaptive histogram equalization[J]. Multimedia Tools and Applications, 2019, 78(16): 23281-23307. DOI: 10.1007/s11042-019-7574-8.
- [6] LORE K G, AKINTAYO A, SARKAR S. LLNet: a deep autoencoder approach to natural low-light image enhancement[J]. Pattern Recognition, 2017 (61): 650-662. DOI: 10.1016/j. patcog. 2016. 06. 008.
- [7] PARK S, YU S, KIM M, et al. Dual autoencoder network for retinex-based low-light image enhancement [J]. IEEE Access, 2018(6): 22084-22093. DOI: 10.1109/ACCESS. 2018. 2812809.
- [8] FU X Y, ZENG D L, HUANG Y, et al. A fusion-based enhancing method for weakly illuminated images [J]. Signal Processing, 2016(129): 82-96. DOI: 10.1016/j. sigpro. 2016. 05. 031.
- [9] ZHANG Q, NIE Y W, ZHANG L, et al. Underexposed video enhancement via perception-driven progressive fusion[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2016, 22(6): 1773-1785. DOI: 10.1109/TVCG. 2015. 2461157.
- [10] DABOV K, FOI A, KATKOVNIK V, et al. Image denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(8): 2080-2095. DOI: 10.1109/TIP. 2007. 901238.
- [11] YING Z Q, LI G, GAO W. A bio-inspired multi-exposure fusion framework for low-light image enhancement[J]. arXiv:1711. 00591, 2017.
- [12] XU L, YAN Q, XIA Y, et al. Structure extraction from texture via relative total variation [J]. ACM Transactions on Graphics, 2012, 31(6): 139. DOI: 10.1145/2366145. 2366158.
- [13] BURGER H C, SCHULER C J, HARMELING S. Image denoising: can plain neural networks compete with BM3D? [C]//Proceedings of 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Providence, RI: IEEE, 2012: 2392-2399. DOI: 10.1109/CVPR. 2012. 6247952.
- [14] GU S H, ZHANG L, ZUO W M, et al. Weighted nuclear norm minimization with application to image denoising[C]//Proceedings of 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Columbus, OH: IEEE, 2014: 2862-2869. DOI: 10.1109/CVPR. 2014. 366.
- [15] PETRO A B, SBERT C, MOREL J M. Multiscale retinex [EB/OL]. (2020-04-01). <http://doi.org/105201/ipol. 2014. 127>. 2014: 71-88. DOI: 10.5201/ipol. 2014. 107.
- [16] DONG X, WANG G, PANG Y, et al. Fast efficient algorithm for enhancement of low lighting video[C]//Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Barcelona, Spain: IEEE, 2011: 1-6. DOI: 10.1109/ICME. 2011. 6012107.
- [17] WANG S H, ZHENG J, HU H M, et al. Naturalness preserved enhancement algorithm for non-uniform illumination images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(9): 3538-3548. DOI: 10.1109/TIP. 2013. 2261309.

- WANG H, HU Z J, CHEN Z, et al. A hybrid model for wind power forecasting based on ensemble empirical mode decomposition and wavelet neural networks[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(9): 137-144. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6753.2013.09.017.
- [9] 叶林, 任成, 赵永宁, 等. 超短期风电功率预测误差数值特性分层分析方法[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(3): 692-700. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.2016.03.012.
- YE L, REN C, ZHAO Y N, et al. Stratification analysis approach of numerical characteristics for ultra-short-term wind power forecasting error[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(3): 692-700. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.2016.03.012.
- [10] HAN L, ZHANG R C, WANG X S, et al. Multi-step wind power forecast based on VMD-LSTM[J]. IET Renewable Power Generation, 2019, 13(10): 1690-1700. DOI 10.1049/iet-rpg.2018.5781.
- [11] 邓玉婧, 武志昊, 林友芳. 基于多粒度时间注意力 RNN 的航班客座率预测[J]. 计算机工程, 2020, 46(1): 294-301. DOI: 10.19678/j.issn.1000-3428.0053569.
- DENG Y J, WU Z H, LIN Y F. Flight passenger load factors prediction based on RNN using multi-granularity time attention[J]. Computer Engineering, 2020, 46(1): 294-301. DOI: 10.19678/j.issn.1000-3428.0053569.
- [12] 潘伟靖, 陈德旺. 基于 GRU-SVR 的短时交通流量预测研究[J]. 计算机技术与发展, 2019, 29(10): 11-14. DOI: 10.3969/j.issn.1673-629X.2019.10.003.
- PAN W J, CHEN D W. Research on short-term traffic flow prediction based on GRU-SVR[J]. Computer Technology and Development, 2019, 29(10): 11-14. DOI: 10.3969/j.issn.1673-629X.2019.10.003.
- [13] VINCENT P, LAROCHELLE H, LAJOIE I, et al. Stacked denoising autoencoders: learning useful representations in a deep network with a local denoising criterion[J]. The Journal of Machine Learning Research, 2010(11): 3371-3408.
- [14] HONG T, PINSON P, FAN S, et al. Probabilistic energy forecasting: Global Energy Forecasting Competition 2014 and beyond[J]. International Journal of Forecasting, 2016, 32(3): 896-913. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2016.02.001.

作者简介:

田增垚 男, (1979-), 硕士研究生. 研究方向为电力系统及其自动化.

彭 飞 男, (1972-), 硕士研究生. 研究方向为电力系统及其自动化.

孟庆东 男, (1984-), 硕士研究生. 研究方向为电力系统及其自动化.

王汉军 男, (1974-). 研究方向为计算机科学与技术.

田长翼 男, (1980-), 硕士研究生. 研究方向为计算机科学与技术.

陈志奎(通讯作者) 男, (1968-), CCF 会员, 博士生导师, 教授. 研究方向为大数据计算、物联网和人工智能.

E-mail: zkchen@dlut.edu.cn.

(上接第 26 页)

- [18] FU X Y, ZENG D L, HUANG Y, et al. A weighted variational model for simultaneous reflectance and illumination estimation[C]//Proceedings of 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Las Vegas, NV: IEEE, 2016: 2782-2790. DOI: 10.1109/CVPR.2016.304.

作者简介:

何 贵 男, (1995-), 硕士研究生. 研究方向为计算机视觉、

图像处理与应用.

钟羽中 女, (1987-), 博士研究生. 研究方向为人工智能、深度学习、计算机视觉.

李振阳 男, (1995-), 硕士研究生. 研究方向为计算机视觉、图像处理与应用.

吴克江 男, (1996-), 硕士研究生. 研究方向为计算机视觉、深度学习.

佃松宜(通讯作者) 男, (1972-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为先进控制、感知与人工智能算法.

E-mail: scudiansy@scu.edu.cn.