

结合风驱动优化的低复杂度图像增强方法

赵 靖¹ 许剑锋²

¹(三江学院计算机科学与工程学院 江苏 南京 210012)

²(北京交通大学电气工程学院 北京 100044)

摘 要 针对复杂环境下如光照较弱、雾天等条件下拍摄的图像存在对比度不足、整体偏暗等问题,提出一种结合智能风驱动优化的低复杂度的图像增强方法。该方法利用双曲正弦函数、伽马校正函数、Sigmoid 函数、对比度拉伸函数对图像进行校正。针对图像增强过程中伽马校正参数与对比度拉伸函数中动态因子的参数选择问题,利用智能风驱动算法,将图像信息熵与标准差构造适应度函数进行参数寻优,获取最优参数。将该方法与直方图均衡化法、多尺度 Retinex 算法、基于引导滤波的 Retinex 算法比较。实验结果表明该算法简单,图像增强效果均比其他几种算法好,提高了图像的质量和对比度。

关键词 图像增强 低复杂度 伽马校正 对比度 风驱动优化

中图分类号 TP391.41

文献标志码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2021.10.041

LOW COMPLEXITY IMAGE ENHANCEMENT METHOD COMBINED WITH WIND DRIVEN OPTIMIZATION

Zhao Jing¹ Xu Jianfeng²

¹(College of Computer Science and Engineering, Sanjiang University, Nanjing 210012, Jiangsu, China)

²(School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract In the complex environment, such as light illumination, fog and other conditions, the image has a lack of contrast, and the whole is dark. In view of this problem, a low complexity image enhancement method combined with intelligent wind driven optimization is proposed. This method used hyperbolic sine function, Gamma correction function, Sigmoid function and contrast stretching function to correct the image. A contrast stretching function was used to stretch the contrast of the image. For the parameter selection of dynamic factors in Gamma correction parameters and contrast stretching functions during image enhancement process, the intelligent wind driven algorithm which used the image entropy and the ratio to construct the fitness function was used to obtained the optimal parameters. The method was compared with histogram equalization, multi-scale Retinex algorithm and Retinex algorithm based on guided filtering. The experimental results show that this algorithm is simple and its image enhancement effect is better than the other algorithms, and the quality and contrast of the image are improved.

Keywords Image enhancement Low complexity Gamma correction Contrast ratio Wind driven search

0 引 言

图像增强是图像处理中的一个重要技术,由于日

常生活中拍摄到的图像受到环境、光照、雾天的影响,使得拍摄到的图像亮度低、对比度不强^[1-5]。通过图像增强的方法可以提高图像的对比度,扩大图像中不同物体的清晰度,使得图像中各物体更加

清晰。

空域处理和变换域处理是现有的图像增强的两大方法。空域处理的增强方法主要包括伽马校正、直方图均衡化、反锐化掩膜、灰度变换等。如 Huang 等^[6]提出了一种自适应伽马校正增强图像对比度的方法,该方法对图像的灰度直接进行处理,选取合适的伽马参数值,提高图像的对比度。Mahamdioua 等^[7]提出了一种均值方差伽马校正图像增强方法,该方法将图像的均值与方差联合伽马校正对图像进行对比度提升,取得较好的效果。Raju 等^[8]利用直方图分析,并对直方图进行均衡化来提高图像的对比度。顾明等^[9]提出了基于颜色空间转换的交通图像增强算法,该算法先对 RGB 三个通道进行对比度拉伸,然后再转换颜色空间到 HSV 对 V 分量进行对比度自适应直方图均衡化操作,取得了良好的效果。基于变换域处理的方法一般是先把图像的空域信息经过一系列的变换到频域空间对图像的高频和低频信息进行处理。如 Loza 等^[10]提出了利用小波变换,根据小波系数在频域增强图像的方法。曹风云等^[11]利用以原始图像的显著图为引导,结合照度和色度图,作为图像融合的权重图,将生成的权重系数对两幅图进行相加,达到图像增强的目的。还有基于 Retinex 增强图像对比度的方法如多尺度 Retinex 方法、基于双边滤波的 Retinex 方法、基于引导滤波的 Retinex 方法等^[12-15],能够有效地增强图像的细节对比度,改善图像性能。但基于变换域处理的方法算法复杂度高,计算量大。还有一些学者针对图像增强方法中参数的选择问题,将群智能算法如粒子群算法、人工蜂群算法等,引入图像增强中增强了图像的自适应性^[16-17]。

本文提出一种新的图像增强算法,利用简单函数实现图像的增强,该算法利用四个简单函数(双曲正弦函数、伽马函数、标准 Sigmoid 函数、对比度拉伸函数)对图像进行对比增强,针对其中伽马函数的参数以及对比度拉伸函数的动态因子参数的选择问题,利用风驱动算法对这两个参数进行寻优,提高算法的自适应性。

1 图像增强流程

本文图像对比度的增强分为四个步骤,流程如图 1 所示。

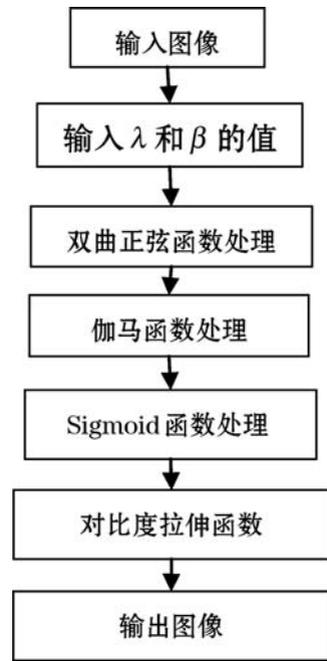


图 1 图像增强流程

令 I 表示一幅图像,图像中的像素用 x 表示,首先利用双曲正弦函数对图像的对比度进行简单的调整:

$$s = \frac{e^x - e^{-x}}{2} \quad (1)$$

式中: s 为经过调整后的图像。经过该函数调整后图像动态范围增大,对比度有一定的改善,然后对图像利用伽马函数进行校正:

$$y = s^\lambda \quad (2)$$

式中: y 为输出图像; λ 的值能够提高图像的动态范围,调整整幅图像的对比度。然后再对图像利用标准 Sigmoid 函数进行校正,使像素映射为一个 S 型分布提高图像对比度,校正数学表达式如下:

$$w = \frac{1}{1 + e^{-y}} \quad (3)$$

式中: w 为输出图像。最后利用对比度拉伸函数,提升整幅图像的对比度,对比度拉伸的过程如式(4) - 式(8)所示,设图像的尺寸为 $m \times n$ 。求取图像平均值:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij}}{mn} \quad (4)$$

求取图像标准差值:

$$std = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (w_{ij} - u)^2}{mn}} \quad (5)$$

以平均值和标准差值构造对比度动态范围:

$$w_{\min} = u - \beta \times std \quad (6)$$

$$w_{\max} = u + \beta \times std \quad (7)$$

进行对比度拉伸:

$$f = \frac{w - w_{\min}}{w_{\max} - w_{\min}} \quad (8)$$

式中: u 、 std 为图像的均值和标准差; β 为动态调整因子; f 为最终的输出图像。由上述过程可以看到,需要调整的参数为 λ 和 β 。本文选用风驱动算法针对这两个值进行寻优,得到最优参数值。

2 结合风驱动优化的图像增强方法

为了解决 λ 和 β 的参数选择的问题,本文引入风驱动搜索算法对这两个值进行寻优,改善人为选择参数的不确定性。

2.1 适应度函数

本文利用图像信息熵和图像的标准差构造适应度函数,图像的熵值越大,表明图像的信息越多,图像的标准差越大表明图像越丰富,对比度越大。图像的标准差用 E_1 表示,计算公式如式(5)所示,图像信息熵用 E_2 表示,计算公式如下:

$$E_2 = - \sum_{i=0}^{L-1} P(i) \log(P(i)) \quad (9)$$

式中: $P(i)$ 表示灰度值为 i 的像素占有所有像素的比例; L 表示图像的灰度级数目,设为 256。为了实现图像的自适应增强,定义适应度函数为:

$$fitness = a \times E_1 + E_2 \quad (10)$$

式中: a 为一个平衡标准差和信息熵的平衡因子,经多次实验分析,本文中 a 的取值为 0.01。

2.2 风驱动搜索算法

风驱动搜索算法(WDO)^[18] 是一种自然启发的全局优化算法。其原理是模拟自然界中风的流动,即空气之间存在压差促使空气流动,最终达到平衡的过程。空气粒子达到平衡的最终位置值即为每个空气粒子的最优解。风驱动搜索算法的原理如下。

一个由 N 个空气单元、 D 维搜索空间组成的空气种群可以表示为:

$$P_{(N,D)} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1D} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2D} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{N1} & p_{N2} & \cdots & p_{ND} \end{bmatrix} \quad (11)$$

每个空气粒子 p 有两个特征,分别为空气粒子的速度和空气粒子的位置。空气粒子的速度矩阵 U 和位置矩阵 X 分别为:

$$U = \begin{bmatrix} u_{11}^k & u_{12}^k & \cdots & u_{1D}^k \\ u_{21}^k & u_{22}^k & \cdots & u_{2D}^k \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_{N1}^k & u_{N2}^k & \cdots & u_{ND}^k \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} x_{11}^k & x_{12}^k & \cdots & x_{1D}^k \\ x_{21}^k & x_{22}^k & \cdots & x_{2D}^k \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{N1}^k & x_{N2}^k & \cdots & x_{ND}^k \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中: $1 \leq k \leq T$, T 为最大迭代次数。

风驱动搜索算法将影响大气运动的力(摩擦力、气压梯度压力、重力和科氏力)代入牛顿第二定律结合理想气体状态方程得出速度更新方程。空气粒子速度和位置的更新公式为:

$$u_{id}^{k+1} = (1 - \alpha) u_{id}^k - g x_{id}^k + \left[RT \left| \frac{1}{j} - 1 \right| (x_{gbest} - x_{id}^k) \right] + \left(\frac{cu_{i\text{otherdim}}^k}{j} \right) \quad (13)$$

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + (u_{id}^{k+1} \Delta t) \quad (14)$$

式中: j 为压力值的一个升序排列, $j=1$ 表示压力最小值; α 为摩擦系数; g 为重力加速度; RT 为气压梯度影响系数; c 为科氏力影响系数; x_{gbest} 为全局最优解; $u_{i\text{otherdim}}^k$ 为第 i 个粒子在第 k 次迭代中除 d 维以外的其他任意一维度速度。此速度的加入,增强了空气粒子的相互合作与信息分享,也避免陷入局部最优,增强了算法的稳健性。

2.3 结合风驱动优化的图像增强算法流程

结合风驱动优化的图像增强算法流程如图 2 所示。具体步骤如下:

(1) 输入待增强图像,设定参数个数、随机初始化空气粒子数量、最大迭代步数,风驱动参数 RT 、 g 、 c 。

(2) 将随机产生的 λ 和 β 的值代入图像增强流程,得到增强图像,并根据适应度函数计算适应度值。

(3) 对每个空气粒子位置与其个体历史最优位置比较,记录个体历史最优位置。

(4) 对每个空气粒子与总体历史最佳位置比较,记录总体最优位置。

(5) 根据式(13)、式(14)对空气粒子速度和位置进行更新。

(6) 判断是否达到结束条件,如果达到则结束,否则继续循环。

(7) 将获得的最优参数代入图像增强流程得到最终增强图像。

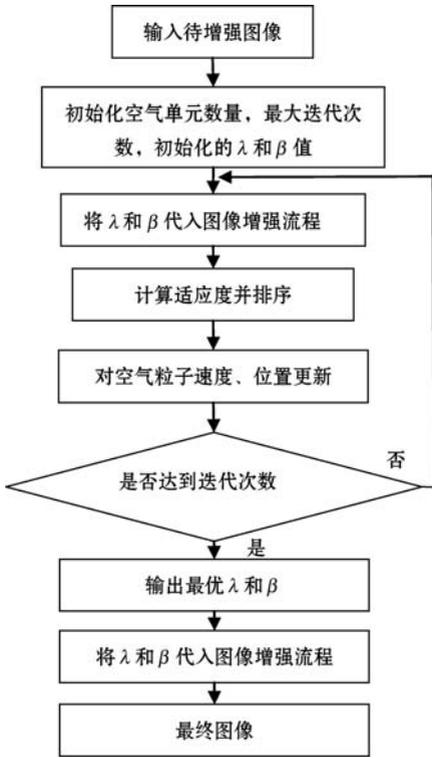


图2 算法流程

3 实验及结果分析

为了验证本文算法的可行性,本文算法在 MATLAB 2014a, Windows 7、处理器主频为 2.2 GHz、内存 2 GB 的测试平台上运行。本文选用 4 幅待增强的彩色图像如图 3 所示,各算法的实验结果如图 4 - 图 7 所示。为了定量地分析各算法的好坏,本文选用图像信息熵和图像标准差作为算法的评价标准。其中多尺度 Retinex 算法的高斯环绕尺度分别为 15、80、200;引导滤波 Retinex 算法的参数为 20、0.01;本文算法的风驱动算法参数为:空气单元数量为 30,RT 的值为 3, g 的值为 0.3, c 的值为 0.42, α 的值为 0.4,最大迭代次数为 30,粒子最大速度 v_{max} 为 0.5, λ 和 β 的参数的搜索范围为 $[0, 3]$ 。表 1 为各图的实验数据,图 8 为实验数据的曲线图。

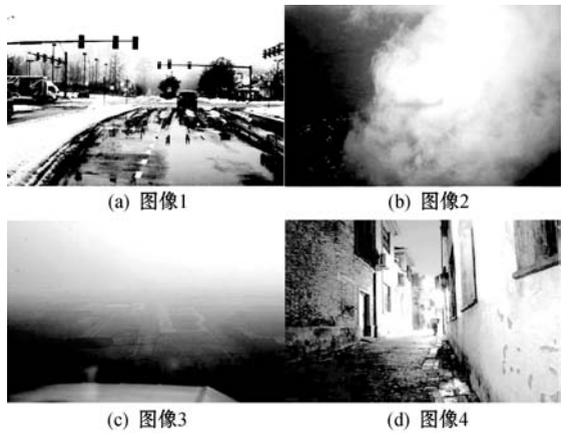


图4 直方图均衡化算法结果

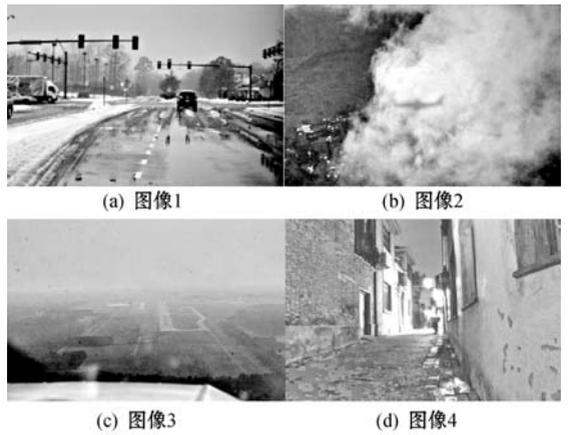


图5 多尺度 Retinex 算法结果

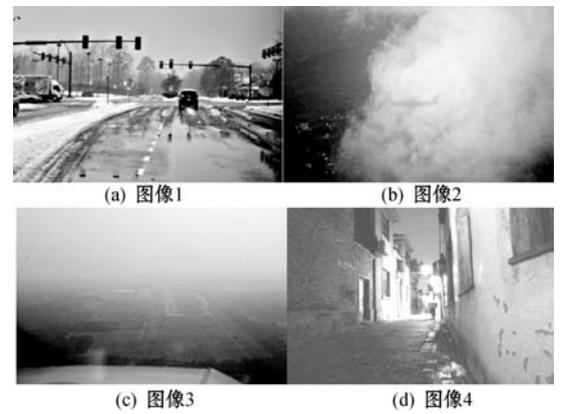


图6 引导滤波 Retinex 算法结果



图7 本文算法结果

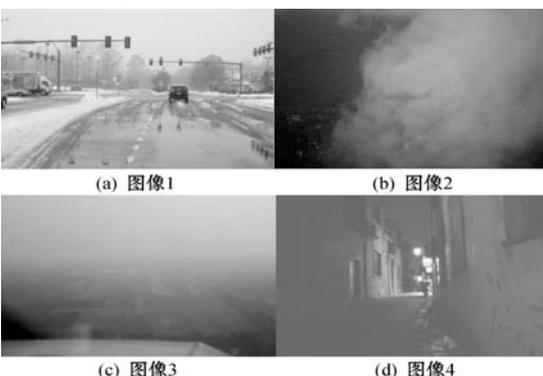
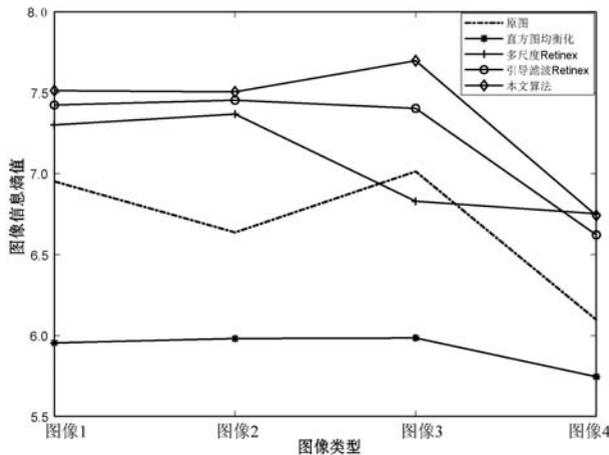


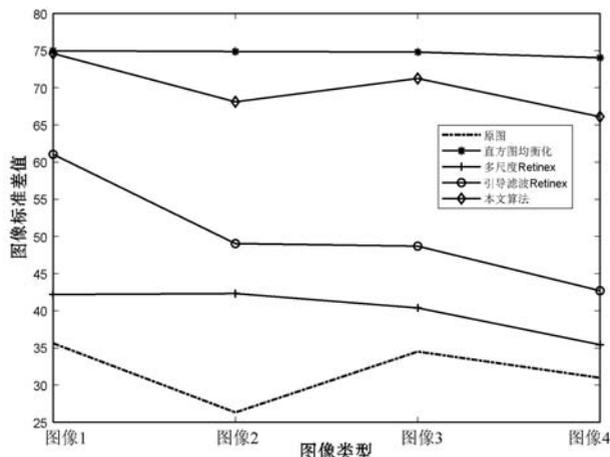
图3 原始图像

表 1 实验结果数据

图像	原图		直方图均衡化		多尺度 Retinex		引导滤波 Retinex		本文算法	
	信息熵	标准差	信息熵	标准差	信息熵	标准差	信息熵	标准差	信息熵	标准差
图像 1	6.952 1	35.626 5	5.954 6	74.985 1	7.301 4	42.192 9	7.424 2	61.056 2	7.512 9	74.613 4
图像 2	6.637 0	26.320 8	5.981 1	74.886 6	7.368 2	42.320 7	7.453 9	49.041 4	7.505 6	68.117 7
图像 3	7.013 6	34.512 3	5.984 8	74.810 4	6.829 7	40.381 7	7.403 3	48.693 9	7.697 9	71.255 1
图像 4	6.097 2	30.978 8	5.745 2	74.050 4	6.752 4	35.437 3	6.621 7	42.702 1	6.741 6	66.108 0



(a) 图像信息熵值



(b) 图像标准差值

图 8 实验数据曲线

由图 3 - 图 7 可以看出,4 种算法均能对图像起到增强效果。从图像 1 的 4 种算法的实验结果来看,直方图均衡化后汽车尾灯和红灯的颜色均受到了一定的削弱,其他三种算法直观上看起来均比较清晰,色彩均匀。但是本文算法相对于多尺度 Retinex 算法和引导滤波 Retinex 算法,图像看起来更加明亮、清晰。从图像 2 的 4 种算法实验结果来看,直方图均衡化后的图片相对于其他算法偏暗,其中多尺度 Retinex 算法的实验结果最清晰,但是图像出现明显的色彩失真和光晕,而引导滤波 Retinex 算法色彩均比较均匀,本文算法相对于引导滤波 Retinex 算法更加清晰。从图像 3 的 4 种算法实验结果来看,直观上,4 种算法结果差不多。从图

像 4 夜间图像的实验结果来看,4 种算法均能起到图像增强的作用,其中多尺度 Retinex 算法和引导滤波 Retinex 算法处理后的图像比较接近,但图像看起来没有本文算法和直方图均衡化后的图像清晰,同时其他三种算法增强后图像的色彩失真比较严重,而本文算法的颜色保留程度好。从表 1 中的数据和图 8 的实验数据曲线定量分析来看,直方图均衡化后的图像信息熵最小,甚至有时会降低原图的图像信息熵,本文算法处理后的图像信息熵最大,其他两种算法次之。从图像标准差来看,4 种算法均使图像的标准差增大,对比度增强。直方图均衡化处理后的标准差最大,本文算法次之,其他算法的标准差均比这两种算法低。综合来看,本文算法既提高了原图像的图像信息熵,又提高了图像的标准差,相对其他 3 种算法具有明显的优势,而且经过本文算法处理后的图像,直观上来看也比较清晰,对比度较好。

4 结 语

图像增强是图像处理的一个重要手段,本文提出一种结合风驱动优化的低复杂度图像增强方法,该方法的图像增强流程简单,容易计算,复杂度低。该方法利用双曲正弦函数、伽马函数、标准 Sigmoid 函数和对比拉伸函数作为图像增强的主要步骤,并且融合风驱动优化算法对伽马函数参数和对比度拉伸参数进行智能寻优,提高算法的自适应性。将本文算法与传统的直方图均衡算法、多尺度 Retinex 算法和引导滤波 Retinex 算法进行比较,实验结果表明,本文算法相对其他算法图像增强效果较好,对比度较好,具有一定的实用性。

参 考 文 献

- [1] 石林玉,谢维成,蒋文波,等. 变压器套管油位雾霾图像检测方法[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(6):854 - 861.
- [2] 吴艳丽,赵德群,陈鹏宇. 一种凝胶电泳图像的预处理方法[J]. 国外电子测量技术,2016,35(11):53 - 57.
- [3] 王冬冬,田干,杨正伟,等. 基于小波分解灰关联的热波检

- 测图像增强[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(5): 1086 - 1092.
- [4] Singh K, Kapoor R. Image enhancement using exposure based sub image histogram equalization[J]. Pattern Recognition Letters, 2014, 36: 10 - 14.
- [5] Gupta P, Pahwa K. Enhancing colors of a digital image using clock algorithm[J]. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing, 2015, 7(11): 9 - 15.
- [6] Huang S C, Cheng F C, Chiu Y S. Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(3): 1032 - 1041.
- [7] Mahamdoua M, Benmohammed M. New mean-variance gamma method for automatic gamma correction[J]. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing, 2017, 9(3): 41 - 54.
- [8] Raju A, Dwarakish G S, Reddy V. A comparative analysis of histogram equalization based techniques for contrast enhancement and brightness preserving[J]. International Journal of Signal Processing Image Processing and Pattern Recognition, 2013, 6(5): 353 - 366.
- [9] 顾明, 郑林涛, 尤政. 基于颜色空间转换的交通图像增强算法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(8): 1901 - 1907.
- [10] Loza A, Bull D R, Hill P R, et al. Automatic contrast enhancement of low-light images based on local statistics of wavelet coefficients[J]. Digital Signal Processing, 2013, 23(6): 1856 - 1866.
- [11] 曹风云, 赵凯, 王筱薇倩, 等. 自适应水下彩色图像增强算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(5): 772 - 778.
- [12] Liu H, Sun X, Han H, et al. Low-light video image enhancement based on multiscale Retinex-like algorithm[C]// 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 2016: 3712 - 3715.
- [13] Zhang Y, Huang W, Bi W, et al. Colorful image enhancement algorithm based on guided filter and Retinex[C]// 2016 IEEE International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP), 2016: 33 - 36.
- [14] Xie S J, Lu Y, Yoon S, et al. Intensity variation normalization for finger vein recognition using guided filter based single scale Retinex[J]. Sensors, 2015, 15(7): 17089 - 17105.
- [15] Ma Z, Wen J. Single-scale Retinex sea fog removal algorithm fused the edge information[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2015, 27(2): 217 - 225.
- [16] Subhashdas S K, Choi B S, Yoo J H, et al. Color image enhancement based on particle swarm optimization with Gaussian mixture[C]// Color Imaging XX: Displaying, Processing, Hardcopy, and Applications. International Society for Optics and Photonics, 2015.
- [17] Zhang Q, Duan H. Biological weight selection of multi-scale Retinex via artificial bee colony algorithm[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 125(3): 1434 - 1438.
- [18] Bayraktar Z, Komurcu M, Bossard J A, et al. The wind driven optimization technique and its application in electromagnetics[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2013, 61(5): 2745 - 2757.
- ~~~~~
- (上接第 188 页)
- [5] Miao F, Liu H, Miao B, et al. Open domain news text relationship extraction based on dependency syntax[C]// 2018 IEEE International Conference of Safety Produce Information (IICSPI). IEEE, 2018: 310 - 314.
- [6] Peng Nanyun, Poon H, Quirk C, et al. Cross-sentence N-ary relation extraction with graph LSTMs[J]. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 2017, 5: 101 - 115.
- [7] 罗少伟. 卷积神经网络在关系抽取中的应用研究[J]. 现代计算机, 2017(9): 58 - 60.
- [8] Young T, Hazarika D, Poria S, et al. Recent trends in deep learning based natural language processing [EB]. arXiv: 1708.02709, 2017.
- [9] Goldberg Y. Neural network methods for natural language processing [M]. San Rafael: Morgan & Claypool Publishers, 2017.
- [10] Leng J, Jiang P. A deep learning approach for relationship extraction from interaction context in social manufacturing paradigm [J]. Knowledge-Based Systems, 2016, 100(C): 188 - 199.
- [11] Liang H, Sun X, Sun Y, et al. Text feature extraction based on deep learning: a review[J]. EURASIP journal on wireless communications and networking, 2017(1): 1 - 12.
- [12] 宋睿, 陈鑫, 洪宇, 等. 基于卷积循环神经网络的关系抽取[J]. 中文信息学报, 2019, 33(10): 64 - 72.
- [13] Gómez-Adorno H, Posadas-Durán J P, Sidorov G, et al. Document embeddings learned on various types of n-grams for cross-topic authorship attribution[J]. Computing, 2018, 100(7): 741 - 756.
- [14] Posadas-Durán J P, Gómez-Adorno H, Sidorov G, et al. Application of the distributed document representation in the authorship attribution task for small corpora[J]. Soft Computing, 2017, 21(3): 627 - 639.
- ~~~~~
- (上接第 248 页)
- [17] Sturm J, Engelhard N, Endres F, et al. A benchmark for the evaluation of RGB-D SLAM systems[C]// 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2012: 573 - 580.