

文章编号:1671-251X(2024)S1-0025-04

基于 ITLBO-AFSA 优化 FCM 算法的矿井图像增强

王泰基

(国能神东煤炭集团有限责任公司 机电管理部, 陕西 榆林 719315)

摘要:煤矿视频监控技术是煤矿开采安全生产的重要组成部分,而监控图像的质量直接决定监控识别结果的有效性。为解决煤矿井下视频图像模糊、对比度低、细节不够清晰等问题,增强图像目标分割效果,对传统教学算法进行改进,提出了一种混合改进教学算法,并将其与人工鱼群算法融合,形成一种基于混合改进教学算法的人工鱼群算法(ITLBO-AFSA)。通过调整学习策略、优化算法参数,对传统人工鱼算法进行改进,并将经该算法图像增强后的结果用于模糊 C 均值算法(FCM)图像分割。实验结果表明,ITLBO-AFSA 与标准 FCM 算法分割、AFSA_FCM 算法相比,划分系数分别提升了 7%,3% 左右;划分熵值各下降了 57%,10% 左右;图像分割正确率分别提升了 10%,7%;与标准 FCM 算法和 AFSA_FCM 算法相比,ITLBO-AFSA 取得最优结果所用迭代次数最少,收敛速度最快,聚类效果最好,可以有效避免陷入局部最大化。

关键词:矿井图像增强;图像分割;模糊 C 均值;人工鱼群算法;改进教学算法

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Mine image enhancement based on ITLBO-AFSA optimized FCM algorithm

WANG Taiji

(Electromechanical Management Department, CHN Energy Shendong Coal Group Co., Ltd.,
Yulin 719315, China)

0 引言

煤矿视频监控技术是煤矿开采安全生产的重要组成部分,而监控图像的质量直接决定监控识别结果的有效性^[1-3]。在实际生产过程中,由于煤矿井下高水雾、低照度、生产环节多粉尘、暗亮不均等,给摄像仪等图像采集设备感知环境信息造成较大干扰^[4-5]。

对于图片质量较差、特征不明显或被掩盖的情况,往往采用图像增强技术来对图片进行修复,以获得清晰图片或者突出特征信息^[6-7]。对于图像增强的研究,目前主要集中在寻找图像隶属度函数^[8]、寻找最优梯度、图像自适应增强^[9]、对比度增强^[10]、像素边缘检测^[11]等。郝博南^[12]提出了一种基于去尘估计和多重曝光融合的煤矿井下图像增强方法,用来解决煤矿井下粉尘和暗光等因素导致采集的图像质量低,而现有图像增强方法存在图像细节丢失、局部特征不清晰、无法消除噪声、去尘效果不理想等问题;王均利等^[13]提出了一种基于深度学习的煤矿井下低光照人脸检测方法,采用基于无监督学习的生

成对抗网络(GAN)对煤矿井下低光照图像进行对比度增强,实现人脸检测;苗作华等^[14]基于 Retinex-Net 网络结构改进,提出了一种矿井非均匀照度图像增强算法。

人工鱼群算法(Artificial Fish Swarm Algorithm, AFSA)虽然具有良好的鲁棒性和全局寻优性,但在寻求最优解的过程中存在后期寻优速度慢、不精确的问题^[15-16]。虽然国内外的学者们针对 AFSA 的这些缺陷已经提出了一些优化方法,但是结果都不尽理想^[17-19]。赵海峰等^[20]提出了一种改进的人工鱼群算法和 Powell 算法结合的多分辨率医学图像配准算法,利用多分辨率策略采用 HPV (Harmonic Position Interpolation)插值,并采用改进的人工鱼群算法结合 Powell 算法完成医学图像的配准。叶明等^[21]提出了一种改进的人工鱼群与几何混合优化算法求解圆度误差评定问题,将优化算法与几何方法相结合,有效提高了鱼群算法的优化效率和稳定性。但上述方法在获得图像参数时计算量过多,无法获得令人满意的图像增强效果,很难满足实际应用需求。

收稿日期:2024-01-25;责任编辑:王晖。

作者简介:王泰基(1975—),男,甘肃武威人,高级工程师,从事煤矿智能化的相关研究工作,E-mail:740897262@qq.com。

针对上述问题,本文对人工鱼群算法提出改进,从参数调整和优化寻优策略角度,对传统教学算法进行改进,提出了一种混合改进教学算法,并将其与人工鱼群算法融合,形成一种基于混合改进教学算法的人工鱼群算法(Improved Teaching-Learning Based Optimization Algorithm with Adaptive Feeding Strategy, ITLBO-AFSA),并将增强后的图像用于模糊 C 均值(Fuzzy C-means, FCM)算法^[22]进行图像分割,通过实验证明,经本文算法增强后的图像在图像分割时,分割速度和精度有了比较明显的提升,证明了本文算法可以有效解决由于煤矿井下高水雾、低照度、生产环节多粉尘、暗亮不均等所造成图像质量差的问题。

1 基于混合改进教学算法的自适应人工鱼群算法

针对 AFSA 算法进入后期会在全局范围内盲目搜索,造成时间浪费,无法较好得到最优解的问题,本文算法对寻优过程进行优化,对人工鱼群在寻优过程中进行优化,在寻优过程中,将最优解作为导向,对人工鱼群进行指导,减少冗余过程,进而加快寻优速度。本文算法将传统的教学算法进行改进,将最优解作为“教师”,鱼群中的其他成员视为“同学”,除了上述寻优策略外,通过不断使自适应教学因子 TF 在教学寻优过程中发挥作用,进而使鱼群中的每一个个体都加快寻优速度,进而提高最优解的产生速度。

设人工鱼当前状态为 X_i , X_i 的初始范围为 $\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$, i 为当前的迭代次数,初始值 $i = 1$,经过教学过程产生的解为

$$X_i^{new} = X_i + \text{rand} \times (X_i - TF \times X_i) \quad (1)$$

式中:rand 为随机数,取值范围为 $[0, 1]$; TF 为教学因子,其表达式为

$$TF = \text{round}\left[\frac{2(i_{\max} - i)}{i_{\max}}\right] \quad (2)$$

其中, $i_{\max}$ 为最大迭代次数。

TF 随着 i 的迭代增加,其值也逐渐从 2 减小,最终减小为 0。在常规教学算法所设计的交流学习策略里,往往只有 2 个学生进行彼此交流,这就导致容易陷入局部最大化。改进后算法的交流过程,学生之间以及师生之间均可进行交流,这样大大加快了寻优的过程,以最优解不断指导学生进行交流,提高了交流的质量和效率,经过该过程所得到的解为

$$X_i^{new} = X_m + \text{rand} \times (X_a - X_b) \quad (3)$$

通过对传统教学算法进行改进,通过改变寻优策略,设置最优解为教师,让学生们能在自适应教学因子的驱动下在寻优过程中不断向教师进行交流,

进而加快寻优速度,提高得到最优解的能力。ITLBO-AFSA 中,对人工鱼个体的构造如下:聚类优化对象 X 代表每一个人工鱼个体。具体步骤如图 1 所示。

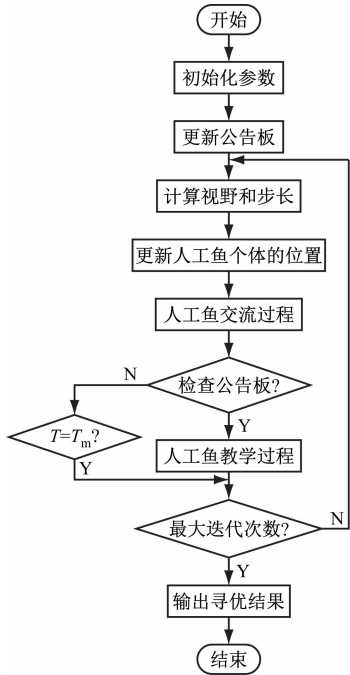


图 1 ITLBO-AFSA 流程

2 实验设计

将 ITLBO-AFSA 应用于模糊 C 均值算法图像分割的具体步骤:先通过本文算法通过自适应函数教学过程后得到初始化聚类中心,即寻优结果,然后将寻优结果进行模糊 C 均值算法图像分割。

实验选取暗光条件下的图像进行了 4 次分割实验,本文采用的数据集来源于中国矿业大学智能检测与模式识别研究中心煤矿专用视频 AI 分析数据集,本数据集面对的是复杂场景的图片,数据集中包含有煤矿场景,选取经典的图像进行分割实验,通过将本文提出的算法和模糊 C 均值算法 (FCM)、AFSA 优化后的 FCM 算法 (AFSA_FCM) 进行图像分割实验的对比,以证明本文算法的分割精度和速率。

实验所用的设备和环境:实验所使用的仿真工具为 MATLAB,基于 windows 操作系统。通过不断地对模型参数进行调优,最终达到理想效果,经调优后的模型参数见表 1。

表 1 ITLBO-AFSA 算法参数

人工鱼群数目	觅食行为的试探次数	最大迭代次数	最大停滞次数	拥挤度因子	视步系数	迭代停止阈值
20	3	100	10	0.618	0.5	10^{-3}

3 评价指标

评价指标划分系数 V_{pc} 和划分熵 V_{pe} 能够反映分割矩阵的模糊程度,划分系数 V_{pc} 数值越大,分割矩阵的模糊性越小,分割效果越好,其值越接近 1,说明聚类的程度越强;划分熵 V_{pe} 数值越小,像素分类越准确,分割效果越好,其值越接近于 0,说明聚类的结构越清晰。

评价指标划分系数 V_{pc} 、划分熵 V_{pe} 的定义分别为

$$V_{pc} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K u_{ki}^2}{n} \tag{4}$$

$$V_{pe} = - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K u_{ki} \log(u_{ki})}{n} \tag{5}$$

式中: K 为聚类数目; n 为像素总数; u_{ki} 为隶属度函数,表示第 i 个像素属于第 k 分类的隶属度。

4 实验结果与性能分析

本文共设计了 4 组分割实验用来验证本文算法对于 ITLBO-AFSA 应用于模糊 C 均值算法图像分割的有效性与优越性,并将本文提出的算法和模糊 C 均值算法(FCM)、AFSA 优化后的 FCM 算法(AFSA_FCM)进行图像分割实验对比,通过定量与定性分析,得出的分割结果如图 2 所示。

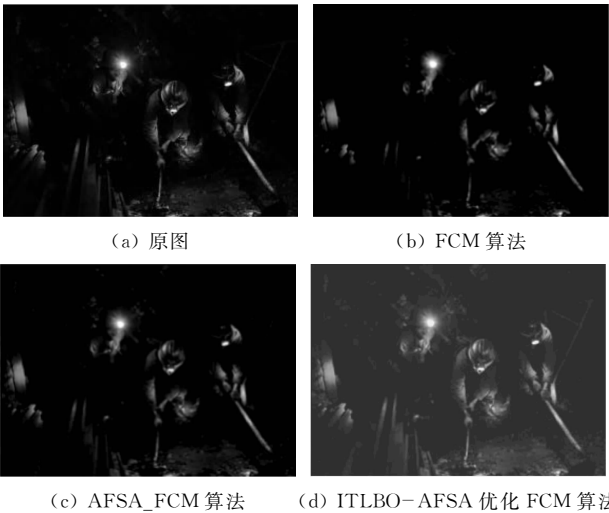


图 2 图像分割结果对比

由图 2 可知,相较其他分割算法,本文算法优化掉了无关信息的干扰,然后将增强后的图像进行图像分割实验,得到了清晰的图像分割结果,证明了本文算法在图像降噪上的有效性。从表 2 可看出,本文算法与 FCM 算法、AFSA_FCM 算法进行比较,迭代次数明显减少,平均运行时间分别下降了 50%~55%,15%~30%,证明了本文算法在图像分割速率上有着较大提升。

表 2 算法迭代次数和运行时间结果

实验 序号	标准 FCM		AFSA_FCM		ITLBO-AFSA	
	算法		算法		优化 FCM 算法	
	迭代 次数	运行 时间	迭代 次数	运行 时间	迭代 次数	运行 时间
实验 1	18	11.53	11	6.58	9	5.64
实验 2	19	11.94	12	7.02	10	5.98
实验 3	43	13.74	26	8.56	21	6.92
实验 4	52	14.70	32	10.61	25	7.30

从表 3 可看出,本文算法与标准 FCM 算法分割、AFSA_FCM 算法相比,划分系数 V_{pc} 分别提升了 7%,3%左右;划分熵 V_{pe} 各下降了 57%,10%左右;图像分割正确率分别提升了 10%,7%。

表 3 算法聚类正确率结果

实验 序号	标准 FCM 算法		AFSA_FCM 算法		本文算法	
	划分	划分	划分	划分	划分	划分
	系数	熵	系数	熵	系数	熵
实验 1	0.807 3	0.368 0	0.836 4	0.176 2	0.851 4	0.159 6
实验 2	0.808 4	0.367 4	0.842 1	0.173 4	0.868 0	0.152 0
实验 3	0.811 8	0.353 2	0.849 6	0.160 3	0.879 1	0.145 8
实验 4	0.815 1	0.355 4	0.850 9	0.165 5	0.876 3	0.143 4

由图 3 可看出,与标准 FCM 算法和 AFSA_FCM 算法相比,本文算法取得最优结果所用迭代次数最少,收敛速度最快,聚类效果最好,可以有效避免陷入局部最大化,证明了本文算法的优越性。

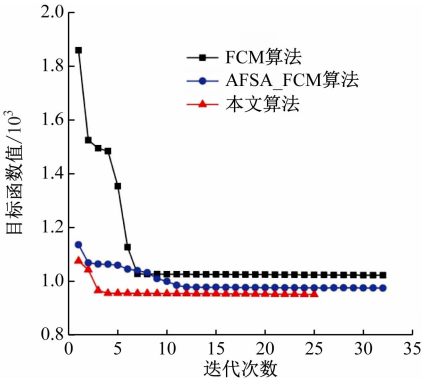


图 3 迭代次数变化

5 结论

1) 本文算法对寻优过程进行优化,对人工鱼群在寻优过程中进行优化,在寻优过程中,将最优解作为导向,对人工鱼群进行指导,减少冗余过程,进而加快寻优速度,提出了一种混合改进教学算法,并将其与人工鱼群算法融合,形成一种基于混合改进教学算法的人工鱼群算法(ITLBO-AFSA),并将其用于 FCM 图像分割方法,提高了 FCM 算法分割图像时的精度和速率。

2) 通过分割实验,本文算法与 FCM 算法、AFSA_FCM 算法相比,在 V_{pc} 、 V_{pe} 、分割正确率和运行时间等指标上都有较大的提升,证明了本文算法的有效性。

3) 本文只对人工鱼群算法做了个别方面的改进和应用研究,在今后的工作中,可以通过对控制参数、搜索策略、应用领域方面的研究,探究改进算法的参数设置方案,减少其对具体问题的依赖,优化搜索策略,减少模型运行时间。

参考文献:

[1] 张斌,李博文. 基于布控球技术的煤矿视频监控系统研究与应用[J]. 中国煤炭,2022,48(S1):47-50.

[2] 袁红. 数字视频监控技术在煤矿安全生产中的应用[J]. 能源与节能,2022(6):208-210.

[3] 景少波. 煤矿智能化开采技术发展现状及展望[J]. 陕西煤炭,2021,40(6):184-187.

[4] 王国法,杜毅博,任怀伟,等. 智能化煤矿顶层设计研究与实践[J]. 煤炭学报,2020,45(6):1909-1924.

[5] 王国法. 煤矿智能化最新技术进展与问题探讨[J]. 煤炭科学技术,2022,50(1):1-27.

[6] 程德强,寇旗旗,江鹤,等. 全矿井智能视频分析关键技术综述[J]. 工矿自动化,2023,49(11):1-21.

[7] 孔二伟,张亚邦,李佳悦,等. 面向煤矿井下低光照图像的增强方法[J]. 工矿自动化,2023,49(4):62-69,85.

[8] 杨兵,刘晓芳. 基于模糊隶属度函数的脑图像分割方法[J]. 计算机应用与软件,2022,39(4):254-262.

[9] 王路敏. 基于群智能优化算法的低照度图像增强研究[D]. 赣州:江西理工大学,2023.

[10] 郝兵,李萍,刘东. 基于模糊小波的光照干扰图像对比度增强方法[J]. 激光杂志,2023,44(11):104-108.

[11] 吴秀敏,崔巍. 基于图像增强和边缘检测的绘画色彩分析与模拟重建方法研究[J]. 电子设计工程,2023,31(13):187-191.

[12] 郝博南. 基于去尘估计和多重曝光融合的煤矿井下图像增强方法[J]. 工矿自动化,2023,49(11):100-106.

[13] 王均利,李佳悦,李秉天,等. 基于深度学习的煤矿井下低光照人脸检测方法[J]. 工矿自动化,2023,49

(11):145-150.

[14] 苗作华,赵成诚,朱良建,等. 矿井井下非均匀照度图像增强算法[J]. 工矿自动化,2023,49(11):92-99.

[15] LIS S, HAN Y, OUYANG Y, et al. Multi-objective reactive power optimization by modified artificial fish swarm algorithm in IEEE 57-bus power system[J]. IEEE, 2015. DOI:10.1109/APPEEC.2014.7066026.

[16] HE Y, ZHAO X, GUO R, et al. Multi-resolution wavelet neural network learning algorithm based on artificial fish swarm algorithm [C]. The 2nd International Conference on Computing and Data Science,2021.

[17] 王南轶,黄诗雯,熊兴福. 基于改进人工鱼群的模糊图像自适应增强算法[J]. 计算机仿真,2022,39(10):229-233.

[18] YUE Xiaofeng, ZHANG Hongbo, YU Haiyue. A hybrid grasshopper optimization algorithm with invasive weed for global optimization [J]. IEEE Access,2020,8:5928-5960.

[19] SHEN Xin, DAI Qun, ZHU Guangliang, et al. Dynamic ensemble pruning algorithms fusing meta-learning with heuristic parameter optimization for time series prediction [J]. Expert Systems with Application, 2023, 225. DOI: 10.1016/J.ESWA.2023.120148.

[20] 赵海峰,姚丽莎,罗斌. 改进的人工鱼群算法和 Powell 法结合的医学图像配准[J]. 西安交通大学学报,2011,45(4):46-52.

[21] 叶明,唐敦兵,赵转萍,等. 基于人工鱼群与几何混合优化的圆度误差评定算法[J]. 南京航空航天大学学报,2013,45(4):526-531.

[22] TRIPATHY B K, TRIPATHY A, RAJULU K G. Possibilistic rough fuzzy C-means algorithm in data clustering and image segmentation [C]. IEEE International Conference on Computational Intelligence & Computing Research,2015.

(上接第 24 页)

[12] YUAN M, ISLAM A, FRODE H, et al. Simultaneous distributed acoustic and temperature sensing using a multimode fiber[J]. IEEE Journal of Sel Top Quant, 2021,26(4):96-105.

[13] 李斌,张一凡,颜世烨,等. 基于改进极限学习机 ELM 的光伏发电预测方法研究[J]. 热能动力工程,2022,37(10):207-214.

[14] 周海,李登宣,尹万思,等. 基于极限学习机的光伏发电短期预测校正方法[J]. 电网与清洁能源,2020,36(6):64-69.

[15] 叶从周,肖朋林,秦俊,等. 基于聚类和随机森林回归的超大型建筑能耗负荷预测模型研究[J]. 绿色建筑,2022,14(5):48-51.

[16] 朱明亚,潘毅群,吕岩等. 能耗预测模型在建筑能效优

化中的应用研究[J]. 建筑科学,2020,36(10):35-46.

[17] 杨丽娜,赵鹏,王佩哲. 基于 GRU 神经网络的数据中心能耗预测模型研究[J]. 电力信息与通信技术,2021,19(3):10-18.

[18] 高英博,顾中焯,罗淑湘等. 能耗预测导向的建筑能耗异常数据识别与修复[J]. 科学技术与工程,2019,19(35):298-304.

[19] 廖丰宸,张瑞阳,林榕,等. 基于层叠式残差 LSTM 网络的桥梁非线性地震响应预测[J]. 工程力学,2012,1(12):67-66.

[20] 宋绍剑,李博涵. 基于 LSTM 网络的光伏发电功率短期预测方法的研究[J]. 可再生能源,2021,39(5):594-602.

[21] 苏连成,朱娇娇,郭高鑫等. 基于 LSTM 的塔架振动状态监测研究[J]. 燕山大学学报,2022,46(5):437-445.