

1-8-2019

Airframe Damage Region Division Evaluation Method Based on Boundary Grid Gradient

Shuyu Cai

College of Aeronautical Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

Lizhong Shi

College of Aeronautical Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Airframe Damage Region Division Evaluation Method Based on Boundary Grid Gradient

Abstract

Abstract: In order to provide decision support for efficiently choosing and evaluating airframe damage region division methods, the characteristic of airframe damage region was analyzed, *evaluating indicator of damage image division-boundary grid gradient was established. By introducing entropy method, combining with indicator of boundary grid gradient, the optimization of TOPSIS was presented, and the evaluation system of airframe damage region division was completely established.* Airframe damage region division evaluation experiments were performed by different gray level entropy threshold of damage division image. Experimental results showed that, the proposed method efficiently represented division status of damage adjacency region, and avoided the adverse effect of boundary changing in different division image on evaluation. The evaluation result corresponded well with visual perception.

Keywords

airframe damage region division, damage division evaluation method, boundary grid gradient, entropy method, ideal solution

Recommended Citation

Cai Shuyu, Shi Lizhong. Airframe Damage Region Division Evaluation Method Based on Boundary Grid Gradient[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(7): 2729-2735.

基于边界网格梯度的机体损伤划分评价方法

蔡舒舒, 师利中

(中国民航大学 航空工程学院, 天津 300300)

摘要: 为准确高效的为机体损伤区域划分方法的选择和评价提供决策支持, 分析了机体损伤区域的特点, 建立了损伤图像划分评价指标——边界网格梯度。并引入熵权法, 融合边界网格梯度指标, 对TOPSIS方法进行优化改进, 建立了完整的机体损伤区域划分评价体系。选用不同灰度熵阈值的飞机机体损伤区域划分图像进行验证。结果表明: 该方法有效的表征了边界对损伤邻接区域的划分情况, 避免了不同划分图像中边界变化对评价结果的不利影响, 评价结果符合视觉感知。

关键词: 机体损伤区域划分; 损伤划分评价方法; 边界网格梯度; 熵权法; 理想解

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 07-2729-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201807037

Airframe Damage Region Division Evaluation Method Based on Boundary Grid Gradient

Cai Shuyu, Shi Lizhong

(College of Aeronautical Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: In order to provide decision support for efficiently choosing and evaluating airframe damage region division methods, the characteristic of airframe damage region was analyzed, *evaluating indicator of damage image division-boundary grid gradient was established. By introducing entropy method, combining with indicator of boundary grid gradient, the optimization of TOPSIS was presented, and the evaluation system of airframe damage region division was completely established.* Airframe damage region division evaluation experiments were performed by different gray level entropy threshold of damage division image. Experimental results showed that, the proposed method efficiently represented division status of damage adjacency region, and avoided the adverse effect of boundary changing in different division image on evaluation. The evaluation result corresponded well with visual perception.

Keywords: airframe damage region division; damage division evaluation method; boundary grid gradient; entropy method; ideal solution

引言

飞机机体损伤区域的划分是机体损伤三维重构的基础。飞机常见局部损伤, 有凹坑、裂纹、腐

蚀、磨损等^[1], 由于局部损伤有一定的作用范围, 损伤邻接区域的形貌存在不同程度的改变, 邻接区域成为影响损伤区域划分效果的重要因素。

图像分割方法是实现机体损伤区域划分的有效方法。当前已有上千种面向具体应用的图像分割方法。然而, 这些图像分割方法在通用性方面存在明显不足。这使得不同的分割算法对同一幅图像的分割结果存在差异。因此, 对图像分割结果进行评



收稿日期: 2017-07-10 修回日期: 2017-09-28;
基金项目: 航空科学基金(20151067003);
作者简介: 蔡舒舒(1985-), 女, 山东济南, 硕士, 讲师, 研究方向为三维模型重构、飞行器故障智能诊断;
师利中(1984-), 男, 河南新乡, 硕士, 讲师, 研究方向为飞行器故障智能诊断、飞机性能数据分析。

<http://www.china-simulation.com>

• 2729 •

价尤为重要。

当前,图像分割的评价方法主要分为分析法和实验法两大类。分析法是直接对算法的原理及性能进行分析,但这类方法中的评价指标通常独立于分割的结果,不能用来有效辨别不同方法间的差异,因此没有受到过多关注^[2]。实验法则通过对分割结果进行测试、对比进行评价。常用的定量实验评价方法有区域间对比度^[3]、区域内部均匀性^[4]、目标计数一致性、像素距离误差、像素数量误差、形状测度^[5]等。这些方法在一定程度上反映了图像分割质量的优劣。Chen^[6]定义区域内和区域间的视觉误差,建立了彩色图像定量评价方案。Coquin^[7]通过相异度量的计算,确立了有监督的评估标准,实现了彩色图像分割结果的自动评价。然而这些方法的评价测度大多是对图像整体的通用性评价。

在应用方面,Zhang^[8]依据地理信息提出了对遥感图像分割的评价方法。Ming^[9]以定量实验评价方法为依据,对高分辨率遥感图像的分割进行了评价。Mangalraj^[10]通过对 SAR 图像斑点固有噪声的评价,解决了图像分割中散斑的问题。Gavet^[11]基于视觉感知对视网膜血管分割图像进行了定量评价。陈庆为^[12]应用灰色理论建立了对木板材表面缺陷图像分割质量的评价体系。盛韩伟^[13]等基于拓扑结构研究了眼底图像分割评价方法。陈跃^[14]采用像素离散度、区域重合度和缺陷区域面积作为评价参数,对钢板表面缺陷图像分割效果进行了评价。

由此可见,面向不同的应用领域,其图像分割对象不同,特征不同,因而对其分割结果有着具体要求,因此其评价标准有所不同。本文以机体损伤区域的划分评价为研究目标,根据应用特点分析其划分要求,通过定义边界网格梯度建立评价指标,细化、量化边界分割效果,通过引入熵权法,改进 TOPSIS 模型,评价不同划分阈值对分割效果的影响,并通过实际采集的损伤图像对评价模型进行验证。

1 边界网格梯度

机体损伤区域的划分通过算法将损伤区域和非损伤区域进行区分,是后续处理的基础。然而,损伤邻接区域的存在,使得不同算法的划分结果有所差异。因此,对于机体损伤区域图像划分的评价既要考虑整体的划分效果,更要评价损伤邻接区域对于划分边界的影响。

边界对于损伤邻接区域的局部划分效果,可通过局部边界的分割梯度来表征。

由于边界是图像区域的划分,边界两侧的图像其特征值必然有明显的变化。局部边界的分割梯度,即描述局部边界法线方向上特征值的变化。

对于边界上的任一点 (x, y) ,其特征值函数为 $f(x, y)$,则梯度为 $G(x, y)$ 。

$$G(x, y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

梯度的幅值可用绝对值来近似表示,即:

$$|G(x, y)| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = |G_x| + |G_y| \quad (2)$$

梯度越大,说明边界越清晰,划分效果越好。

由于损伤邻接区域有一定作用范围,边界上每个像素点与相邻像素点往往处于同一性质的区域,计算两者之间的特征值梯度变化,难以反映划分的效果,因此将以等距网格对划分图像边界进行分段处理,定义边界网格梯度,对每段边界所处的损伤邻接区域特征变化进行度量,从而量化了边界的划分质量。

假设某一网格 (i, j) 中存在边界弧 \widehat{AB} ,端点 A 、 B 连线的法线为 l ,如图1所示,则局部边界网格梯度定义为: $G_{ab} = \begin{bmatrix} G_i \\ G_j \end{bmatrix}$ 。

幅值为 $|G_{ab}| = \sqrt{G_i^2 + G_j^2}$,近似表示为: $|G_{ab}| = |G_i| + |G_j|$ 。

根据法线与8-邻域区域的关系不同,可用不同的差分方法来近似。假设法线 l 经过8-邻域网格 $(i+p, j+q)$ 和 $(i+p', j+q')$,则:

$$G_i = |f[i, j + q] - f[i, j + q']| / |q - q'| \quad (3)$$

$$G_j = |f[i + p, j] - f[i + p', j]| / |p - p'|$$

式中: p, p', q, q' 取值为 -1, 0, 1。

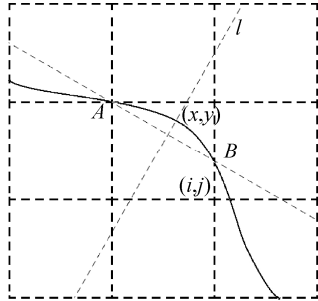


图 1 局部边界分割梯度示意图

Fig. 1 Local boundary segmentation gradient schematic

2 改进的 TOPSIS 熵权损伤图像划分评价方法

2.1 熵权法

熵权法是依据系统特征值所提供的信息量来确定权重的方法, 可引入熵权法确定机体损伤区域图像划分各个指标的权重。

假设损伤图像划分评价指标矩阵为 $X=(x_{ij})_{m \times n}$, 其中损伤划分图像 m 个, 图像采用相同网格划分, 每幅图像覆盖网格个数为 n , x_{ij} 表示第 i 幅图像第 j 个网格中的局部边界分割梯度值。

信息熵 $S(x_i)$ 定义为:

$$S(x_i) = \begin{cases} -\sum_{i=1}^m x_{ij} \ln x_{ij} & x_{ij} > 0 \\ 0 & x_{ij} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

由于指标值分散度越大, 信息熵越小, 而所提供的信息量大, 熵权越大; 反之熵权小。因此, 定义各个指标的熵为:

$$S_i = 1 - S(x_i) / \ln m \quad (5)$$

$$\text{则熵权为: } w_i = S_i / \sum_{i=1}^n S_i$$

可以看出熵权 w_i 满足 $w_i > 0$, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

2.2 改进 TOPSIS 熵权评价方法

由于不同划分方法的差异, 使得图像划分的损

伤边界有所变化, 其对应相同网格划分的梯度值亦有变化。这对 TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) 评价方法中理想解的确定带来不利影响。因此, 针对这一缺陷, 对 TOPSIS 评价方法进行改进。

(1) 指标确定。

对损伤图像边界进行网格划分, 确定边界穿过每个网格的端点 A 、 B 及其法线 l , 依据公式(2) (3) 计算法线 l 所穿过网格的梯度值 G_{ab} , 以该梯度值作为边界在当前网格的指标参数值 x_{ij} 。

通过对待评价的 m 个图像所覆盖的 n 个网格, 分别计算其指标参数值 x_{ij} , 获得评价指标矩阵 $X=(x_{ij})_{m \times n}$ 。

(2) 数据归一化处理。

为统一指标的度量标准, 对指标值进行归一化处理, 即: $y_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$ 。

(3) 指标加权。

依据熵权法计算权重 w_i , 通过计算 $z_{ij} = x_{ij} \cdot w_{ij}$, 得到加权指标矩阵 $Z=(z_{ij})_{m \times n}$ 。

(4) 确定正负理想解。

由于划分结果的差异, 边界改变进而使得网格中梯度改变。当某网格中的边界消失时, 其对应梯度值取值为 0。而该 0 点是最小值点, 但不能反映损伤图像的划分结果, 因此需对负理想解进行修正。

$$\text{正理想解为: } V^+ = \{\dots, (\max_i z_{ij}), \dots\}$$

$$\text{负理想解为: } V^- = \{\dots, (\min_i z_{ij}), \dots\}, \text{ 且 } z_{ij} \neq 0。$$

(5) 计算各个评价对象到正负理想解的距离。

$$d(Z_i, V^+) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_i - V^+)^2};$$

$$d(Z_i, V^-) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_i - V^-)^2}。$$

(6) 计算相对贴近度。

相对贴近度 $C_i^+ = d(Z_i, V^+) / d(Z_i, V^-)$, 依据相对贴近度对评价对象进行排序。

基于边界网格梯度的机体损伤区域划分评价方法流程图, 如图 2 所示。

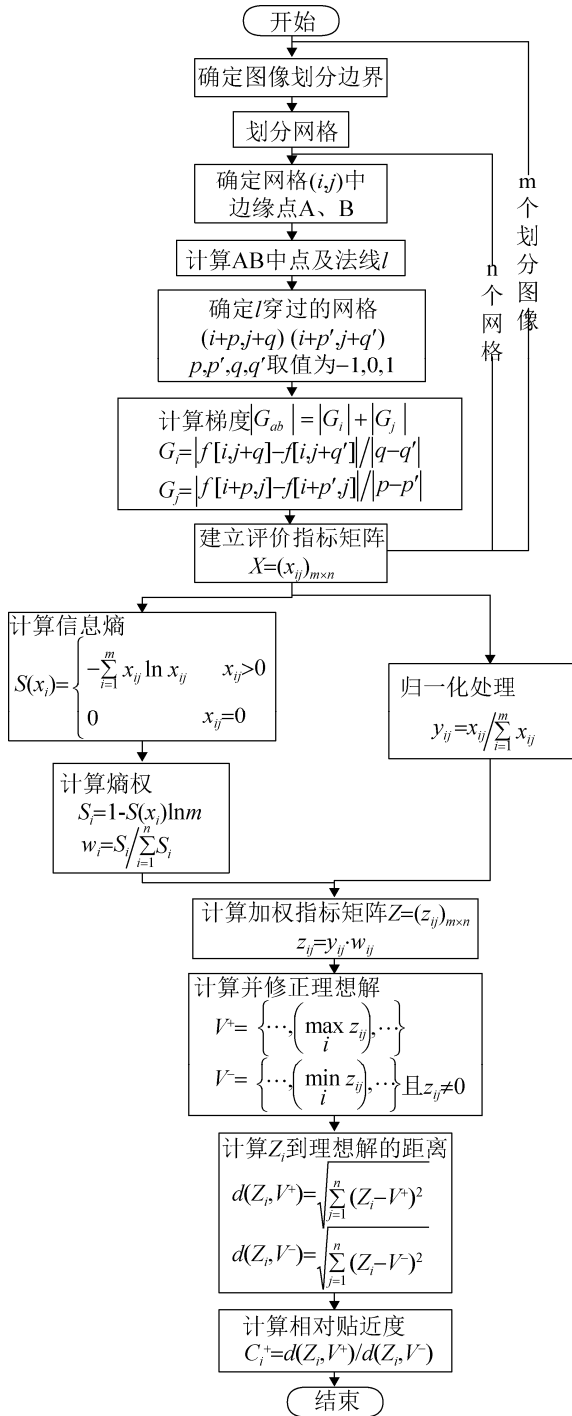


图2 评价方法流程图

Fig. 2 Flow chart of evaluation method

3 实例验证与分析

为验证基于边界网格梯度的机体损伤区域划分评价方法，选取蒙皮表面剥层腐蚀图像为实例，如图3所示。

通过选用灰度熵方法^[15]，从实例图像有效划

分区间中选取阈值，并保持适宜间隔，在能够形成较为明显对比的同时，体现阈值对损伤区域划分影响的连贯性。分别选取八个不同阈值 60、80、100、120、140、160、180、200，对实例图像进行损伤区域的划分，结果如图4所示。



图3 蒙皮表面剥层腐蚀图像

Fig. 3 Image of skin surface exfoliation corrosion

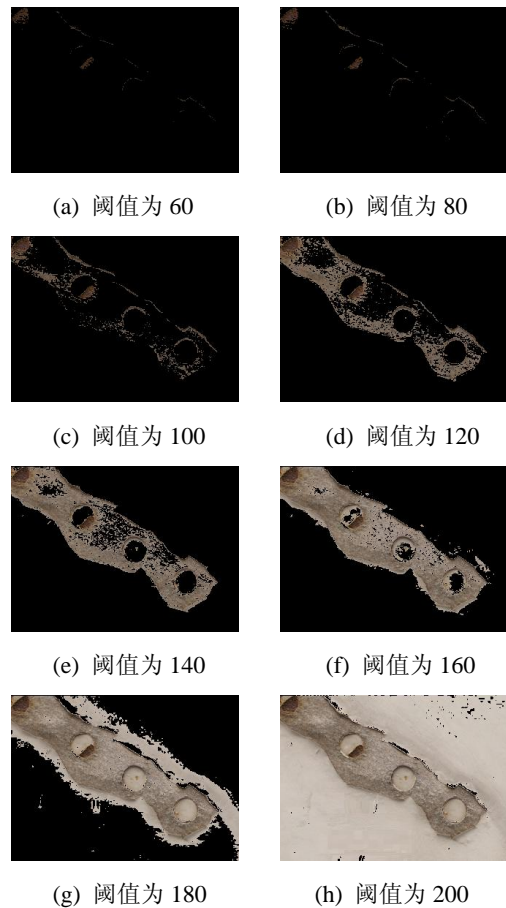


图4 不同阈值下的划分图像

Fig. 4 Segmentation images of different thresholds

以尺寸为 100×100 的网格对划分图像进行处理，每幅图像得到 4×3 个网格覆盖，对应 12 个边界网格梯度指标，计算每幅划分图像下各网格的边界网格梯度，得到指标矩阵，如表1所示。

表 1 不同阈值划分图像的边界网格梯度值
Tab. 1 Boundary grid gradient of different thresholds

网格\阈值	60	80	100	120	140	160	180	200
(0,0)	147	147	147	64.845	147	4.5	4.5	4.5
(0,1)	0	0	64.845	0	0	0	0	0
(0,2)	0	0	0	0	0	0	0	0
(1,0)	61.714 6	0	0	0	64.845	64.845	64.845	0
(1,1)	0	3.130 5	0	0	52.687 4	52.687 4	52.687 4	0
(1,2)	0	0	0	0	0	0	0	0
(2,0)	0	0	0	0	0	0	0	0
(2,1)	0	0	17.5	17.5	71.105 9	17.5	0	0
(2,2)	0	0	0	0	0	0	0	0
(3,0)	0	0	0	0	0	0	0	0
(3,1)	0	0	0	0	0	0	0	0
(3,2)	0	0	0	0	0	0	0	0

依据本文的机体损伤区域划分评价方法,对指标矩阵进行计算,得到各边界网格指标权重,如表 2 所示,可知指标权重之和为 1。

各指标正、负理想解如表 3 所示,其中负理想解的取值已剔除由于划分方案更改、边界消失而出现的最小值点。

不同阈值划分图像的评价结果由相对贴适度表征,结果如表 4 所示。

不同阈值划分的评价结果曲线如图 5~6 所示。

表 2 边界网格对应指标的权重
Tab. 2 Indicator weight of boundary grid

网格指标	权重
(0,0)	0.024 3
(0,1)	0.108 2
(0,2)	0.176 8
(1,0)	0.040 2
(1,1)	0.053 4
(1,2)	0.176 8
(2,0)	0.176 8
(2,1)	0.066 8
(2,2)	0.176 8
(3,0)	0.000 0
(3,1)	0.000 0
(3,2)	0.000 0

表 3 边界网格对应指标的理想解
Tab. 3 Ideal solution of boundary grid indicator

网格指标	正理想解	负理想解
(0,0)	0.002 4	0.000 1
(0,1)	0.036 7	0.034 9
(0,2)	0.000 0	0.000 0
(1,0)	0.006 2	0.004 1
(1,1)	0.008 0	0.000 4
(1,2)	0.000 0	0.000 0
(2,0)	0.200 0	0.200 0
(2,1)	0.024 5	0.006 0
(2,2)	0.200 0	0.200 0
(3,0)	0.000 0	0.000 0
(3,1)	0.000 0	0.000 0
(3,2)	0.000 0	0.000 0

表 4 阈值划分的评价结果

阈值	TOPSIS 评价结果	改进 TOPSIS 评价结果
60	0.913 747 615	0.990 585 925
80	1.167 258 424	0.990 717 616
100	0.933 692 779	0.993 166 509
120	2.873 188 159	0.994 764 383
140	1.602 291 671	1.003 258 06
160	2.188 837 034	0.994 731 164
180	2.305 173 52	0.991 990 382
200	NAN	0.990 368 372

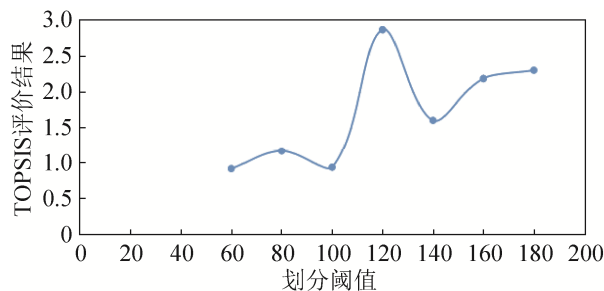


图5 Topsis 评价曲线

Fig. 5 Topsis evaluation curve

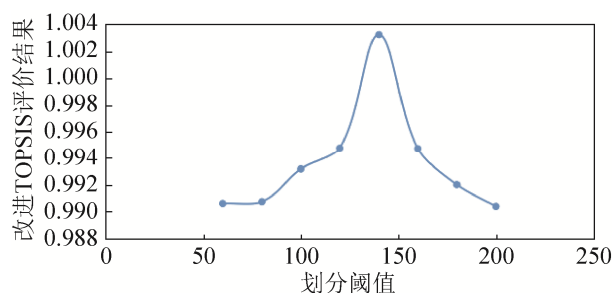


图6 改进 Topsis 评价曲线

Fig. 6 Improved Topsis evaluation curve

由图5可知，TOPSIS方法评价曲线于划分阈值120点处取得最优值，阈值140点处评价结果明显低于最优值。然而从对应的划分图像来看，阈值120对应的图4(d)，其损伤区域上部划分边界存在不明显的现象；阈值140对应的图4(e)划分边界清晰，损伤区域完整。从直观的视觉角度可以看出，图4(e)划分效果明显优于图4(d)。

图5中划分阈值160点的评价优于阈值140点。从划分图像来看，阈值160对应的图4(f)，其损伤区域上部边界附近有若干孤立的非损伤区域被错误划分，其下部的边界有明显毛边。因此图4(e)划分效果明显优于图4(f)，图像实际划分结果与评价结果不符，综上所述可知，TOPSIS方法对于损伤划分图像的评价结果存在与视觉感知不符的情况。

由图6可以看出，改进TOPSIS方法评价曲线于划分阈值为140点处取到最优值，其对应划分图像图4(e)，分割边界清晰，损伤清楚完整，符合视觉感知；随着阈值偏离最优值，评价结果曲线明显下降，所对应的划分图像出现了明显的缺陷；划分阈值为60、80的点，其评价结果较低，对应划分

图像分别为图4(a)和图4(b)，损伤划分图像缺失明显，边缘无法识别；划分阈值为180、200的点，在评价曲线中位于较低点，对应划分图像为图4(g)、图4(h)，损伤划分图像中损伤区域和邻接区域出现显著混淆的现象，使得划分不到位。

5 结论

本文在定义边界网格梯度评价指标的基础上，提出了改进的TOPSIS熵权损伤图像划分评价方法，建立了完整的机体损伤区域划分评价方法。通过实例图像的验证和分析，由验证结果可知：通过对划分图像的网格化处理，以损伤邻接区域的特征变化为依据，有效的分段度量了边界的划分质量；通过对负理想解进行修正，消除了边界变化对评价结果的影响，对不同划分图像的评价结果符合视觉感知，符合机体损伤区域的划分要求。

参考文献:

- [1] 蔡舒好, 师利中. 一种改进谱聚类的机体损伤图像过渡区提取方法[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2016, 28(10): 1732-1739.
Cai Shuyao, Shi Lizhong. Airframe Damage Image Transition Region Extraction Method Based on Improved Spectral Clustering[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2016, 28(10): 1732-1739.
- [2] 钱晓华, 郭树旭, 李雪妍. 基于图像理解视角的分割全局平价算法[J]. 电子学报, 2012, 10(10): 1989-1995.
Qian Xiaohua, Guo Shuxu, Li Xueyan. Image Understanding Based Global Evaluation Algorithm for Segmentation[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 10(10): 1989-1995.
- [3] 吴一全, 王凯, 曹鹏祥. 蜂群优化的二维非对称 Tsallis 交叉熵图像阈值选取[J]. 智能系统学报, 2015, 10(1): 103-112.
Wu Yiquan, Wang Kai, Cao Pengxiang. Two-Dimensional Asymmetric Tsallis cross Entropy Image Threshold Selection Using Bee Colony Optimization[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2015, 10(1): 103-112.
- [4] 史普花. 基于CT图像的4种肺实质分割算法性能比较研究[D]. 泰安: 泰山医学院, 2009.
Shi Puhua. Performance Comparative of 4 Lung Parenchyma Segmentation Algorithms Based on CT

- Images[D]. Taian: Taishan Medical University, 2009.
- [5] 闫超德, 赵艳坤, 郭王, 等. 基于 Delaunay 三角网的邻近区域测度及其应用[J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(2): 125-126.
- Yan C D, Zhao Y K, Guo W, et al. Neighborhood Measure and Its Application Based on Delaunay Triangulation[J]. Geography and Geo-Information Science, 2013, 29(2): 125-126.
- [6] Chen H C, Wang S J. The Use of Visible Color Difference in The Quantitative Evaluation of Color Image Segmentation [J]. IEEE International Conference on Acoustics (S1520-6149), 2004, 3(III): 593-596.
- [7] D Coquin. Quantitative Evaluation of Color Image Segmentation Results using Fuzzy Neural Network[J]. International Symposium on Optomechatronic Technologies (S0277-786X), 2008, 7266(G): 1-8.
- [8] Zhang Xian, Ming Dongping. Geo-application Oriented Evaluations of Remote Sensing Image Segmentation[J]. Cehui Xuebao/Acta Geodaetica et Cartographica Sinica(S1001-1595), 2015, 44(S1): 108-116.
- [9] Ming D P, Wang Q, Luo J, et al. Evaluation of High Spatial Resolution Remote Sensing Image Segmentation Algorithms[C]// International Congress on Image and Signal Processing. IEEE, 2009: 1-5.
- [10] Mangalraj P, Singala R, Agrawal A. Evaluation schema for SAR image Segmentation based on Swarm Optimization in Neutrosophic domain[C]//IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology. IEEE, 2015: 227-348.
- [11] Gavet Yann, Fernandes Mathieu, Debayle Johan, et al. Dissimilarity Criteria and Their Comparison for Quantitative Evaluation of Image Segmentation: Application to Human Retina Vessels[J]. Machine Vision and Applications(S0932-8092), 2014, 25(8): 1953-1966.
- [12] 陈庆为. 基于灰色理论的木板材表面缺陷图像分割质量评价研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- Chen Qingwei. Quality Evaluation of Wood Surface Defects Image Segmentation based on Grey Theory[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2014.
- [13] 盛韩伟, 戴培山, 刘智航, 等. 基于拓扑结构的眼底图像分割评价新方法[J]. 生物医学工程学杂志, 2015, 32(5): 1100-1105.
- Sheng Hanwei, Dai Peishan, Liu Zhihang, et al. New Approach of Image Segmentation Ecaluation Based on Topology Structure[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2015, 32(5): 1100-1105.
- [14] 陈跃. 钢板表面缺陷图像分割效果评价方法[J]. 制造业自动化, 2015, 37(18): 66-68, 85.
- Chen Yue. Segmentation Results Evaluation Method of Steel Plate Surface Defects Images[J]. Manufacturing Automation, 2015, 37(18): 66-68, 85.
- [15] 蔡舒好, 师利中. 飞机机体损伤区域的快速划分方法[J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(3): 737-741.
- CAI Shuyu, SHI Lizhong. Research On Airframe Damage Region Rapid Division Method[J]. Computer Engineering and Design, 2016, 37(3): 737-741.

《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”证书

由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心, 发布了 2017 版《中国学术期刊国际引证年报》, 《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”。

《年报》(2017 版)采用的统计源期刊为 20192 种, 涵盖 WoS 收录的 SCI 期刊 8874 种、SSCI 和 A&HCI 期刊 4645 种, ESCI 期刊 5578 种; 增补期刊 1762 种。参照中外文学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标, 计算期刊影响力指数(CI), 对国内 6210 种学术期刊排序, 遴选了人文社科、自然科学与工程技术两个类别的 TOP10% 为国际影响力品牌学术期刊。TOP5% 以内的期刊为“最具国际影响力学术期刊”、TOP5-10% 之间的为“国际影响力优秀学术期刊”。

<http://www.china-simulation.com>

• 2735 •