

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2210982

基于模糊评价的融合权重污染度评估方法*

董慧芬 薛寒冰

(中国民航大学电子信息与自动化学院 天津 300300)

摘要: 为准确地评估助航灯具发光口污染状况,本文考虑不同污染物对清洗难度的影响,提出基于模糊评价的融合权重污染度评估方法。使用逆差距作为污染物区分标准,对图像分块以实现一幅图像中不同污染物的区分;通过模糊评价融合主观和客观权重,并据此确定污染度评估细则;通过清洗实验对本评估方法进行验证。按本文评估等级进行清洗实验,清洗率达93%,证明本文所使用方法科学有效。面积法和熵值法至少分别会造成32%和29%的资源浪费。本文方法考虑污染物种类区分及污染主客观影响,评估结果更加科学准确。

关键词: 逆差距;熵值法;污染评估;模糊评价;权重融合

中图分类号: X502;V351.32;TP69 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Pollution grade evaluation by fusion weight based on fuzzy evaluation method

Dong Huifen Xue Hanbing

(College of Electronics Information and Automation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: To accurately assess pollution status of the surface of luminescent port for navigation-aid lamps, this paper considers the impact of different pollutants on the difficulty of cleaning and proposes a pollution grade assessment method based on fusion weight method by fuzzy evaluation. The homogeneity was used as the discrimination standard to distinguish different pollutants in the blocked image. Fusion of subjective and objective weights through fuzzy evaluation, according to which the calculation formula of pollution degree was determined. Cleaning experiment was conducted on polluted samples according to the pollution grade method of this paper, and the cleaning rate is 93%. And the area method and entropy method will cause at least 32% and 29% waste of resources respectively. The area method does not consider the different cleaning difficulties of different pollutants. The pollution degree evaluation method proposed in this paper can distinguish pollutants and consider the subjective and objective influence of pollution assessment, which means the evaluation results are more scientific and accurate.

Keywords: homogeneity; entropy method; pollution assessment; fuzzy evaluation; fusion weight

0 引言

航空安全是民航发展的第一要义。据国际民用航空组织统计,全球飞机失事事故超90%发生在起降阶段^[1],可以看出,跑道助航灯具对于保障飞机安全起着至关重要的作用。由于机轮降落时冲击力过大,航油污垢堆积等原因,灯具发光口难免受到污染,严重时影响飞行员的判断,威胁飞行安全。所以需要清除助航灯具发光口的污染,以保证起飞和着陆时的飞行安全。

目前的灯具清洗方式主要有人工清洗和人工加半自动

化设备清洗两种。这些清洗方式中,清洗前后对于发光口的污染程度一般由工作人员靠人眼视觉主观判断,长时间频繁查看光源造成眼睛疲劳从而致使错判误判灯具清洗效果,影响飞行安全。现在已有关于全自动清洗设备的报道^[2],干冰清洗^[3-4]和水射流清洗^[5-6]都有相关研究,这些研究对于清洗结果的评估多为简单地使用污斑面积占比判定污染程度,较为粗略。其他关于清洗效果方面的研究,如使用显微镜^[7]或视频显微^[8]直接对样本进行检测,或使用图像信息处理^[9]确定清洗效果以及研究单个变量对清洗效果影响等^[10-12],结果准确但局限性较大,难以应用。

收稿日期:2022-08-06

* 基金项目:天津市自然科学基金(17JCYBJC18200)、中国交通教育研究会交通教育科学研究课题(JTYB20-138)、中国民航大学试验技术创新基金(2020CXJJ92)项目资助

航空航天领域,如:中国民航大学的王渗^[13]研究了灯具清洗工艺的控制与评价,在污染度评估环节使用多种评价方法相结合,较单一方法准确度有提升,但权重确定不合理且未考虑不同污染物清洗难度不同,并且其在清洗效果评估环节实质上是对发光效果评估,易受灯具本身影响;厦门理工学院的胡卫卫^[14]研究了车载机场跑道灯干粉清洗系统,所使用的清洗评估方法是根据所清洗干净的面积占发光口总面积的比例来判定是否合格,方法简单但粗略,评估结果不准确。还有学者进行过污染胶层去除机理^[15],新型清洗剂的研制^[16]以及清洗参数控制^[17-19]的研究等,都均未系统地考虑污染分级问题。除了机场跑道灯清洗的研究外,关于助航灯具的研究主要集中在光强检测方面^[20-22],使用光强检测步骤繁琐^[23-25],易受外部条件影响^[26],且当灯具不能正常工作,发光强度达不到要求时也会被误认为污染物覆盖发光口,所以光强检测的方法并不适用于污染度评估。

虽然关于助航灯具自动清洗设备的研究在逐渐增多,但是关于助航灯具发光口污染度等级评估的研究较少,对于发光口的污染度判断不够科学严谨,有时错判误判,造成不必要的资源浪费。目前图像分割方法中阈值法^[27-28]和边缘检测法^[29]使用较为广泛,但这些方法无法区分物体种类;而一般图像识别与分类^[30-32]的方法无法兼顾污染物所占比例。为此,本文提出一种兼顾污染物种类与占比的污染度评估方法,考虑不同污染物对清洗难度的影响,根据改进的权重赋值方法确定污染物权重,对图像网格划分以得到不同污染物所占比例并打分,根据分数高低确定污染等级,以达到科学清洗的目的,同时更加节约资源。

1 污染度评估方法

助航灯具发光口污染一般有以下3种:1)飞机轮胎起降时压力温度大,胎面橡胶裂解摩擦附着在助航灯具发光口;2)飞机的紧急抛油处理抛洒在助航灯具表面的航油;3)由于风沙雾霾及除雪防滑所抛洒但未处理干净的盐类粘结于灯口。

本文所用清洗方式为干冰清洗,以上所提到的污染中灰尘易于清洗,即使是不加干冰材料的空喷清洗也可以除掉,在本文中不予考虑;盐类凝结于发光口的情况也极少发生。所以,本文主要研究以区分胶痕与油污为手段的污染度评估方法。

1.1 确定区分指标

本文根据不同污染物的特征值不同,实现污染物种类的区分。胶痕和油污的不同一般体现在纹理方面。可以使用灰度共生矩阵计算图像的对比度、逆差距、能量、熵等统计量用于描述纹理。在对上述统计量进行统计分析之后,选取可用的指标区分油污与胶痕。

一幅 $M \times N$ 大小数字图像的灰度均值的表达式定义为式(1)所示。

$$mean = \frac{\sum_{k=0}^{L-1} z_k}{M \times N} \quad (1)$$

其中, z_k 表示像素 k 的灰度值, $k = 0, 1, \dots, L-1$, $L = M \times N$ 。

在区分每块分割图像中的污染是油污或胶痕之前,先根据每块图像的灰度均值判断该图像中是否有污染,有污染则进行下一步区分,没有则跳过。

对比度反映灰度变化的多少,式(2)为对比度的表达式:

$$cov = \sum_i \sum_j (i-j)^2 p(i, j) \quad (2)$$

其中, i, j 为灰度值, $p(i, j)$ 为一个灰度为 i 的像素与一个灰度为 j 的像素对在所有像素对中出现的概率。

能量反映纹理变化是否均匀规则,式(3)为能量的表达式:

$$ASM = \sum_i \sum_j p(i, j)^2 \quad (3)$$

熵是对灰度分布随机性的度量,式(4)为熵的表达式:

$$ENT = - \sum_i \sum_j p(i, j) \log(p(i, j)) \quad (4)$$

逆差距反映纹理分布的均匀程度,是其规律性的表征,式(5)为逆差距的表达式:

$$IDM = \sum_i \sum_j \frac{p(i, j)}{1 + (i-j)^2} \quad (5)$$

方差体现数据的离散程度,式(6)方差的表达式:

$$\sigma^2 = \sum_{k=0}^{L-1} (A_k - \bar{A}_k)^2 p(A_k) \quad (6)$$

其中, A_k 代表相关变量的值, $p(A_k)$ 表示取到此值的概率。

图1是取油污与胶痕的对比度、能量、熵、逆差距数据各50个的数据统计图。从图中可以看出油污与胶痕的能量与熵的数值散点图绝大部分混在一起,难以区分;对比度数据散点图数据部分重合,仍难以区分;逆差距数据的散点图中,油污与胶痕数据很少重合,即数据表明逆差距对二者的区分效果较好,所以本文选用逆差距作为污染物的区分特征。

在本文中,方差作为所使用区分指标的稳定性度量值。经统计分析验证,图像灰度方差小于 2×10^{-3} ,且灰度方差与均值的比值约为0.06;逆差距方差约为 2×10^{-4} ,说明所选用的区分指标稳定性良好,可以使用。

1.2 污染物权重确定

不同污染物特性相差较大,清洗难度不同,为了准确地对污染度评估,需要确定各污染物的权重。一般确定权重的方法有两类:主观赋值法根据专家经验确定权重大小;客观赋值法是用实验或统计的方法,判断出目标之间的差异性,并据此确定权重。但客观赋值法一般由严格的数学意义得到,往往会忽视决策者的主观意图,所以本文首先使用客观赋值法的熵值法确定污染物权重,再结合主观评分与模糊评价对权重值进行调整。

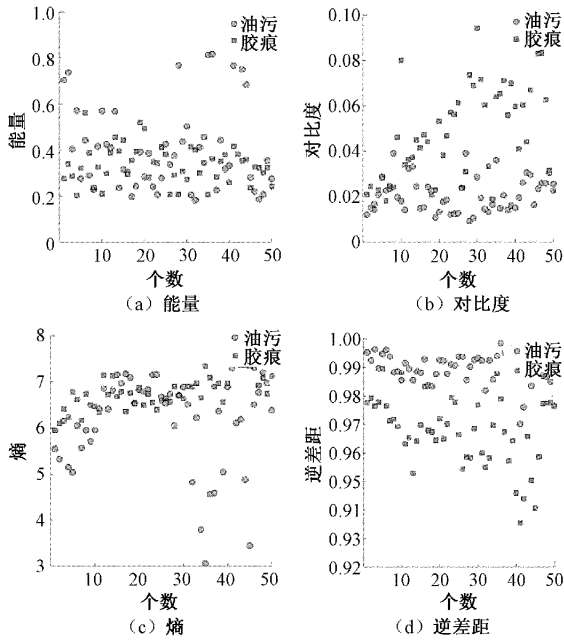


图 1 油污与胶痕特征统计

1) 熵值法

首先确定 A 个样本的 B 类指标, 则 x'_{mn} 为第 m 个样本的第 n 个指标的值, $m = 1, 2, \dots, A; n = 1, 2, \dots, B$ 。

由于各项指标计量单位不同, 故需对各项指标的数据标准化, 取其相对值, 一般标准化的方法如式(7)所示。

$$x_{mn} = \frac{x'_{mn} - \min\{x'_{1n}, x'_{2n}, \dots, x'_{An}\}}{\max\{x'_{1n}, x'_{2n}, \dots, x'_{An}\} - \min\{x'_{1n}, x'_{2n}, \dots, x'_{An}\}} \quad (7)$$

其中, $\max\{x'_{1n}, x'_{2n}, \dots, x'_{An}\}$ 和 $\min\{x'_{1n}, x'_{2n}, \dots, x'_{An}\}$ 分别为样本中第 n 个指标的最大值和最小值, x_{mn} 为标准化处理后的值。

计算各指标下每个样本的权重 G_{mn} , 如式(8)所示。

$$G_{mn} = \frac{x_{mn}}{\sum_{m=1}^A x_{mn}} \quad (8)$$

之后计算第 n 项指标的熵 e_n , 如式(9)所示。

$$e_n = -\frac{\sum_{m=1}^A x_{mn}}{\ln(k)} \quad (9)$$

其中, k 为样本个数。

计算评价指标权重 ω_n , 如式(10)所示。

$$\omega_n = \frac{1 - e_n}{\sum_{n=1}^B (1 - e_n)} \quad (10)$$

最后每项指标 x_{mn} 与其对应权重 ω_n 相乘得到样本综合得分 Q_m , 如式(11)所示。

$$Q_m = \sum_{n=1}^B \omega_n x_{mn} \quad (11)$$

本文的样本为油污与胶痕, 与其清洗难度评价有关的

指标有: 清洗流量、清洗时长和清洗压力, 具体数值如表 1 所示。

表 1 清洗相关指标

样本	清洗流量/ (L·min ⁻¹)	清洗时长/ s	清洗压力/ MPa
油污	0.3	3	0.7
胶痕	0.7	3	0.7

污染物试片使用尺寸为 5 cm×3 cm, 厚度 3 mm 的普通玻璃(文中出现的所有试片均为此规格), 污染物使用墨水模拟油污, 胶痕制作使用飞机轮胎的原材料橡胶模拟, 如图 2 所示。清洗实验设备使用干冰清洗机, 干冰颗粒大小为 3 mm。



(a) 油污 (b) 胶痕

图 2 污染试片

由于清洗流量最大为 1.3 L/min, 最小为 0.3 L/min, 清洗压力在 0.6~0.8 MPa, 所以归一化时将清洗流量数值在 0.3~1.3 之间归一化; 清洗压力数值在 0.6~0.8 之间归一化; 清洗率在 0~1 之间归一化。计算时的输入矩阵 X 为式(12)所示。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} \\ x_{41} & x_{42} & x_{43} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.1 & 1 & 0.6 \\ 0.3 & 3 & 0.7 \\ 0.7 & 3 & 0.7 \\ 0.3 & 5 & 0.8 \end{bmatrix} \quad (12)$$

最后熵值法计算出在清洗难度上, 胶痕所占比重为 0.68, 油污所占比重为 0.32。

2) 权重调整

本文结合主观评分与模糊评价对权重值进行调整。由于指标数较少, 所以采用一级模糊综合评判方法。

首先确定与清洗难度有关的指标集 U , 如式(13)所示。

$$U = \{u_1, u_2, u_3\} \quad (13)$$

其中, u_1, u_2, u_3 分别是清洗时长, 流量与压力。

清洗难度 V 的描述如式(14)所示。

$$V = \{1, 0.8, 0.4, 0\} \quad (14)$$

其中, V 中的值的大小表示对该指标对清洗难度的影响程度, 1 表示影响程度最大, 0 表示最小。

各指标的权重确定取式(10)所得结果: 清洗流量, 时长与压力的权重分别为: 0.532, 0.234 和 0.234, 记为式(15)所示。

$$C = [0.234, 0.532, 0.234] \quad (15)$$

模糊判断矩阵的确定由专家主观根据 V 对 U 中的指

标评分得到,油污与胶痕的模糊判断矩阵 R_1, R_2 分别如式(16)与(17)所示。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.5 & 0.4 \\ 0 & 0.05 & 0.4 & 0.45 \\ 0 & 0.25 & 0.45 & 0.3 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.65 & 0.3 & 0.05 & 0 \\ 0.75 & 0.15 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.05 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

根据从 U 到 V 的模糊关系 $R = (r_{ij})_{n \times m}$, 得到式(18)的模糊变换:

$$T_R: F(U) \rightarrow F(V) \quad (18)$$

由此变换,可得到评判结果如式(19)所示。

$$D = CR \quad (19)$$

D 中元素表示对集合 V 中元素的隶属度,将 V 记作矩阵形式 V_1 , 则式(20)中, E 表示污染物的清洗难度:

$$E = DV_1^T = D \begin{bmatrix} 1 \\ 0.8 \\ 0.4 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

最终将得到的胶痕与油污对于清洗难度的数值归一化,得到的结果分别为 0.78 和 0.22。

1.3 污染度等级划分

本文根据胶痕和油污占比不同对试片进行污染度等级划分,以此来定义试片表面的洁净程度。表 2 划分了 5 个污染度数值区间,以对应不同的污染等级, S 的值越大,污染度就高。

表 2 污染度等级划分

胶痕所占比例 (S_1)	油污所占比例 (S_2)	污染度分数 (S)	污染等级
0~0.2	0~0.4	0~0.2	I
0.2~0.4	0.4~0.9	0.2~0.4	II
0.4~0.6	0.9~1.0	0.4~0.6	III
0.6~0.8	—	0.6~0.8	IV
0.8~1.0	—	0.8~1.0	V

由于胶痕与油污权重分别为 0.78 与 0.22, 所以 S 的计算方法定义为式(21)所示。

$$S = \frac{S_1 \times 0.78 + S_2 \times 0.22}{0.78} \quad (21)$$

式中: S_1, S_2 分别为胶痕与油污所占试片面积的比例,取值均在 0~1 之间;为了将 S 归一化,把分母定为 0.78,和胶痕权重一致。当试片表面完全被胶痕覆盖时, S_1 取 1, 此时 S 为 1, 污染度分数最高。

2 污染度评估步骤

图 3 所示为污染评估流程,下面给出具体步骤。

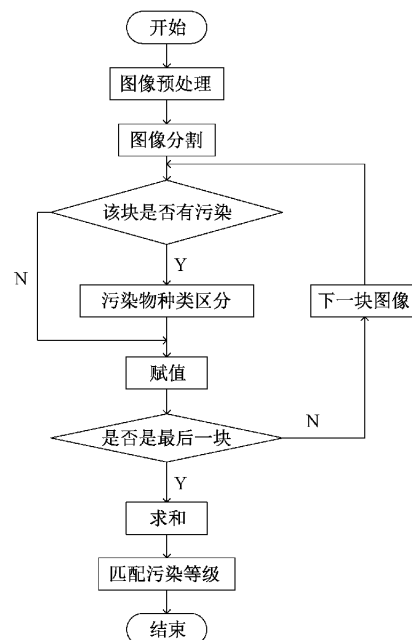


图 3 污染度评估流程

2.1 图像预处理

图像预处理一般是为排除干扰进行滤波,不同的滤波方法效果不同,如图 4 是两种滤波方法对比。

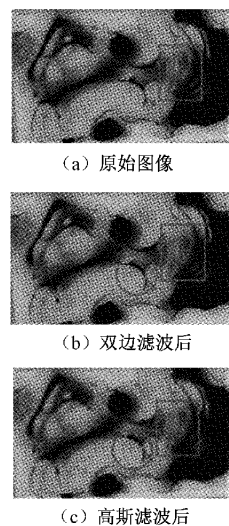


图 4 滤波方法对比

影响高斯滤波效果的只有图像的位置信息,即:高斯滤波只关注距离。而双边滤波同时考虑距离和像素值。由图 4 可以看出,两种滤波方法都对图像滤波使图像看起来更平滑(如图 4 中方框区域),但双边滤波的边界部分明显更清晰(如图 4 中圆形区域),即双边滤波保留了更多边界信息。本文所要区分的对象主要是根据其纹理特征进行区分,所以在图像预处理环节选择了更能保留图像纹理信息的双边滤波。

2.2 图像分割

确定所要划分的块的大小,本文中 将原图像的长和宽

各 8 等分,得到均等大小的 64 小块图像。本实验中所使用的试片尺寸为 5 cm×3 cm,为了便于划分,将图片的尺寸归一化为 5 120×3 072,之后把图像的长和宽各八等分,得到相同的尺寸为 640×384 pixels 的 64 小块,如图 5 所示。对于其他尺寸的助航灯具发光口或其他图像,可以根据情况不同将图像分为需要的大小。

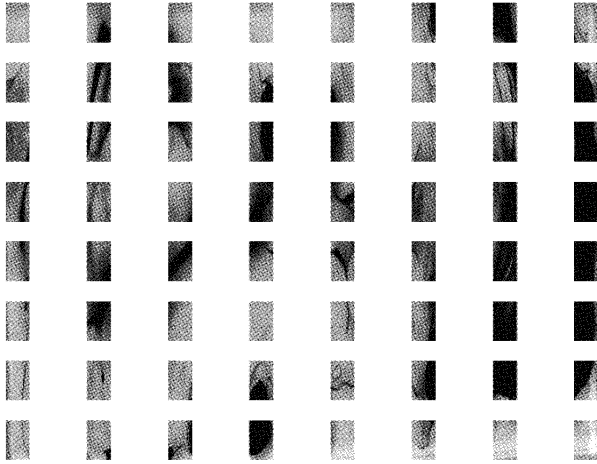


图 5 64 等分后的图像

2.3 污染判断

首先根据灰度判断该小块中是否有污染物,本文中,经统计得到的结果,将有无污染物的判断阈值设定为 155,小块图像灰度值高于 155 时,判断该块图像为无污染物,并给此小块计分为 0;灰度值低于 155 时判定为该块图像有污染物,需要进一步判断污染物种类。

在判断过程中会存在错判情况,如图 6 中方框标出的小块图像,有污染被错判为无污染并赋值为 0。将总的图像数目记为 P ,错判的图像数记为 P_1 ,则判断的准确率 $CorrectP$ 的计算公式为式(22)所示。

$$CorrectP = \frac{P - P_1}{P} \times 100\% \quad (22)$$

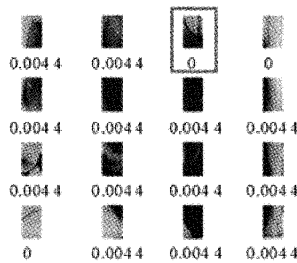


图 6 被错判的图像示例

统计数据得到在 1 664 块图像中有 115 次错判,则得到该方法判断小块图像是否有污染物的正确率为 93%。

2.4 污染物区分

对判定为有污染的小块图像中的污染物种类进行区分,本文所使用的特征值是基于灰度共生矩阵提取的图像逆差距特征。在 1.2 的区分指标中,已对数据的有效性进

行了说明。图 7 是根据文本数据所作油污与胶痕逆差距的正态分布图,但在数值上,逆差距的值不会大于 1,所以直接使用两正态分布图的交点作为区分阈值并不合适。

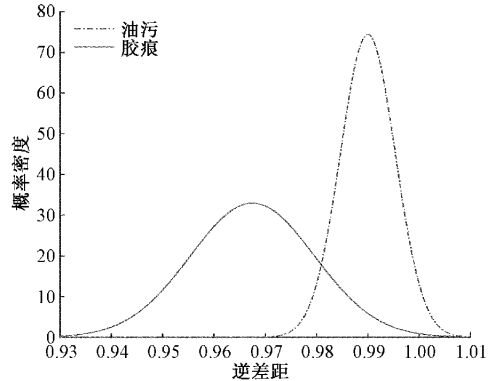


图 7 油污与胶痕的逆差距正态分布

本文取二者均值之和的平均数作为区分两种污染物的阈值,在统计中所涉及到的 1 106 个数据范围内,区分的正确率为 81.5%。

2.5 污染度评估

根据设定的阈值判断每小块图像是油污还是胶痕后,胶痕计分 1/64,油污计分 1/64×(0.22/0.78),计算图像污染度分数的总得分,由 64 小块图像的污染度分数相加得到总的污染度分数,根据总分 S 与表 2 划分的污染度分数相匹配,得到相应的污染等级。

3 验证分析

3.1 本文所用方法进行污染度评估

首先对图片预处理,再将预处理后的图片分割成均等大小,对分割后的每小块进行处理。使用灰度数据判断本小块图像是否被污染,对有污染物的图像再进行种类区分,之后计算总的污染度分数与污染等级相匹配。

下面给出油污与胶痕各一个示例:图 8 和 9 分别是油污和胶痕图片,8×8 的逆差距数值与 8×8 的分割图像一一对应。判断为胶痕的小块赋值 1/64,判断为油污的小块赋值为 1/64×0.28。

图 8 所示的油污图片,判断出其中有污染物的有 32 块,全部被判断为油污,没有误判为胶痕的块,根据式(21)计算其污染度 $S = 0.0044 \times 32 = 0.1408$,根据表 2 匹配为一级污染。

图 9 所示的胶痕图片,其中有污染物的有 45 块,被判断为胶痕的有 43 块,误判为油污的有 2 块,根据式(21)计算其污染度 $S = 0.0156 \times 43 + 0.0044 \times 2 = 0.6796$,根据表 2 匹配为四级污染。

3.2 根据面积划分的污染度

使用已知是单一污染(油污或胶痕)的试片,除了在油污情况下将面积占比乘以 0.28 以外,其他情况只根据覆盖面积占比的数值对其污染度进行评估。实际上,当一块区

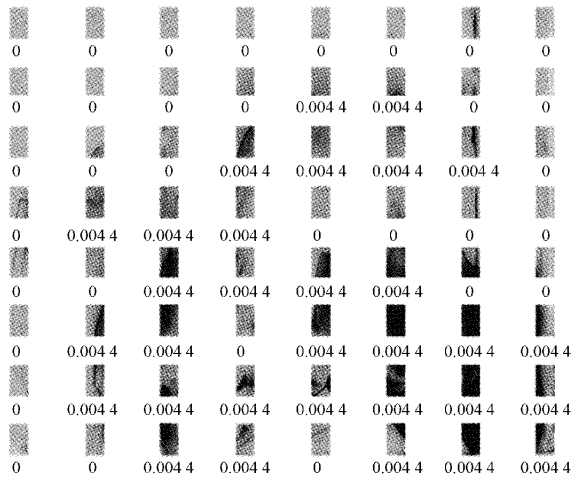


图8 油污分割后图片及逆差距

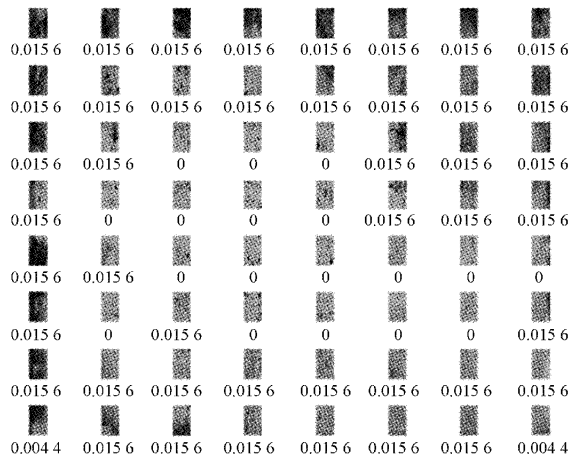


图9 胶痕分割后图片及逆差距

域大部分被污染物覆盖时,我们就认为该区域全是污染物,所以对试片的二值化图像进行形态学处理,以使实际处理结果更符合直观感受,具体如图10、11所示。

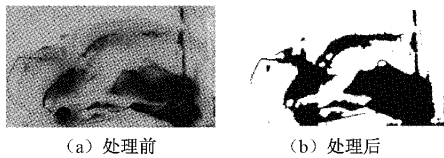


图10 油污图片形态学处理前后

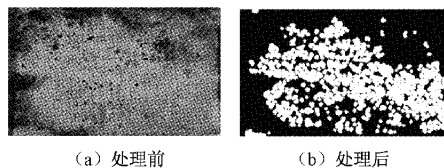


图11 油污图片形态学处理前后

面积法得到的图像面积即为其污染度分数。图10与图8使用同一张油污图片,其面积占比为0.3122,匹配为二级污染;图11与图9使用同一张胶痕图片,其面积为0.6143,匹配为三级污染。

3.3 清洗实验

实验设备包括干冰清洗机、螺杆空压机、冷冻式压缩空气干燥机 and 储气罐,如图12所示,喷枪固定在机械臂上,控制机械臂进行清洗。空压机额定工作压力设定为0.7 MPa,即压缩空气至0.7 MPa,之后将压缩的空气送往储气罐,再由空气干燥机干燥后送至干冰清洗机作业,所使用清洗材料为3 mm干冰颗粒。喷枪末端至清洗试片的距离是10 cm,喷枪与试片成45°角。清洗等级与干冰流量在表3中给出。

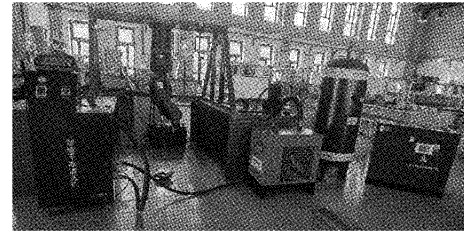


图12 清洗实验设备

表3 清洗等级与干冰流量 (L·min⁻¹)

清洗等级	I	II	III	IV	V
干冰流量	0.3	0.5	0.7	1.1	1.3

图13是部分污染试片的清洗前后对比图,表4是对应的清洗实验数据表,表4编号与图13中的试片编号一一对应。本实验使用清洗率 r 来描述清洗效果,清洗率是指清洗掉的污染物占比与清洗前污染物占比的比值,其表达是为式(23)所示。

$$r = \frac{E_b - E_a}{E_b} \times 100\% \quad (23)$$

式中: E_b 为清洗前污染物面积占比, E_a 为清洗后污染物面积占比。

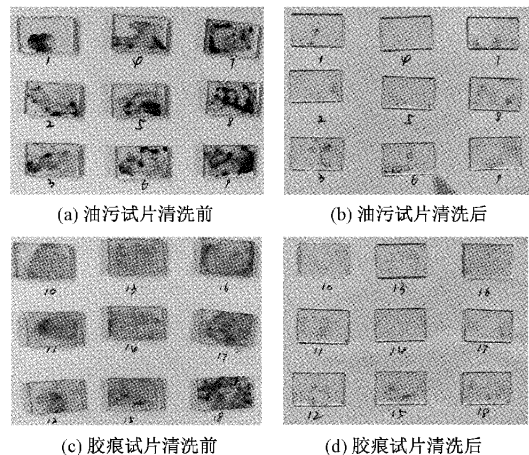


图13 污染试片清洗前后

清洗等级与本文污染评估所得污染等级相匹配,污染试片平均清洗效率为93%,结果表明:本文污染度评估与

实际污染程度相符。按照熵值法进行评估的结果有 72% 的情况与本文方法有差别且均是评价结果偏高,在相同清洗效果下平均会浪费 29% 的清洗资源。面积法的评估结果有 58% 的情况与本文方法有差别;其中,有 27% 的情况

污染等级评估结果比本文方法偏高,在相同的清洗效果下平均会浪费 32% 的清洗资源;有 31% 的情况污染等级评价结果比本文方法偏低,清洗效果不能满足要求,需要二次清洗,所需清洗时间延长,工作效率低。

表 4 部分污染试片清洗实验数据统计表

试片编号	污染度分数			污染度等级			清洗等级	清洗率/ %
	本文方法	熵值法	面积法	本文方法	熵值法	面积法		
1	0.118 3	0.220 3	0.215 3	I	II	II	I	83
2	0.176 3	0.336 3	0.206 2	I	II	II	I	91
3	0.198 7	0.382 3	0.253 3	I	II	II	I	86
4	0.221 0	0.445 4	0.302 0	II	III	II	II	98
5	0.214 3	0.431 9	0.312 2	II	III	II	II	98
6	0.323 7	0.561 7	0.325 4	II	III	II	II	93
7	0.346 0	0.652 0	0.443 7	II	IV	III	II	96
8	0.332 6	0.625 0	0.463 2	II	IV	III	II	95
9	0.352 7	0.692 7	0.551 7	II	IV	III	II	96
10	0.395 1	0.415 5	0.346 6	II	III	II	II	99
11	0.500 0	0.547 6	0.463 0	III	III	III	III	92
12	0.330 0	0.350 4	0.281 2	II	III	II	II	85
13	0.535 7	0.603 7	0.391 1	III	IV	II	III	91
14	0.491 1	0.545 5	0.379 2	III	III	II	III	97
15	0.763 4	0.777 0	0.594 1	IV	IV	III	IV	89
16	0.636 2	0.711 0	0.535 8	IV	IV	III	IV	88
17	0.738 8	0.806 8	0.682 5	IV	V	IV	IV	98
18	0.906 3	0.953 9	0.762 1	V	V	IV	V	97

4 结 论

本文使用逆差距作为油污与胶痕区分的特征值,使用改进后的熵值法确定了污染物权重,对污染图像分块以实现同一张图像中不同污染物的区分,最后通过清洗实验得到如下结论:

现有评估方法(面积法)仅使用面积评估而忽略了不同污染物清洗难度不同,对油污污染评价结果偏高,导致清洗资源浪费;对胶痕污染评价结果偏低,不能清洗干净。面积法对于污染程度的评估不准确,工作效率低,浪费清洗资源。由熵值法直接得到的权重值评估污染等级时,评价结果往往偏高,浪费清洗资源。本文在熵值法的基础上引入主观评分,通过模糊综合评判方法对权重值进行调整,按此权重值进行污染等级评估,经清洗实验验证清洗率为 93%,即本方法合理有效。对污染图像进行网格划分,简单地区分出一张图像上的污染物种类。

本文方法对于污染度评估准确,节省时间提高效率,节约清洗资源。

参考文献

- [1] 李博,郑宇龙,刘常青. 机场救援消防车底盘系统研究[J]. 汽车实用技术,2010(1):7-11.
- [2] NIU G C, YUAN J, LIU Y X, et al. Design of cleaning system for aviation embedded aeronautical ground lights[J]. IEEE International Symposium on & Instrumentation Measurement, Sensor Network and Automation, 2014: 2144-2148.
- [3] LI Z Z, JIANG F, ZHENG J J, et al. The development and the field application of the on-line dry ice washing vehicle system[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 615:58-65.
- [4] YIN K, FANG J, ZHANG M, et al. Study on multi-influence factors of dry ice cleaning effect based on orthogonal test method[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 677(2):022084.
- [5] 刘玲,甘俊丽,张世华,等. 超声波清洗机清洗效果监测方法及影响因素[J]. 中国消毒学杂志,2016,33(6): 603-604.

- [6] XIONG S, JIA X, WU S, et al. Parameter optimization and effect analysis of low-pressure abrasive water jet (LPAWJ) for paint removal of remanufacturing cleaning [J]. Sustainability, 2021, 13(5): 2900.
- [7] YANG Z, YI S J, ZHAO S, et al. Influence of the inlet pressure on impulse characteristics of aluminum samples [J]. Surface Review and Letters, 2021, 28(11): 2150110.
- [8] 张力程,赵静,赵鹏,等. 故宫养心殿燕喜堂琉璃构件表面污染物的清洗实验初步研究[J]. 文物保护与考古科学, 2020, 32(5): 98-104.
- [9] 王宝民,吴银镜,赵正哲,等. 建筑装饰材料表面清洗效果评估方法研究[J]. 低温建筑技术, 2018, 40(1): 157-160.
- [10] PIEPIORKA-STEPUK J, DIAKUN J, STERCZYNSKA M, et al. Mathematical modeling and analysis of the interaction of parameters in the Clean-in-Place procedure during the pre-rinsing stage[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 297(C2):126484.
- [11] MENG Z X, MIAO D H, WANG Z M, et al. Research on water trajectory to a railway tanker based on high pressure water jet[J]. Advanced Materials Research, 2013, 2534(756-759).
- [12] 彭程. 石英玻璃表面激光清洗关键技术研究[D]. 天津:河北工业大学, 2020.
- [13] 王渗. 嵌入式助航灯具清洗工艺的控制与评价[D]. 天津:中国民航大学, 2020.
- [14] 胡卫卫. 车载机场跑道指引灯干粉清洗系统的开发[D]. 厦门:厦门理工学院, 2017.
- [15] 程彬彬,于之靖. 嵌入式机场助航灯具污染胶层去除机理[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(2): 86-90.
- [16] 王雷,刘旭亮,岳强,等. 航天发射塔回转轴承新型清洗剂研制[J]. 南京航空航天大学学报, 2019, 51(S1): 113-117.
- [17] 敖良忠,易相兵,姜祺. 某型航空发动机压气机叶片干冰清洗试验研究[J]. 机械与电子, 2021, 39(11): 15-18, 24.
- [18] 王幸. 嵌入式助航灯干粉清洗过程研究及参数控制[D]. 厦门:厦门理工学院, 2018.
- [19] 高庆吉,王文周,王渗,等. 嵌入式助航灯具清洗过程的参数优化[J]. 中国民航大学学报, 2019, 37(2): 49-52.
- [20] 贾立山,王立文. 机场助航灯光强动态检测仿真系统的实现 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(9): 1768-1771, 1776.
- [21] 侯启真,马秉正. 基于误差反馈的 LED 阵列近场光强检测[J]. 计量学报, 2021, 42(8): 993-999.
- [22] ZHOU, HUA Y. Design of light intensity detection system based on STM32[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 462-463:104-107.
- [23] ISHIZAKI T, MATSUDA Y, MORITA T, et al. Cleaning effect by fine bubbles generated with gas-liquid share method [J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 2018, 51(2):170-174.
- [24] GAO X I, ZHAI C R, ZHANG Y J. Design of weak light detection circuit based on logarithmic amplifier[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 20 Feb, 2020, 43(1):210-214.
- [25] 吴朝选. 机外照明灯具夜视(NIVS)辐射强度测试技术研究[J]. 中国测试, 2011, 37(4): 89-92.
- [26] 吴恒宇,段海燕,陈欣,等. 光强测试系统及其不确定度分析[J]. 影像科学与光化学, 2018, 36(3): 219-225.
- [27] 潘峰,孙红霞. 基于蝗虫算法的图像多阈值分割方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(1): 149-155.
- [28] 谢国民,刘宽. 基于形态学滤波和 OTSU 的串联故障电弧识别方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(5): 46-56.
- [29] 吴一全,邹宇,刘忠林. 基于 Franklin 矩的亚像素级图像边缘检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(5): 221-229.
- [30] 唐曦煜. 面向军事图像识别网络 FDRCN 设计及实现[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(12): 119-124.
- [31] 林楨哲,王桂棠,陈建强,等. 基于残差网络深度学习的肺部 CT 图像结节良恶性分类模型[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(3): 248-256.
- [32] 刘翠翠. 基于综合特征和多层感知器的图像分类[J]. 电子测量技术, 2019, 42(8): 74-77.

作者简介

董慧芬,副教授,主要研究方向为智能检测及机器人控制等。

E-mail: hfdong@cauc.edu.cn

薛寒冰,硕士研究生,主要研究方向为助航灯具清洗及污染评估等。

E-mail: 2357368619@qq.com