

## 基于 HOG 与 SVM 的航空发动机叶片的异常检测方法研究

孙绍罡

上海星河湾双语学校 上海

**【摘要】**可靠性和安全性是航空发动机的重要发展方向，而涡轮叶片是重要的航空发动机热端部件，有效的叶片诊断方法能够提前预警航空发动机的异常状态，降低维护成本，减少重大灾难发生的风险。本文基于 HOG 与 SVM，提出了一种航空发动机涡轮叶片异常检测的方法。首先，通过实验获取航空发动机叶片高温状态下的热成像图片。然后，通过 HOG 将航空发动机涡轮叶片的高温热成像图将进行梯度直方图处理，得到叶片热成像图片的低维特征向量。然后将特征向量输入 SVM 模型训练得到叶片异常检测分类器。最终，使用测试图片对异常检测分类器效果进行验证，在小样本情况下，能够达到 100% 的识别准确率。本文所提出的基于 HOG 与 SVM 的航空发动机叶片异常检测方法，为航空发动机故障诊断及涡轮叶片异常检测的智能化提供了参考。

**【关键词】**热成像；HOG；SVM；航空发动机涡轮叶片

**【收稿日期】**2023 年 11 月 17 日 **【出刊日期】**2023 年 12 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.ijme.20230027

### Research on anomaly detection method of aero engine blade based on HOG and SVM

Shaogang Sun

Shanghai Starriver Bilingual School, Shanghai

**【Abstract】** Reliability and safety are important development directions of aero engines, and turbine blades are important hot end components of aero engines. Effective blade diagnosis methods can warn of abnormal state of aero engines in advance, reduce maintenance costs, and reduce the risk of major disasters. In this paper, based on HOG and SVM, a method of aero engine turbine blade anomaly detection is proposed. Firstly, thermal imaging images of aero engine blades at high temperature were obtained through experiments. Then, the high temperature thermal image of aero engine turbine blade is processed by gradient histogram through HOG, and the low-dimensional feature vector of the thermal image is obtained. And then the feature vector is input into SVM model to train the blade anomaly detection classifier. Finally, the test images are used to verify the effect of the anomaly detection classifier, and the recognition accuracy rate can reach 100% in the case of small samples. The method of aero engine blade anomaly detection based on HOG and SVM proposed in this paper provides a reference for aero engine fault diagnosis and intelligent turbine blade anomaly detection.

**【Keywords】** Thermal imaging; HOG; SVM; Aeroengine turbine blade

### 引言

近年来，随着我国航空事业的发展，航空发动机的可靠性和安全性成为了重要的研究方向，有效的故障诊断系统可以确保发动机安全，降低维护成本，减少重大灾难发生的风险<sup>[1]</sup>。航空发动机是非线性强耦合系统，在实际运行中可能出现各类故障，其中涡轮叶片的退化是影响航空发动机安全运行的重要因素。为了保障航空发动机系统安全运行，

航空发动机涡轮叶片的异常检测成为了重要环节<sup>[2]</sup>。

在以往的研究中，宓为建<sup>[3]</sup>等基于红外热成像技术，对发动机特殊部位的温度场进行故障诊断，对自动、半自动实现故障检测的应用提供助力。尹玉等<sup>[4]</sup>基于热红外图像，在 Matlab 平台上对风力机叶片提取损伤特征，实现了风力机叶片损伤的自动识别与测量；张鹏等<sup>[5]</sup>基于修正热弹性应力分析，提出一种风机叶片热红外检测技术，可以对叶片表面进行

应力与损伤监测。但是他们的检测方法仅仅是对叶片进行温度监测，仍需要研究人员分析图像，并未通过人工智能算法这一方便快捷的手段自动识别分类。

本文在 Matlab 平台上，基于 HOG (Histogram of Oriented Gradients 方向梯度直方图) 与 SVM (Supported Vector Machine 支持向量机)，先对正常叶片、退化叶片图像进行 HOG 处理得到向量梯度直方图，然后再将训练集图片输入 SVM 训练得到分类器，最后将测试机图像上述如分类器进行方法效果的验证。

### 1 基于 HOG 与 SVM 的图像分类算法

本文结合了 HOG 与 SVM 提取图像特征并将其带入学习网络训练。下面是对 HOG 与 SVM 的训练过程作出说明。

#### 1.1 HOG 图像特征提取算法

HOG 图像特征提取算法在图像预处理过后，计算图像的梯度并绘制图像梯度直方图，从中得到图像 HOG 特征向量，下文将具体阐述 HOG 的具体原理<sup>[6]</sup>。

##### (1) 图像预处理

首先将图像裁剪缩放到合适的。在图像的处理中，选择 RGB 图以计算图像梯度，颜色图像分别对 RGB 通道进行计算选择其中最大的梯度作为最终的梯度即可。

##### (2) 计算图像梯度

直接使用一维的 *sober* 算子分别计算像素点的水平以及竖直方向的梯度。对于一个像素点  $I(x, y)$ ，其 8 个邻域为：

A0	A1	A2
A7	$I(x, y)$	A3
A6	A5	A4

图 1 像素点  $I(x, y)$  及其邻域示意图

其水平与竖直方向的梯度为：

$$G_x = A3 - A7 \tag{1}$$

$$G_y = A5 - A1 \tag{2}$$

$I(x, y)$  的最终梯度强度及梯度方向为：

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \tag{3}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad \theta = \tag{4}$$

##### (3) 计算梯度直方图

首先，利用上一步中计算得到图像中所有像素点的梯度强度以及方向，将所有像素划分为 *cell*，计算 *cell* 中的梯度数值；然后，在每个 *cell* 中计算梯度直方图，每个像素点包含梯度的强度和梯度方向两个值，统计 *cell* 中的值得到方向梯度数值；然后将 180 度的范围切分为 20 度的范围，利用插值的方式，将梯度强度映射到不同的梯度方向范围中，最终得到包含 9 个值的梯度直方图；最后，将 4 个 *cell* 组合为一个 *block*，将 *block* 中计算得到的梯度直方图拼接得到 36 维向量，作为此 *block* 的特征向量。

##### (4) 图像 HOG 特征向量

原始图像一共可以切分为多个 *block*，最终将所有 *block* 的特征向量进行拼接得到最终的特征向量，可以用于进行后续的图像分类以及检测任务。

#### 1.2 SVM 算法训练模型

得到了所有训练样本数据的特征数组和标签数组后，输入到 SVM 分类器中对正常和异常红外图片进行分类训练。

### 2 基于 HOG 与 SVM 的航空发动机叶片异常检测方法

1) 将热成像图像分为正常与不正常两种状态，并对应生成图像标签；

2) 分别读取正样本与负样本里每张图片的 RGB 三通道数值；

3) 对所有图片进行图像预处理，将图像尺寸调整为  $64 \times 64$  像素大小；

4) 对预处理后的图片进行 HOG 梯度直方特征计算，每张图片得到  $1764 \times 1$  维的特征向量；

5) 将所有的图片划分为训练集和测试集，75% 作为训练集，剩余 25% 作为测试集；

6) 将训练集输入到 SVM 模型中进行二分类器的训练，得到训练好的分类器；

7) 将测试集输入到训练好的分类器模型进行效果验证，输出测试结果。

叶片异常检测方法的流程如图 2 所示。

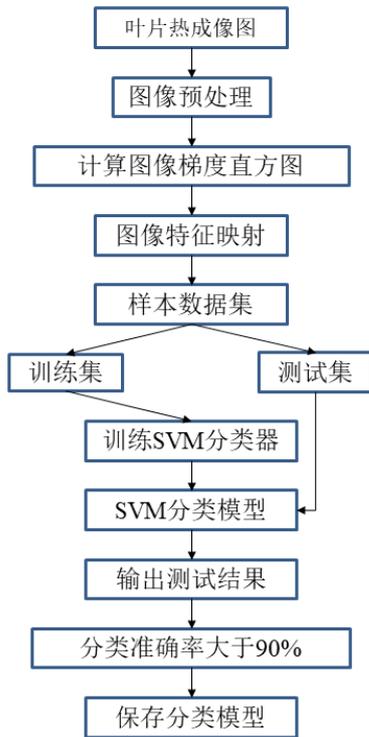


图 2 基于 HOG 和 SVM 的航空发动机叶片异常检测流程

### 3 实验研究

#### 3.1 实验数据的获取

本研究中用到的航空发动机叶片热成像图片，是在实验室环境下，使用火焰喷枪模拟涡轮环境温度，然后使用红外摄像机拍摄得到热成像图片。为了使叶片的热成像图片更接近真实运行的航空发动机，火焰温度设置为 1200℃。

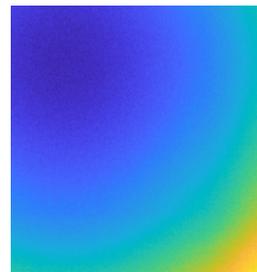
分别使用火焰对刚制备好的叶片和服役一段时间后的叶片进行灼烧，达到航空发动机运行时的涡轮温度环境，然后拍摄热成像图片，就得到了涡轮叶片两种不同状态下的热成像图，得到的图片如图 3 所示。

#### 3.2 实验结果

为了方便 HOG 绘制热成像图像的向量直方图与 SVM 生成识别图像是否正常的算法，将拍摄得到的正常叶片图像与退化叶片图像分别存入 exp\_pos 与 exp\_neg 文件夹中。随后将这两组图像缩放到合适尺度，获得每张图像的向量梯度直方图。计算得到的两种叶片热成像图片的梯度直方图可视化结果分别如图 4 所示。在获得正常图像与非正常图像的向量梯度直方图后，从正常图像与非正常图像总共 14 张图像中随机选出 75% 的图像作为训练集输入 SVM 模型训练。将剩余 25% 的图片作为测试集，该算法在小样本的前提下，能以 100% 的准确率分辨正常图像与非正常图像，达到较高的准确率。

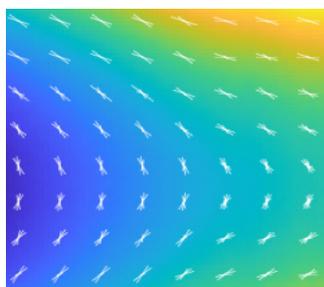


(1) 正常叶片

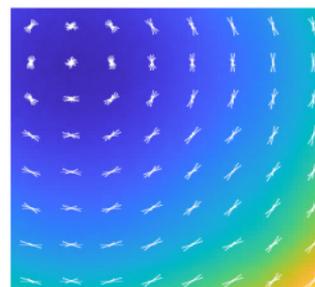


(2) 退化叶片

图 3 航空发动机叶片热成像图



(1) 正常叶片梯度方向可视化



(2) 退化叶片梯度方向可视化

图 4 梯度直方图可视化

#### 4 结论

本文基于 HOG 与 SVM 算法,开发了一套用于航空发动机涡轮叶片异常检测的方法,结论如下:

(1) 基于 HOG 与 SVM 的航空发动机涡轮叶片异常检测算法,通过在实验室条件下拍摄图片上进行实验验证,结果表明,检测准确率能够达到 100%。

(2) 该算法构建简单高效,能高效识别叶片的状态。

(3) 该方法特别适合小样本情况,能够为航空发动机涡轮叶片状态检测提供参考。

#### 参考文献

- [1] 马帅,吴亚锋,郑华等.基于飞行过程数据的航空发动机故障诊断方法研究[J].推进技术,2023,44(05):280-291.
- [2] 李文辉,温学杰,李秀红等.航空发动机叶片再制造技术的应用及其发展趋势[J].金刚石与磨料磨具工程,2021,

41(04):8-18.

- [3] 宓为建,沈晴,刘园等.基于红外热成像技术的发动机故障诊断[J].上海海事大学学报,2016,37(04):65-69.
- [4] 尹玉,张永,王健等.基于热红外图像的风力机叶片损伤识别方法研究[J].太阳能学报,2022,43(02):492-497.
- [5] 张朋,张玉,崔锟等.基于修正热弹性应力分析的风机叶片热红外温度检测研究[J].激光与光电子学进展:1-15.
- [6] 李章维,胡安顺,王晓飞.基于视觉的目标检测方法综述[J].计算机工程与应用,2020,56(08):1-9.

**版权声明:** ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**