

文章编号: 2096-1618(2022)06-0622-05

基于纹理和 SVM 的地面凝结现象观测方法研究

陈 留¹, 杨笔锋^{1,2}, 谢 欢¹, 马尚昌^{1,2}

(1. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225; 2. 中国气象局大气探测重点开放实验室, 四川 成都 610225)

摘要:地面凝结现象传统观测方法为人工观测,存在观测时效性差和主观性强等问题,影响观测数据质量。通过图像处理技术识别天气现象是当前研究的热点,但是霜露容易受到温度和光照的影响而消失,霜露在图像中的分布特征容易受到干扰,提取特征难度较大,因此该方法在地面凝结现象识别率方面还有较大的提升空间。对此提出一种高清 CCD 拍照自动识别地面凝结现象的方案,首先提取图片的感兴趣区域,然后将感兴趣区域通过 Canny 边缘检测提取纹理特征等一系列处理,最终利用支持向量机将结霜、结露、干燥 3 种现象进行识别。这种方法不受光线影响,可以同时支持在白天和夜晚观测。通过和人工观测对比,最终综合识别准确率为 86.5%。

关键词:边缘检测;纹理特征;支持向量机;图像识别

中图分类号:TN911.73

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcui.2022.06.002

0 引言

常见的地面凝结现象包括霜、露、雨淞、雾淞等,露和霜都是水汽凝结在地面或地物表面形成的凝聚物。不同之处在于形成时的物理变化不同、形成时地表温度不同、以及形成时形状不同^[1]。由于雨淞和雾淞发生条件较苛刻,出现几率较小,因此霜和露的识别是地面凝结现象观测的重点。

霜和露的传统观测方法以人工观测为主,存在观测次数不够并且主观性强等一系列缺陷,导致观测质量不高^[2]。因此针对地面凝结现象的自动观测技术应运而生,蒲晓虎等^[3]根据霜露自动化装置的电容传感器在湿度不同的情况下电容变化较大的特点,提出了通过测量电容变化所引起的频率变化和当前的温度信息联合判别当前的霜、露现象。除此之外,还有利用 CCD 图像传感器、露采集器和处理器构成的自动化观测装置。将三层带有磨砂区域的玻璃片固定在特定支架上作为露采集器^[4]。但是传感器只能显示一维特征,不能较好地表征霜和露的特性。Jerzy 等^[5]提出了基于阻抗矩阵测量的露点检测器,虽然较好地检测出地面凝结现象,但是在气象观测方面的意义并不大。此外,基于计算机视觉的霜露识别算法也成为当今流行的趋势,将检测的霜露现象转换为检测图像光学特性的变化,但存在霜露容易受到温度和光照的影响而消失,霜露在图像中的分布没有明显规律等问题^[6]。为提高露、霜观测的准确性,改善观测的工作效率,本文提出通过高清 CCD 拍照对地面凝结现象图像进行采集,在此基础上利用 canny 边缘检测提取图片的纹

理特征,进行基于支持向量机的凝结现象分类识别。

1 霜露观测装置及图像提取

1.1 霜露观测装置

人工观测可以从多个角度观测凝结现象,摄像头只能从一个角度获取凝结现象,因此本文使用了朱磊等^[2]提出的间接观测方案,观测平台如图 1 所示。



图 1 霜露观测平台

真实草地上不易观测到凝结现象,故使用三层带有磨砂区域玻璃片代替真实草地,并通过图中的带有夜视功能的高清短焦摄像头进行录像。好处是在流视频中玻璃片的位置是固定的,能更方便地寻找凝结接触面。磨砂区域位于玻璃片的下方,使用特定的亚克力板对三层玻璃片进行固定。上述方法能更明显地观察到凝结现象,提取图像特征,并通过对三块玻璃片同一时刻的综合判定实现联合判别,使用一半磨砂玻璃和一半透明玻璃所构成的玻璃片,更容易通过两边玻璃片的差别对不同现象进行区分。

1.2 图像的初步提取

由于霜露观测装置截取的霜露图像是流视频,需将录像以图片的形式呈现。传统方法是在流视频中每隔一段固定时间进行一次普通的截屏,但截取的图像

像素偏低、分辨率低。因此,本文利用视频截帧的方法进行图像的提取,通过编写基于 python 的图像提取程序,修改提取参数,每 5 分钟截取一张高像素的图片,得到图 2 所示图像。



(a) 白天



(b) 夜晚

图 2 昼夜采集图像展示

2 图片特征提取

2.1 图像凝结接触面提取

通过初步的图像提取,得出:(1)在干燥现象中,

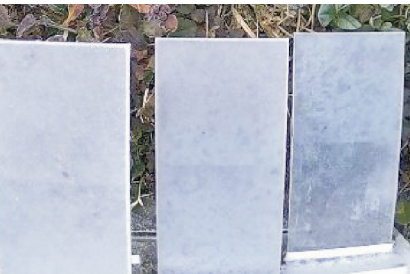
玻璃片的磨砂区域和普通区域有着明显的区别;(2)在结露现象中,磨砂区域和普通玻璃区域都凝结着不少的水滴;(3)在结霜现象中,磨砂区域和普通玻璃区域之间界限模糊,两边都附着有白色的碎末状冰晶。如图 3 所示。



(a)干燥现象玻璃片状态



(b)结露现象玻璃片状态



(c)结霜现象玻璃片状态

图 3 各种现象下的玻璃片状态

从图 3 可以看出整张图片里有部分不包含玻璃片的区域,首先系统地截取出每一张图片中的凝结接触面,典型图片如图 4 所示。提取的凝结接触面能较好地显现出图像的专属特征。

李肖霞等^[4]提出发生结露现象时,玻璃片的亮度会发生明显变化。因此,本文最初将提取的每幅图中 3 个玻璃片的毛玻璃部分和普通玻璃部分按照人工观察进行初步判定并打上标签;然后计算每部分的灰度特征值,将灰度特征值作为图像识别的依据。由于晚上有灯光对采集装置进行照射,玻璃片下垫面的植被会对判定结果造成很大的影响,导致识别准确率并不高。在此基础之上,本文提出了将凝结接触面通过边缘检测得到图像纹理特征进行进一步的图像识别。



(a)结露现象磨砂玻璃感兴趣区域 (b)干燥现象磨砂玻璃感兴趣区域 (c)结霜现象磨砂玻璃感兴趣区域



(d)结露现象透明玻璃感兴趣区域 (e)干燥现象透明玻璃感兴趣区域 (f)结霜现象透明玻璃感兴趣区域

图 4 各种现象下的感兴趣区域提取

2.2 边缘检测提取纹理特征

数据量过多一直是图像特征提取的难点,利用边缘检测标识出图像中亮度变化明显的点,可以较好地保留图像中原有的重要结构属性,剔除图像中不相关信息。此前边缘检测的实现是通过 Sobel 算法、Log 算

法、Roberts 算法等,实际效果不甚理想。为弥补上述算法的不足,本文应用 Canny 边缘检测:图像像素的高斯分布非常重要,为使其趋于均衡,利用 Canny 算子计算像素统计平均,二维高斯公式为^[7-8]

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi e^2} \exp \left[-\frac{x^2 + y^2}{2e^2} \right] \quad (1)$$

通过计算灰度变化率相对于水平方向的斜率即可得出其梯度矢量:

$$\nabla G = \begin{bmatrix} \partial G / \partial x \\ \partial G / \partial y \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据式(1)和式(2),分别得出图像像素沿 x 和 y 方向的偏导数公式:

$$\frac{\partial G}{\partial x} = kx \exp \left[-\frac{x^2}{2e^2} \right] \exp \left[-\frac{y^2}{2e^2} \right] = h_1(x) h_2(y) \quad (3)$$

$$\frac{\partial G}{\partial y} = ky \exp \left[-\frac{y^2}{2e^2} \right] \exp \left[-\frac{x^2}{2e^2} \right] = h_1(y) h_2(x) \quad (4)$$

式(3)和式(4)中的 k 是自然数, e 为高斯常数,表示图像像素平衡的程度。通过一阶偏微分方程卷积法得出如(5)所示的梯度幅值公式和(6)所示的梯度方向公式:

$$M[i, j] = \sqrt{P_x[i, j]^2 + P_y[i, j]^2} \quad (5)$$

$$\theta[i, j] = \arctan(P_y[i, j] / P_x[i, j]) \quad (6)$$

其中, $P_x[i, j]$ 和 $P_y[i, j]$ 分别是相对于 x 轴和 y 轴的偏导数。然后根据图像像素点的灰度变化率设定阈值,对设定的阈值范围进行比较,将图像中的像素分别分类。可以得到如下的分类公式:

$$N[i, j] = \text{NMS}(M[i, j], Y[i, j]) \quad (7)$$

式中 $M[i, j]$ 是灰度变换矩阵, $Y[i, j]$ 是边缘检测像素相邻区域的像素。将这些像素点二值化处理,将大于阈值的像素点和小于等于阈值的像素点分别重新赋值为 255 和 0^[9],将赋值为 255 的像素点串接,得到被检测物体的边沿。

2.3 canny 边缘检测提取结果

本次边缘提取分别使用了干燥现象、结露现象、结霜现象的磨砂玻璃部分和对应的透明玻璃部分各 600 张。典型的图片如图 5 所示,干燥现象时,磨砂玻璃部分经过边缘处理后基本上没有纹理痕迹,而在透明玻璃部分,由于下垫面有一些杂草和亚克力板上的印记,导致其像素梯度有一定的变化;对于结露现象的玻璃片来说,无论是在凝结接触面的磨砂玻璃部分还是透明玻璃部分,都可以看出上面的结露痕迹;对于结霜现象的玻璃片,可以看出在同一张图中,无论是其毛玻璃部分和透明玻璃部分,其两边玻璃的边缘痕迹差距都不大。

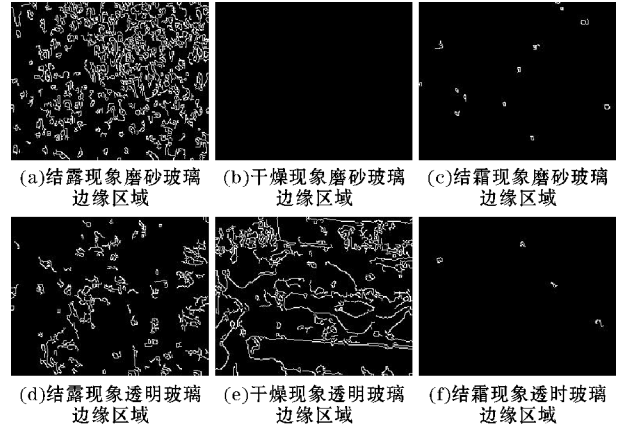


图5 各种现象下的边缘提取

由于霜露在图像中的分布无明显规律,利用普通的图像识别算法很难提取到上述现象的专属纹理特征。而从图 5 更深一步的分类中,可以发现将不同现象的图像进行边缘处理之后,每种现象磨砂玻璃区域的灰度值和透明玻璃区域的灰度值有不同的分布规律。因此,可以通过寻找边缘处理后图像的灰度分布规律对现象进行判别并分类。目前支持向量机在类似的分类方面已经有了较大的成果。综上所述,本文提出对选取图像进行边缘处理求出灰度平均值的前提下,利用支持向量机进行图像分类。

3 支持向量机图像分类

3.1 支持向量机原理

支持向量机(support vector machine, SVM)通过核函数将样本集向量映射到一个高维特征空间^[10],在空间中随机生成一个超平面。为对样本集进行分类,需要不断移动超平面,直至不同类别的样本点正好位于超平面的两侧。其次,在上述基础之上,建立一个令两侧距离最大化的平面,称其为最优决策超平面^[11]。支持向量机在分类问题方面有着良好的泛化能力。

支持向量机是解决二分类问题最有效手段,为找到最优决策超平面。令方程 $w \cdot x + b = 0$ 为最优决策超平面,将处在 $w \cdot x + b > 0$ 区域的点归为 1 类,而将处在 $w \cdot x + b < 0$ 区域的点归为 -1 类,经过总结,最优决策超平面两侧距离最大化的数学表达式如式(8);约束条件如式(9):

$$J(w) = \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (8)$$

$$y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (9)$$

得出 SVM 的标准原问题表达,当式(9)两边的值相等时,可以得出此时的 x_i 一定位于图 6 的虚线上,即为支持向量^[12],虽然存在很多样本,但是只有在虚线上的样本可以被称作支持向量,这些样本到决策面的距离被标准化到了 1。

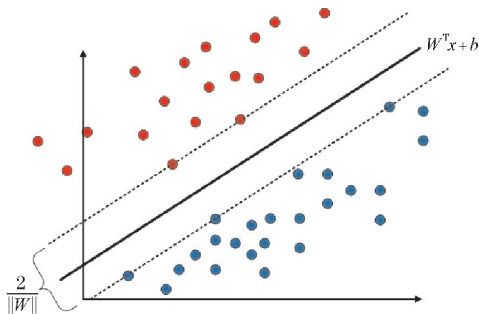


图 6 支持向量机图解

支持向量机在非线性数据分类方面需要以下步骤:(1)通过非线性变换使得低维空间中的非线性分类样本映射到高维空间中,形成线性可分样本;(2)利用上述所得的线性可分样本,构造最优决策超平面。相对于线性变换只需要选择线性核函数所得,如果要在非线性变换中得到最优决策超平面需要选择各种多项式核函数等。正是由于上述将核函数用于非线性分类,不但使支持向量机在解决非线性分类问题方面也有着一席之地,而且有效地解决了高维数据运算复杂、耗时冗长的问题^[13]。

对于多样本分类的问题,最常采用的策略是通过一对一的投票方式,构建支持向量机多类分类器。训练样本中有 n 种类别,等于是将每种类别和其余 $(n-1)$ 种类别相对比,则需要创建 $n(n-1)/2$ 个二分类器,求解出每个二分类器的最优决策超平面,最终得到的训练结果即为保存的每个二分类器的训练参数。

3.2 支持向量机分类特征

利用支持向量机分类必须在各个类别之间有容易区分的特征,将上述图像通过 Canny 边缘处理并计算两部分玻璃片的灰度值之后,每种现象选出一定数量的图片得到较明显的灰度值分布:当干燥现象时,磨砂部分灰度值接近于 0,透明部分灰度值处于一个较大的范围;处于结露现象时,两部分灰度值都处于一个较大的范围;处于结霜现象时,两部分灰度值比较接近。综上,可以得出三者之间灰度值分布有着较为明显的区分特征。因此可以进行基于支持向量机的图像分类。

3.3 基于 SVM 分类过程和结果

根据支持向量机在分类方面的优势以及不同现象图像进行 Canny 边缘处理之后的差异以及所求灰度值分布的一系列明显规律,本文选用支持向量机对上述 3 类现象进行分类,基于支持向量机的分类过程有如下步骤:

Step1:选取上述 3 种现象的图像各 600 张,对不同的现象按种类打上标签,分别将其磨砂玻璃部分和透明玻璃部分进行 Canny 边缘处理,得到边缘处理后的图像,更好地提取出各种现象的专属特征。

Step2:求出边缘处理后图像磨砂玻璃部分和透明

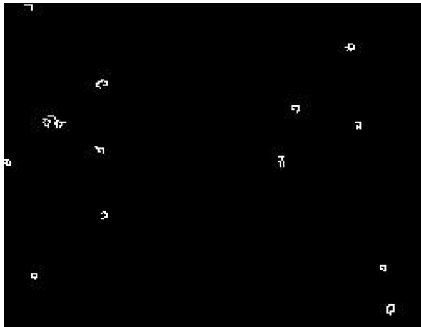
玻璃部分的灰度平均值,并将两部分的灰度平均值和之前按照种类定义的标签构建为一组三维数组。并将两部分灰度值作为样本特征集,将按照种类打上的标签作为样本结果。

Step3:将所得 1800 组数组按照 7:3 的比例分为训练集和测试集,利用各种现象之间磨砂玻璃部分灰度平均值、透明玻璃部分灰度平均值之间的分布规律,进行基于 SVM 的图像分类。

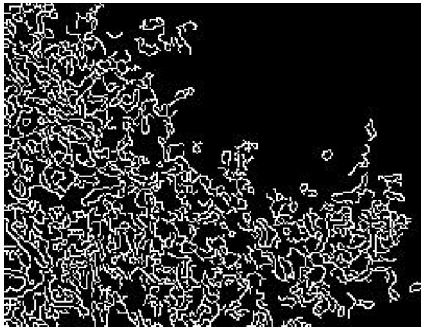
在上述步骤完成之后,对分类模型进行搭建,其中分类器的核函数选用高斯核函数,采取一对一的分类方式,最后利用二分法得到如表 1 所示的测试集分类结果。

标签	判定		
	结露	干燥	结霜
结露	86.7	2.9	10.4
干燥	0	98.4	1.6
结霜	7.6	17.9	74.5

根据对测试集的分类结果,可以得出干燥现象的识别准确率最高,达到 98.4%。结霜现象的识别准确率较低,还有较高的提升空间。根据对测试集图像(图 7)的分析看出:结合某些结霜现象图像的磨砂玻璃部分以及透明玻璃部分的 Canny 边缘处理图像,将处理后的图像进行灰度平均值计算后,得出灰度平均值分布与干燥现象较为接近,因此造成了误判。



(a) 结霜现象毛玻璃边缘处理



(b) 结霜现象透明玻璃部分边缘处理

图 7 结霜现象错误判定图示例

3种现象的综合识别率达到了86.5%,相对最初仅凭借玻璃片两个区域的灰度特征值对凝结现象进行分类,在准确率方面和效率方面都提升了不少。

4 结束语

利用带磨砂区域的三层玻璃片代替草地作为凝结接触面,使用具有夜视功能的摄像头进行不间断的录像,利用视频截帧完成图像的初步提取。在提取图像中的凝结接触面区域之后,首先通过灰度特征值挖掘3种现象的规律,得到光照和下垫面植被会对图像的灰度特征值有较大的影响。最后将图像进行Canny边缘检测提取图像纹理特征,利用磨砂玻璃和透明玻璃部分下垫面的不同导致边缘提取图像的不同。提出了基于SVM的图像分类,得出以下结论:(1)此方法在干燥现象的识别方面具有很高的识别准确率;(2)将某些结霜现象的图像经过边缘处理之后,可以看出其平均灰度值分布与干燥现象的较为接近,容易造成一部分误判,因此在结霜现象的识别准确率还有一定的提升空间。(3)此方法达到了86.5%的综合识别准确率,相对于只凭借灰度特征值对3种现象的识别有了更高的识别准确率和效率。

参考文献:

- [1] 温显昱,马舒庆,杜波,等.草温与露点温度对结露和结霜指示性分析[J].气象,2012,38(6):745-750.
- [2] 朱磊,曹治国,肖阳,等.基于流型学习的地面结霜

- 现象检测[J].计算机应用,2015,35(3):854-857.
- [3] 蒲晓虎,马舒庆,梁丽,等.霜、露自动化观测的研究[J].气象,2015,41(9):1152-1158.
- [4] 李肖霞,马舒庆,吴可军,等.结露自动化观测装置及试验研究[J].气象,2012,38(4):501-507.
- [5] Jerzy Weremczuk. Dew/Frost Point Recognition with Fingerprint Sensor[J]. Instrumentation and Measurement Technology Conference-IMTC 2007 Warsaw Poland,2007.
- [6] 周忠义.基于深度学习的地表凝结图像分类研究[D].武汉:武汉科技大学,2018.
- [7] 秦雪,王欢,严晔,等.基于图像边缘检测的图像识别算法[J].长春理工大学学报(自然科学版),2015,38(4):127-131.
- [8] 姚洋,彭道刚,王志萍.基于改进canny检测与Hough变换的仪表图像识别算法[J].上海电力大学学报,2020,36(2):183-189.
- [9] 王植,贺赛先.一种基于canny理论的自适应边缘检测方法[J].中国图像图形学报,2004,9(8):957-962.
- [10] 杨红云,黄琼,孙爱珍,等.基于卷积神经网络和支持向量机的水稻种子图像分类识别[J].中国粮油学报,2021,36(12):144-150.
- [11] 彭荣杰,彭亚雄,陆安江.基于改进PCA+SVM的人脸识别系统[J].电子科技,2021,34(12):56-61.
- [12] 陈荣,李旺,周文玉.基于形状特征和支持向量机(SVM)的茶叶病害识别方法[J].贵州农业科学,2021,49(4):53-59.
- [13] 段利超.基于纹理特征融合和SVM的人脸识别算法研究[D].重庆:重庆大学,2015.

A Texture-based SVM Observation of Ground Condensation Phenomenon

CHEN Liu¹, YANG Bifeng^{1,2}, XIE Huan¹, MA Shangchang^{1,2}

(1. College of Electronical Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. The Key Laboratory of China Meteorological Administration, Chengdu 610225, China)

Abstract: The traditional observation method of ground condensation phenomenon is manual observation, which has problems such as poor observation timeliness and strong subjectivity, which affect the quality of observation data. Recognizing weather phenomena through image processing technology is a current popular trend, but dew and frost are easy to disappear due to temperature and light. The distribution of frost and dew in the image is disturbed easily. So, it is difficult to extract features. Therefore, this method still has more room for improvement in the recognition rate of ground condensation phenomena. This article introduces a high-definition CCD camera to automatically identify the ground condensation phenomenon. First, extract the interested region of the picture, then, extract the feature of the interested region by canny edge detection. Finally, identify the three phenomena of frost, dew, and dry by the Support Vector Machine. This method is not only unaffected by light, but also supports observation during the day and night. Compared with manual observation, the final comprehensive recognition accuracy rate is 86.5%.

Keywords: edge detection; texture feature; support vector machines; image identification