

韩格格,李香芳,蒋伊泽.高速公路雾图像能见度的监测与识别方法研究[J].气象研究与应用,2024,45(2):50-56.

HAN Gege, LI Xiangfang, JIANG Yize. Research on monitoring and recognition technology of highway fog image visibility [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(2): 50-56.

高速公路雾图像能见度的监测与识别方法研究

韩格格^{1,2}, 李香芳^{1,3}, 蒋伊泽^{1,4}

(1. 中国气象局 旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 银川 750002;

2. 宁夏回族自治区气象信息中心, 银川 750002; 3. 宁夏回族自治区气象服务中心, 银川 750002; 4. 盐池县气象局, 宁夏 盐池 751599)

摘要: 基于高速公路雾图像能见度识别的方法, 对采集到的高速公路雾天气图像进行预处理, 选出与能见度相关性较高的图像特征、监测因子、兴趣窗格, 采用机器学习方法, 探索图像特征与雾天气能见度之间的关系, 构建雾天气能见度二元线性回归模型, 并对监测模型输出结果进行验证。结果表明: (1) 饱和度的均值、色度的方差与能见度相关性较高。饱和度和色度是能见度监测的关键性因素, 而不是颜色。(2) 通过划分不同的能见度等级, 基于随机森林算法对图像能见度进行判定, 该模型分类准确率达到90%, 对图像的能见度区间判定具有较强的分类能力; (3) 构建不同能见度等级的二元线性回归模型, 对能见度预测准确率较高, 预测值均在正确范围内, 其中70%的预测值很接近真实值。

关键词: 雾; 图像识别; 高速公路; 监测模型; 能见度

中图分类号: P427.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.2.08

交通发展推动经济发展, 改善生活质量, 给我们的生活带来很多便捷, 特别是以高速公路为主的交通骨干网络是国家交通运输的大动脉, 也是交通气象服务保障中的重中之重。然而, 近年来交通事故数量在不断攀升, 气象条件是影响交通安全的重要因素之一, 雾、雨、雪等恶劣条件使能见度降低从而造成交通事故易发^[1]。与晴天交通事故相比, 雾天交通事故后果更为严重, 伤亡率明显增加^[2]。由于高速公路一般修建在较为偏僻的城市外围, 具有线路长、区域跨度大等特点, 交通安全和通行效率更容易受到雾天气的影响。

近年来, 通过在高速公路沿线布设能见度自动站来监测大雾天气, 该做法在保障交通安全方面发挥重要的作用。但能见度自动站之间的间隔距离较远, 无法监测到局地团雾, 然而正是这些小范围的团雾容易造成交通事故。目前, 高速公路基本实现沿路监控设备的全面覆盖, 若利用高速公路视频图像, 建立雾天能见度估测模型, 便可以进一步提

高雾天能见度的监测能力。

目前, 国内和国外学者针对大雾能见度监测取得了一定的研究成果。KWON^[3]通过提取不同能见度的图像边缘信息, 利用神经网络算法构建一种通过图像监测能见度范围的方法。NARASIMHAN等^[4-5]通过光源的传输公式计算能见度。GALLEN等^[6-7]通过光源亮度计算大气消光系数, 进而计算能见度。CHINCHOLKAR等^[8]通过提取图像亮度特征, 利用卷积神经网络构建雾天图像能见度预测模型。JIANG等^[9]通过提取色调、饱和度特征, 构建了雾密度估计回归模型。常荣^[10]通过CNN进行图像特征提取, 构建基于卷积神经网络的高速公路团雾图像的分类算法模型。李从初等^[11]利用迁移学习结合基于Xception卷积神经网络算法构建一个海雾能见度识别的框架。徐德保^[12]通过提取像素灰度值特征, 利用机器学习分类算法来对高速公路团雾图像进行分类。戴庞达等^[13]通过提取图像亮度特征, 建立图像亮度与能见度关系模型。夏创文

收稿日期: 2023-09-30

基金项目: 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室开放研究项目(CAMF-202206)

第一作者: 韩格格(1991-), 工程师, 主要从事气象信息技术处理工作。E-mail: 1499912520@qq.com。

等^[14-16]通过提取颜色空间特征向量,利用SVM分类器对雾等级进行分类。花毓幸^[17]基于能见度预报等级分析兴趣窗格的相关性及其分布,在此等级上构建一元线性回归模型。叶栋水^[18]通过相关性分析筛选出最优兴趣窗格的图像特征矩阵,建立能见度监测模型。

综上所述,国内外学者大多主要是通过提取图像的一种特征,以亮度为主来构建能见度模型。本文提出一种基于高速公路雾图像能见度识别的方法,充分利用高速公路沿线的监控设备采集到的图像监测能见度,开展高速公路雾天气能见度的研究,选出与能见度相关性较高的2种图像特征、监测因子、兴趣窗格,采用机器学习方法,探索图像特征与雾天气能见度之间的关系,构建雾天气能见度二元线性回归模型,实现雾天气的能见度监测,弥补能见度站点布设成本高、距离稀疏的问题,为保障交通运输正常运行的气象服务提供支撑。

1 数据预处理

1.1 数据来源

数据来源于宁夏回族自治区气象信息中心,选取宁夏境内京藏高速公路(G6)滚泉交通气象站2019年12月到2022年10月期间,雾天气过程气象数据资料及高速公路沿线的监控图像资料,站点的能见度观测数据为逐5 min水平能见度。其中2019—2021年数据为训练数据集,2022年数据为验证数据集。

1.2 数据预处理方法

监控设备在采集图像信息过程中,可能会受到电磁干扰、光照变化等环境因素的影响,导致图像质量下降。为了消除噪声干扰,提高图像质量,通过以下三个方面对图像进行预处理:首先,采用滤波去噪处理,通过滤波方法来抑制图像噪声干扰;其次,进行颜色空间转换处理,寻找与能见度相关性较高的图像特征;最后,进行分窗格处理,将图像分隔成若干个窗格,选出与能见度相关性较高的兴趣区域。

(1) 去噪处理

常见的图像噪声处理模型包括中值滤波、均值滤波、高斯滤波。其中,中值滤波作为一种非线性滤波方法,与均值滤波、高斯滤波等线性滤波方法相比,中值滤波在去除噪声的同时更能保持图像的边缘信息,中值滤波不考虑像素值的绝对大小,因此对于边缘处的像素不会产生过度模糊的效果,保

持图像的细节^[19]。中值滤波对于椒盐噪声等局部突变性噪声有比较好的抑制效果,且运算效率较高,可以快速应用于实时处理的场景^[20]。因此,本文采用中值滤波进行图像去噪处理。

(2) 颜色空间转换

图像处理中的颜色空间转换是指将一种颜色表示方式转换为另一种颜色表示方式的技术,可以实现颜色校正、特效处理以及图像分析^[21]。RGB、HIS、Lab是常用的图像特征表示方法,本文选取这三种颜色空间模型进行相互转换,进行图像特征提取。

RGB是指R(红)、G(绿)、B(蓝)三个色彩通道,它们组合在一起可以产生各种颜色。RGB是一种加色模式,通过控制红、绿、蓝三个通道的亮度和强度来表示颜色。每个通道的取值范围为0~255,其中0代表最低亮度或者没有该颜色成分,255代表最高亮度或者最强的该颜色成分^[22]。计算RGB颜色的方法是通过将红、绿、蓝三个通道的色彩值以给定比例相加。

HIS色彩空间是一种基于人类视觉系统的颜色模型,它将颜色表示为H(色调)、S(饱和度)和I(亮度)三个分量的组合。色调表示颜色的基本色相,饱和度表示颜色的纯度或深浅程度,亮度表示颜色的明暗程度^[23]。

Lab色彩空间是一种基于人类感知的颜色模型,它提供一种与设备无关的、精确的颜色表示方式。Lab色彩空间将颜色表示为L(亮度)和a、b量(两个色度分)的组合,其中a表示从绿色到红色的范围,b表示从黄色到蓝色的范围^[24]。

(3) 分窗格处理

图像中并不是所有区域都是有用信息,为了更好的捕捉到图像的兴趣区域,利用图像分割技术对图像进行分窗格处理,提取图像的兴趣区域,进而对该区域图像特征进行分析。为了提供更加细粒度的图像分析,将图像分为不同大小的窗格,如图1所示(图中 $i=0, j=0, n$ =图像被分割的窗格数),每个窗格都可以被视为一个独立的图像,计算其内部的特征,对每个窗格进行目标检测,最终选出与雾天气能见度相关性较高的窗格。

2 图像特征对比分析

能见度发生变化会引起图像相关特征的变化,利用数字图像处理技术通过提取与能见度相关性

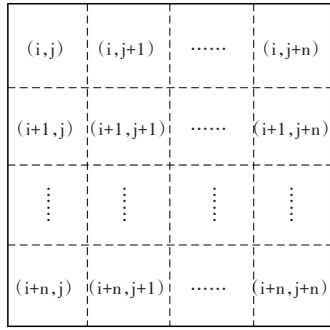


图1 图像分窗格处理

组合对比,研究哪种图像特征、监测因子及兴趣窗格组合与能见度相关性较高。

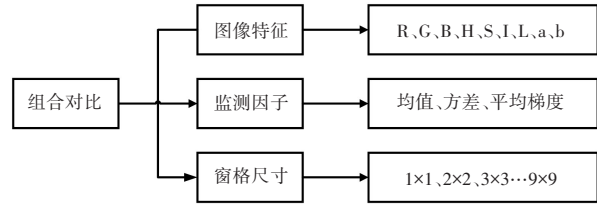


图2 图像特征、窗格尺寸、监测因子组合对比图

较高的窗格内的图像特征,进而反演能见度。

图像由像素点组成,而每个像素点有基于RGB、HIS、Lab颜色空间的9个图像像素特征。选取均值、方差、梯度3种统计量作为监测因子。将图像分割为1×1、2×2、3×3...9×9共9种窗格尺寸。如图2所示,通过9种图像特征、3种监测因子、9种窗格尺寸

2.1 图像特征对比分析

以均值为监测因子,各窗格图像特征与能见度相关性关系对比图如图3所示,各窗格图像特征与能见度相关性关系的趋势基本一致,窗格1×1中9个特征的曲线差别不是很大,窗格2×2至窗格9×9,图像特征S的曲线明显高于其他特征,图像特征b

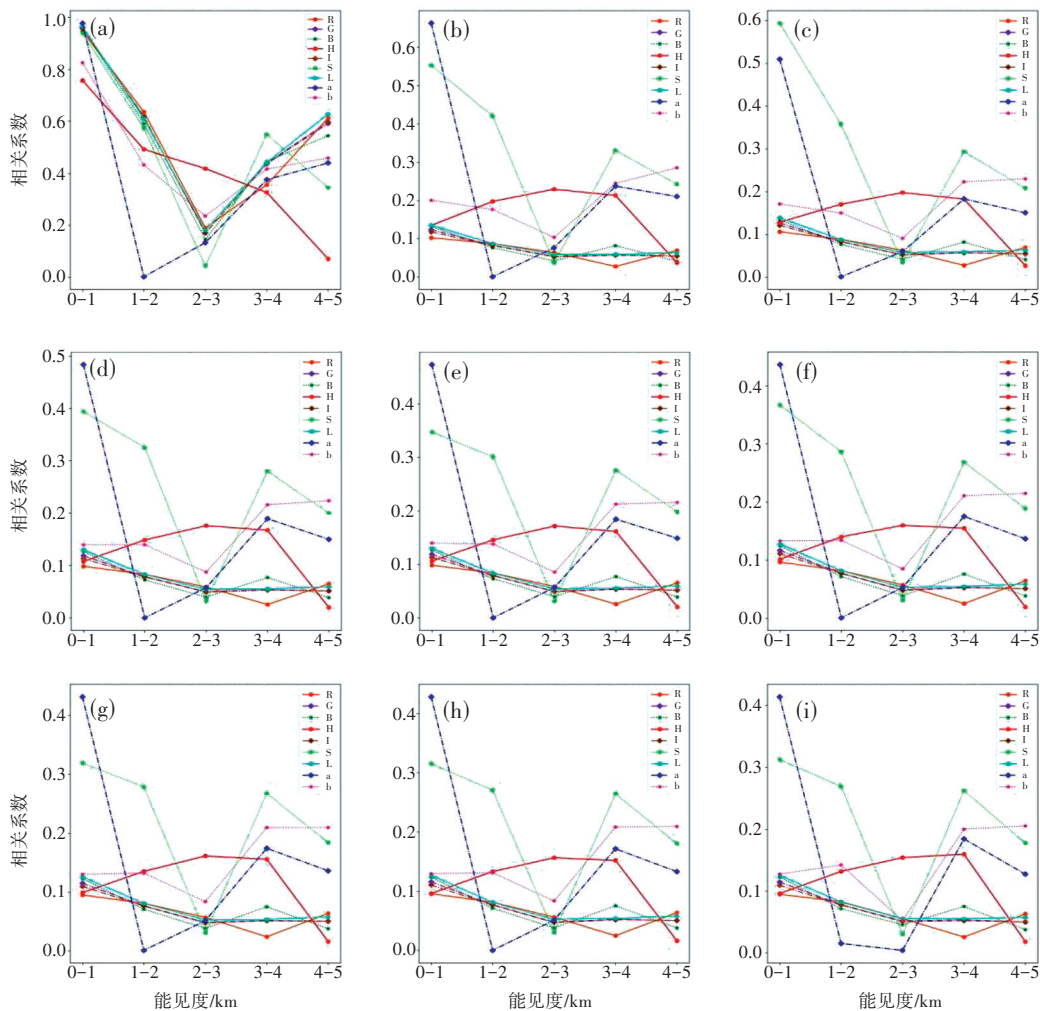


图3 以均值为监测因子组合对比图

(a)1×1;(b)2×2;(c)3×3;(d)4×4;(e)5×5;(f)6×6;(g)7×7;(h)8×8;(i)9×9

曲线较高且较为稳定, R、G、B、I、L 曲线较低且稳定。因此, 以均值为监测因子, 选出特征 S、特征 b 为与能见度相关性较高的图像特征。

以平均梯度为监测因子, 各窗格图像特征与能见度相关性关系对比图如图 4 所示, 各窗格图像特征与能见度相关性关系的趋势差别较大, 且整体相

关性较低。因此, 以平均梯度为监测因子, 没有确定出与能见度相关性较高的图像特征。

从以上对比分析的结果综合分析得出, 图像特征 S 和 b 与能见度具有较高的相关性, 是能见度监测的关键性因素。

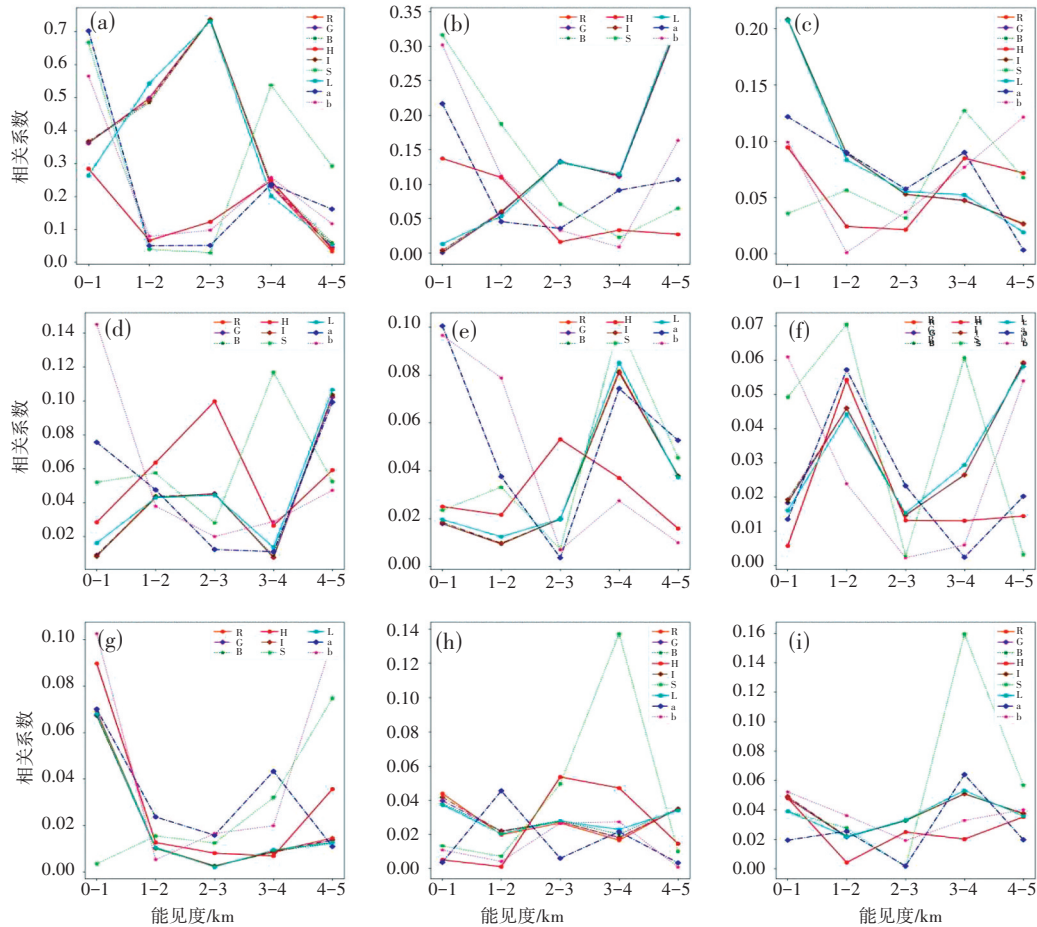


图4 以平均梯度为监测因子组合对比图

(a)1×1;(b)2×2;(c)3×3;(d)4×4;(e)5×5;(f)6×6;(g)7×7;(h)8×8;(i)9×9

2.2 监测因子对比分析

以 S 为图像特征, 对均值、方差、平均梯度三个监测因子与能见度相关性关系对比(图略), 各窗格中监测因子与能见度相关性关系曲线的趋势保持一致, 均值曲线略高于方差曲线, 平均梯度曲线明显较低, 因此, 以 S 为图像特征, 均值监测因子与能见度相关性较高。

以 b 为图像特征, 对均值、方差、平均梯度三个监测因子与能见度相关性关系对比(图略), 各窗格中监测因子与能见度相关性关系曲线的趋势保持一致, 均值、方差曲线明显高于平均梯度曲线, 方差

曲线在能见度 0 ~ 2 000 m、3 000 ~ 4 000 m 时高于均值曲线, 因此, 以 b 为图像特征, 方差监测因子与能见度相关性较高。

从以上对比分析结果综合分析得出, 图像特征 S 的均值和 b 的方差与能见度相关性较高, 因此, 本文采用均值、均方差作为监测因子。

2.3 兴趣窗格相关性分析

以 S 为图像特征, 以均值为监测因子, 分别选取窗格 1×1 至窗格 9×9 中与能见度相关性最高的某个窗格, 该窗格与能见度相关性对比如图 5 所示, 相关性最高的为窗格 9×9 中的第 69 窗格。

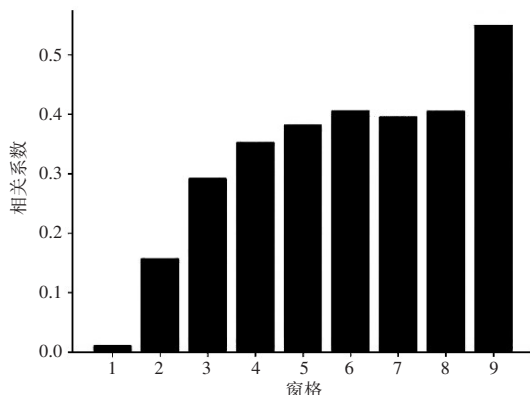


图5 不同兴趣窗格与能见度相关性对比

以b为图像特征,以方差为监测因子,分别选取窗格1×1至窗格9×9中与能见度相关性最高的某个窗格,各窗格与能见度相关性对比图如图6所示,相关性最高的为窗格9×9中的第99窗格。

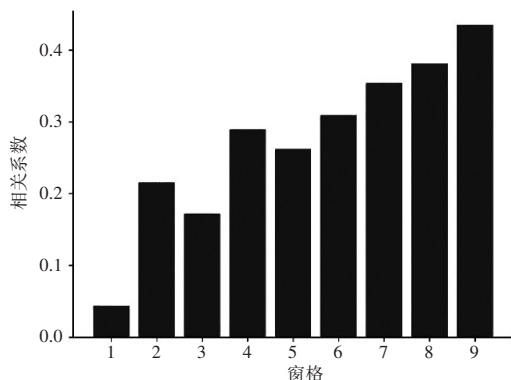


图6 不同兴趣窗格与能见度相关性对比

3 图像能见度监测模型构建

能见度往往同时受到复杂环境下多种因素的影响,单一考虑某个图像特征和兴趣区域可能具有偶然性,从以上分析结果看,可以从图像最优兴趣窗格的饱和度(S的)均值、色度(b的)方差来描述能见度信息。因此,本研究采用二元一次线性回归模型监测能见度,利用图像最优兴趣窗格饱和度(S的)均值、色度(b的)方差作为自变量,能见度测量值作为因变量,建立二元一次线性回归模型。根据能见度等级划分建立多个二元一次模型:

$$Y_i = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \mu \quad (1)$$

式中: X_1 、 X_2 分别为最优兴趣窗格饱和度(S的)均值、色度(b的)方差, μ 为常数, β_1 、 β_2 为回归系数, i

为不同能见度范围。拟合方程为:

$$\text{能见度 } 0 \sim 1\,000\text{m}: Y_1 = 5X_1 + 75\,660X_2 + 310 \quad (2)$$

$$\text{能见度 } 1\,000\text{m} \sim 2\,000\text{m}: Y_2 = 3\,385X_1 + 7\,890X_2 + 1\,516 \quad (3)$$

$$\text{能见度 } 2\,000\text{m} \sim 3\,000\text{m}: Y_3 = 1\,238X_1 + 47\,688X_2 + 2\,221 \quad (4)$$

$$\text{能见度 } 3\,000\text{m} \sim 4\,000\text{m}: Y_4 = 1\,238X_1 + 47\,688X_2 + 3\,599 \quad (5)$$

$$\text{能见度 } 4\,000\text{m} \sim 5\,000\text{m}: Y_5 = -5\,518X_1 + 57\,327X_2 + 4\,946 \quad (6)$$

4 验证模型结果分析

为了验证该模型的预测效果,分不同能见度等级对模型进行验证分析,通过随机森林分类算法确定图像所对应的能见度区间,采用该能见度区间所对应的组合模型,模拟输出结果,结合交通站能见度实况数据,对预测模型输出结果进行对比分析,检验模型的准确率。

4.1 基于随机森林分类算法的能见度区间分类

将不同能见度等级分别赋予不同标签值作为因变量,将预处理后的数据划分为训练集和验证集,80%的数据用于训练模型,20%的数据用于评估模型。使用训练集对随机森林算法进行训练,使用验证集对训练好的随机森林模型进行评估。

使用验证集对训练好的随机森林模型进行评估,将分类结果与实际标签值进行对比分析,检验模型的正确识别率。将输出结果随机抽取10个作为展示,实际标签值和预测值的重合率达到90%,结果表明该随机森林分类算法模型的正确识别率较高。

4.2 能见度模型验证

提取雾天气图像最优兴趣窗格特征作为自变量,通过随机森林分类算法确定能见度等级,根据能见度等级分类结果和对应能见度预测模型,输出能见度预测结果。

将能见度真实值和预测值对比分析,假设以真实值的上下浮动10%作为预测值的正确范围,预测值均在正确范围内,其中70%的预测值很接近真实值,说明该模型的准确率较高。

5 结论与讨论

基于高速公路雾图像的能见度监测方法研究,通过提取最优兴趣窗格的饱和度均值和色度方差,

建立与能见度相关的二元一次线性回归模型, 实现能见度监测。得出以下主要结论:

(1) 通过图像特征、监测因子、窗格尺寸进行组合对比实验分析选出与能见度相关性较高的图像特征、监测因子、窗格尺寸。结果表明, 最优兴趣窗格饱和度的均值、色度的方差与能见度相关性较高, 红绿蓝颜色与能见度相关性较低, 说明饱和度和色度是与能见度监测的关键性因素, 而不是颜色。

(2) 不同能见度等级下, 基于随机森林算法通过最优兴趣窗格饱和度的均值、色度的方差对图像进行能见度区间判定, 模型正确识别率达到 90%, 对图像的能见度区间判定具有较强的分类能力。

(3) 通过选出的图像特征、监测因子、窗格尺寸, 构建不同能见度级别的二元线性回归模型, 对能见度预测准确率较高, 预测值均在正确范围内, 其中 70% 的预测值很接近真实值。

本研究仅适用于大雾天气过程的能见度监测, 没有能将其他极端天气考虑在内, 具有一定局限性。在后续工作中, 将继续针对其他天气现象分别建立训练模型, 对能见度监测模型算法进一步优化。

参考文献:

- [1] 刘瑞莲, 柴德美. 气象条件对交通安全的影响分析[J]. 现代农业科技, 2017(6): 229, 231.
- [2] 冯蕾, 邓毅萍, 李蔼恂, 等. 雾天高速公路交通事故的特征及与能见度的关系[J]. 科技导报, 2020, 38(11): 160-168.
- [3] KWON T M. Final report on signal and image processing for road condition classification[R]. 2002.
- [4] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Vision and atmosphere [J]. International Journal of Computer Vision, 2001, 48(3): 233-254.
- [5] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Shedding light on the weather[C]//The 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 18-20, 2003, Madison, Wisconsin. Piscataway: IEEE Press, 2003: 665-672.
- [6] GALLEN R, HAUTIERE N, DUMONT E. Static estimation of meteorological visibility distance in night fog with imagery [J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2010, 93(7): 1780-1787.
- [7] GALLEN R, CORD A, HAUTIERE N. Nighttime visibility analysis and estimation method in the presence of dense fog [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 16(1): 310-320.
- [8] CHINCHOLKAR S, RAJAPANDY M. Fog image classification and visibility detection using CNN[C]//Intelligent Computing, Information and Control Systems: ICICCS 2019. Springer International Publishing, 2020: 249-257.
- [9] JIANG Y, SUN C, ZHAO Y, et al. Fog density estimation and image defogging based on surrogate modeling for optical depth[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2017, 26(7): 3397-3409.
- [10] 常荣. 基于卷积神经网络的高速公路团雾图像分类的研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2021.
- [11] 李从初, 励臣儒, 朱佳敏, 等. 基于迁移学习和 Xception 网络的海雾能见度等级估测研究[J]. 浙江气象, 2023, 44(1): 23-28.
- [12] 徐德保. 基于机器学习的高速公路团雾图像分类[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2021.
- [13] 戴庞达, 张玉钧, 周毅, 等. 基于双光源图像特征的夜间能见度观测方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(1): 1-5.
- [14] 夏创文. 高速公路网运行监测若干关键技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [15] LIUCX, LUXB, JIS P, et al. A fog level detection method based on image HSV color histogram [C]// Progress in Informatics and Computing (PIC), May 16-18, 2014, Shanghai, China. Piscataway: IEEE Press, 2014: 373-377.
- [16] LIU Y, LU X B. Fog detection and classification using gray histograms[C]//2011 International Conference on Embedded System and Microprocessors, 2010: 175-178.
- [17] 花毓幸. 基于图像兴趣窗格测算大气能见度的方法研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- [18] 叶栋水. 基于视频的雾天能见度监测方法研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2018.
- [19] 赵博文, 张力夫, 潘在峰, 等. 基于 OpenCV 的图像滤波方法比较[J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(15): 78-80.
- [20] 饶敏. 特殊虚线交通标线设计及图像识别技术研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2023.
- [21] 古晶. RGB 到 Lab 颜色空间转换[J]. 广东印刷, 2009(5): 11-14.
- [22] 杨康叶, 邬春学. 基于 RGB 模型颜色相似性的彩色图像分割[J]. 计算机系统应用, 2013, 22(3): 128-131, 160.
- [23] 包新月, 俞磊. 计算机数字图像处理常用颜色空间及转换[J]. 电子技术与软件工程, 2021(7): 122-123.
- [24] 户尊兰. 基于颜色特征分析的色偏检测与校正算法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2017.

Research on monitoring and recognition technology of highway fog image visibility

HAN Gege^{1,2}, LI Xiangfang^{1,3}, JIANG Yize^{1,4}

(1. Key Laboratory of Agro-Meteorological Disaster Monitoring, Early Warning and Risk Management in Arid Regions, China Meteorological Administration, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Meteorological Information Center, Yinchuan 750002, China; 3. Ningxia Meteorological Service Center, Yinchuan 750002, China; 4. Yanchi Meteorological Bureau, Ningxia Yanchi 751599, China)

Abstract: In recent years, automatic visibility stations have been set up along expressways to monitor fog, which has played an important role in ensuring traffic safety. However, the automatic visibility stations are generally far away from each other, and cannot monitor local fogs and mass fogs in a small range. Therefore, this paper proposes a visibility recognition method based on fog images on expressways. The collected highway fog weather images are preprocessed, and the image features, monitoring factors and interest panes with high correlation with visibility are selected. Machine learning method is also adopted to explore the relationship between image features and visibility in fog weather, a binary linear regression model for visibility in fog weather is constructed, and the output results of the monitoring model is verified. The results show that: (1) through the experiment, it is proved that the mean value of saturation and the variance of chroma have a high correlation with visibility, while the three color features of red, green and blue have a low correlation with visibility, indicating that saturation and chroma are the key factors for visibility monitoring, rather than color. (2) By dividing different visibility levels, the image visibility is determined based on the random forest algorithm, and the classification accuracy of the model reaches 90%, which has a strong classification ability for the determination of the visibility interval of the images. (3) The binary linear regression model with different visibility levels is constructed, and the verification results of the verification data set show that the visibility prediction accuracy of the model is high, and the predicted values are all within the correct range, of which 70% of the predicted values were very close to the true values.

Key words: fog; image recognition; highway; monitoring model; visibility