



基于高速公路视频图像的能见度计算

摘要

能见度作为重要的气象观测因素之一,影响高速公路行车安全.基于视频资料的能见度计算方法类似于人眼的感知方式,具备对恶劣天气条件和复杂场地的适应性.基于安徽省2016年10月17日、12月1日和7日的3次大雾天气过程,选取跨省分布的3个高速公路站点,使用对应时次下视频图像灰度值均方差与能见度观测值建立计算模型.结果表明:1)随着大雾天气过程变化,模型计算结果较好体现了能见度的变化规律,对高速公路行车具有指导意义;2)基于视频图像的能见度计算方法类似于人眼观测,能见度越高,人眼分辨地物清晰度越高,图像均方差越大;3)由于监测原理和环境差异,能见度测量值与模型计算结果之间存在误差,理论上大雾空间分布越均匀,能见度仪和监控摄像头距离越近,计算误差越低.

关键词

能见度;视频图像;灰度值;均方差

中图分类号 P468.0;TP274

文献标志码 A

收稿日期 2017-03-07

资助项目 安徽省气象局科研项目(RC201604);江苏省气象局北极阁开放研究基金(BJG201501)

作者简介

姚镇海,男,硕士,主要从事遥感与气象应用方面的研究.18256589121@163.com

¹ 安徽省公共气象服务中心,合肥,230061

² 南京信息工程大学 应用气象学院,南京,210044

0 引言

能见度作为重要的气象观测因素之一,不仅用于气象部门的气象分析,更广泛用于航空、航海、陆地交通、军事和环保监测等领域.常用的大气能见度检测方法主要是散射法和透射法^[1].在散射系数恒定且光线传播路径上照度均匀,目标物对比视觉阈为0.05时,目标与观察者之间的距离为能见度.大气消光系数与能见度的关系如下:

$$V = -\frac{1}{k} \ln \frac{C}{C_0} = -\frac{1}{k} \ln 0.05 = \frac{2.996}{k}, \quad (1)$$

式(1)中: V 代表能见度,单位m; k 代表消光系数,单位 m^{-1} ; C 是目标物的视亮度对比; C_0 是目标物的固有亮度对比.当前安徽省高速公路能见度观测是基于沿线能见度仪给出的结果.基于能见度仪的监测具有以下优点:可得到分钟级观测结果,实时性好;展示方式简洁直观,并可为后续分析提供基础数据.安徽省高速公路视频监控布网密度相比能见度仪要高很多,空间分辨率可以满足团雾监测需求.基于视频影像资源进行能见度计算,可为缺乏能见度仪但配备视频监控的地区提供实时监测参考^[2].

基于视频资料的能见度计算方案能有效弥补传统能见度监测存在低密度、易干扰等缺陷,近年来得到了国内外学者的关注.该方法原理上类似于人眼的感知方式,避免仪器受光学因素影响的不足,且具备对恶劣天气条件和复杂场地的适应性^[3].20世纪40年代,已有学者通过照相法拍摄黑色目标位测量能见度^[4-5].当时由于拍照、冲洗、测量等工序繁杂,难以实现实际应用.随着CCD和计算机技术的发展,数字摄像被用于能见度计算实验^[6].Hallowell等^[7]提出通过设置目标物得到亮度、距离曲线,寻找亮度特征点求取能见度距离.该方法需安装目标板,成本较高、操作繁琐.李佳等^[8]提出可在路面区域中提取亮度变化曲线,寻找其二阶拐点作为能见度临界点,通过车载摄像机标定求得能见度距离.项文书^[9]研究了场景物理特性,通过采集场景大量图像用于机器学习,非线性数据回归求解能见度距离.史倩义^[10]研究了对比度指标与大气能见度之间的关系,试图消除光照变化对检测结果的影响,但结果不够稳定依然处于实验阶段.

能见度降低时,人眼分辨地物能力降低,而图像上则表现出不同地物之间更不易区分,图像整体均方差较低.郑辉等^[11]通过对自动气象站监控视频资料与能见度观测值的相关分析得出:选取图像均方

差与能见度变化的相关性最优,使用该参数在监测模拟中结果良好.文献[12]也提出了基于图像灰度均方差计算大气能见度的方法.

本文使用高速公路站点监控视频资料提取图像均方差,结合同时段下能见度观测数据建立模型,给出计算结果,从图像参数提取角度分析能见度变化情况,为高速公路行车提供参考.

1 数据来源与处理

选取安徽省近期能见度小于1 000 m,天气过程长达1 h的观测站点,且距离观测站最近的视频监控点.能见度观测数据来源于安徽省高速公路气象观测站网(<http://10.129.18.78/visgis/>):2016年10月17日符离集服务区能见度观测站,观测时段为08:20—10:10;2016年12月1日大渡口东能见度观测站,观测时段为09:15—11:08;2016年12月7日休宁收费站能见度观测站,观测时段为08:19—11:35.视频数据来源于安徽省路网运行管理平台.

检验数据包括:符离集服务区08:20、08:30、09:00、09:20和09:30时次的能见度观测值与视频截图;大渡口东09:15、09:50、10:00、10:40和11:00时次的能见度观测值与视频截图;休宁收费站08:20、09:20、10:20、10:40和11:20时次的能见度观测值与视频截图.以上时次的数据均从建模数据中剔除,用于检验.

图像分辨率越低,图像就越模糊,图像均方差也就越低,故模型建立的参数基准值就偏低;道路车辆增多会增加高速公路灰度值的变异程度,导致图像瞬时均方差出现波动;光照过强和过弱都会削弱地物区分度,从而影响图片灰度值均方差变化.因此,建模选取图像需要分辨率一致、光照均匀,且避开车辆非均匀分布的时段.

2 能见度模型计算方法

首先,获取站点能见度时间序列与对应的视频,每隔1 min截取视频图像;其次,使用Matlab软件编程,得到图像灰度矩阵与均方差数值时间序列,结合对应的能见度观测值,回归分析得到最优模型;最后,使用未参与建模时间序列下的灰度均方差与能见度观测值,验证模型计算结果.算法流程如图1所示.

2.1 视频截图并转成灰度

获取视频资料的每分钟截图,文件格式为bmp

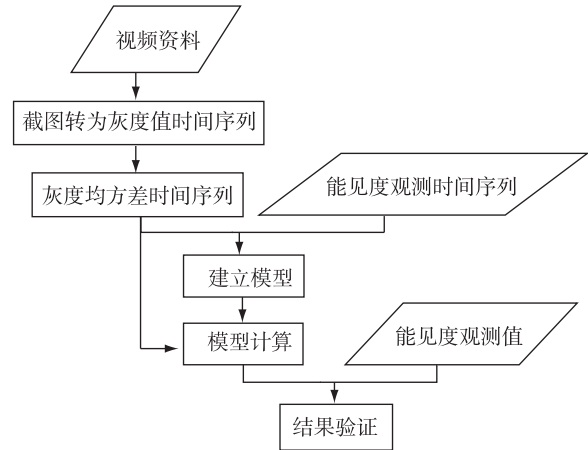


图1 基于视频资料的能见度计算方法流程

Fig. 1 Flow chart of visibility calculation method based on video data

位图(全称Bitmap).此格式是Windows操作系统中的标准图像文件格式,无损图像质量不降低.所有截图的分辨率均为519像素×276像素.转成灰度是为了消除RGB彩色分量对建模的干扰,考虑能见度引起的灰度变化特征.

2.2 计算出灰度图的均方差

通过类比人眼可以发现,能见度降低时可视范围景物被雾区融合得越多,区分度减小,则越看不清;反之,地物区分度增大,则看得越清楚.为了量化表征这种效应,引入图像均方差这个参数,作为模型变量.均方差计算公式如下:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n-1}}, \quad (2)$$

式中 σ_t 代表 t 时次的图像灰度值均方差, X_i 代表图像第 i 个像素点灰度值, X 代表整图像的灰度均值, n 代表图像的像元数(即像素点个数).

2.3 图像灰度均方差与能见度序列建模

建立图像灰度均方差与能见度的时间序列样本对 $[A, B]$. $A = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_t\}$, $B = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_t\}$. A 代表图片灰度值均方差序列, B 代表能见度观测值序列.表1给出了符离集服务区、大渡口东和休宁收费站3个点的能见度模型表达式,其中 y 代表能见度计算值(单位:m), x 代表图像灰度值均方差.所有模型显著性指标 $p < 0.01$,相关性显著.其中符离集服务区和休宁收费站模型结构为线性,大渡口东为指数变化.

表1 各站点能见度计算模型

Table 1 Visibility calculation model for 3 stations

站名	模型表达式	样本对	R ² 值	显著性
符离集服务区	$y = 43.991x - 1\ 501.3$	70	0.729 0	$p < 0.01$
大渡口东	$y = 40.601e^{0.087x}$	95	0.650 4	$p < 0.01$
休宁收费站	$y = 39.871x - 987$	150	0.694 3	$p < 0.01$

3 结果与分析

3.1 符离集服务区

2016年10月17日早间符离集服务区近地面层湿度大,辐射冷却效应强,大气层结稳定,这次大雾天气过程属于辐射雾.图2反映了该站点大雾演变过程.图2a表示08:20符离集站处于浓雾覆盖中,能见度监测值低于500 m;图2c表示09:00以后能见度开始升高,而09:30(图2e)大雾基本消散,能见度观测值达865 m.表2中,5个时次的相对误差平均值低于20%,除了09:30的绝对误差高于200 m,其他时次均在100 m以下.模型计算结果与实际能见度

变化趋势是一致的,较好反映出能见度在视频变化中的特征.

表2 符离集站点能见度计算误差

Table 2 Error of calculated visibility for Fuliji station

时次	计算值/m	观测值/m	绝对误差绝对值/m	相对误差/%
08:20	198	223	25	11.21
08:30	237	193	44	22.80
09:00	405	352	53	15.06
09:20	605	524	81	15.46
09:30	1 089	865	224	25.90
平均值	506.8	431.4	85.4	19.80

3.2 大渡口东

2016年12月1日大渡口东早晨除了近地面层辐射降温,大气层结稳定之外,由于靠近长江边,水汽平流旺盛,给浓雾形成和长时间维持提供了条件.图3a中,09:15高速公路被浓雾包围,直到10:40(图3d),大雾才慢慢散开,但能见度依然低于500 m,且分布不均.11:00(图3e),大雾基本扩散.这次大



图2 符离集服务区视频图像

Fig. 2 Video image of Fuliji service station at 08:20(a),08:30(b),09:00(c),09:20(d),and 09:30(e), respectively



图3 大渡口东站视频图像

Fig. 3 Video image of Dadukou east station at 09:15(a), 09:50(b), 10:00(c), 10:40(d), and 11:00(e), respectively

雾过程持续时间较长,对高速行车影响较大.表3中,绝对误差最低值在09:15,为18 m,最高值于11:00达到162 m;相对误差最小值达6.3%,平均值达到14.33%.虽然误差随时间变化存在波动,但模型计算结果与观测值变化趋势较好反映出能见度在视频变化中的特征.

表3 大渡口东站能见度计算误差

Table 3 Error of calculated visibility for Dadukou east station

北京时	计算值/m	观测值/m	绝对误差绝对值/m	相对误差/%
09:15	165	147	18	12.24
09:50	223	287	64	22.30
10:00	405	376	29	7.71
10:40	523	492	31	6.30
11:00	868	706	162	22.95
平均值	436.8	401.6	60.8	14.33

3.3 休宁收费站

2016年12月7日,皖南地区出现大雾天气.休宁

处于皖南山区低凹地段,空气扩散效应弱,且早晨辐射降温显著,水汽充足.故这次大雾天气过程历时较长.早晨08:20(图4a)和09:20(图4b)浓雾明显,无法看清收费站建筑,能见度观测值分别为170和240 m.直到11:20(图4e)大雾才缓慢扩散,能见度观测值达到532 m.表4中,5个时次的绝对误差均低于100 m,相对误差在10:20达到21.77%,最低值于10:40为11.14%,相对误差平均值为15.32%.此次过程也较好地体现出能见度监测值与计算结果的变化关系.

表4 休宁站能见度计算误差

Table 4 Error of calculated visibility for Xiuning toll station

北京时	计算值/m	观测值/m	绝对误差绝对值/m	相对误差/%
08:20	145	170	25	14.71
09:20	198	240	42	17.50
10:20	386	317	69	21.77
10:40	407	458	51	11.14
11:20	608	532	76	14.29
平均值	348.8	343.4	52.6	15.32

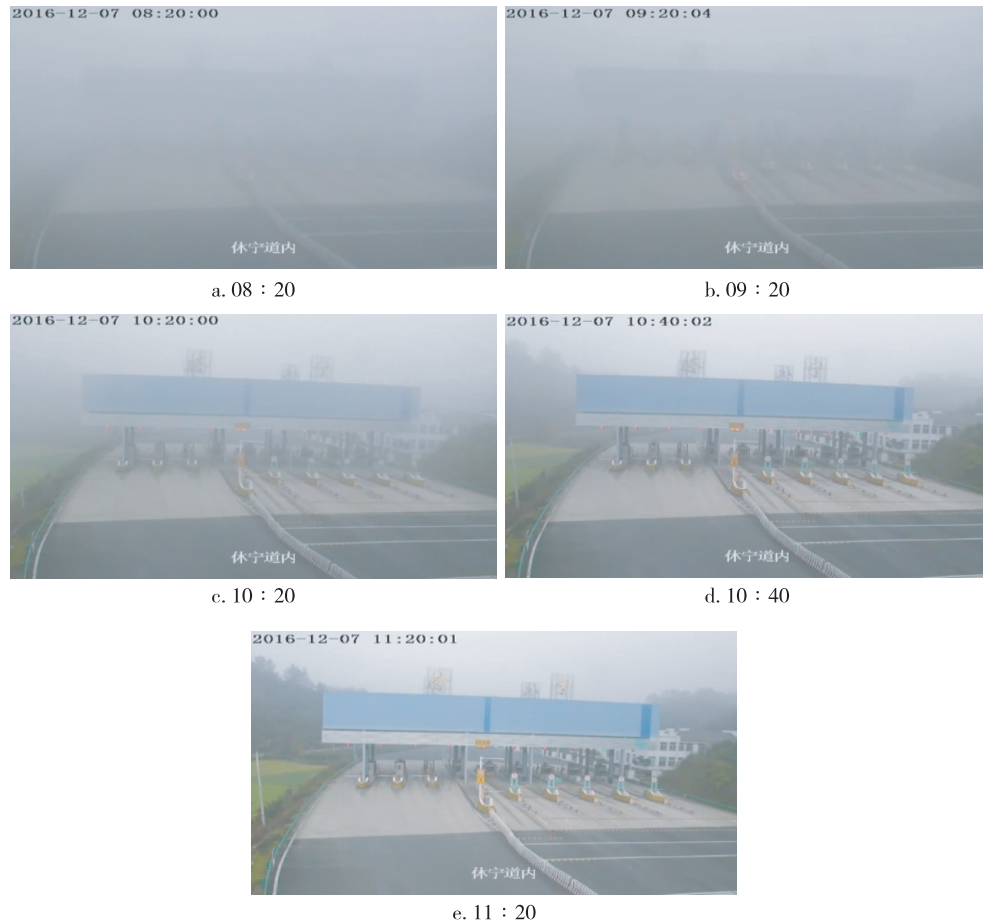


图4 休宁收费站视频图像

Fig. 4 Video image of Xiuning toll station at 08:20(a),09:20(b),10:20(c),10:40(d),and 11:20(e),respectively

4 结论与讨论

基于安徽省2016年10月17日、12月1日和7日,皖北、江淮之间与皖南地区的3次大雾天气过程,选取跨省分布的5个高速公路站点,使用能见度与视频同步数据建立模型,给出相应计算结果.虽然部分时次误差结果存在波动,但随着大雾天气过程变化,计算结果较好体现了能见度的变化规律.由此得出以下结论:

1)高速公路运行主要关注能见度低于500 m时的天气.影像均方差与能见度存在正相关,体现出人眼能够从环境中分辨地物的清晰程度.能见度越高,人眼分辨地物清晰度越高,图像均方差越大,反之亦然.

2)能见度监测值反映仪器所在点的大气光学特征,而视频图片计算出的为环境能见度,即整体清晰程度,范围更大,故本文提出的算法具有一定局限性.理论上大雾空间分布越均匀,能见度仪和监控设

备距离越近,误差越低.这对建模数据选取和能见度计算提出了要求.

3)安徽省大雾天气发生频次冬季秋季偏多、夏季春季偏少,主要发生时间段在黎明前后一段时间,太阳出来后一般会消散.本次研究中选择了日出后时间段的视频数据,而对于夜间或光线微弱下的能见度计算则需进一步研究.

参考文献

References

- [1] 中国气象局.QX/T 114—2010 中华人民共和国气象行业标准:能见度等级和预报[S].北京:气象出版社,2010
China Meteorological Administration. QX/T 114 - 2010 People's Republic of China meteorological industry standard: visibility grade and forecast[S]. Beijing: China Meteorological Press, 2010
- [2] 周庆逵,陈钊正,陈启美.基于视频的路况能见度监测系统的设计与实现[J].电子测量技术,2009,32(6): 72-76

- ZHOU Qingkui, CHEN Zhaozheng, CHEN Qimei. Visibility detection system based on road monitoring camera [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2009, 32(6):72-76
- [3] 陈钊正,周庆逵,陈启美.基于小波变换的视频能见度检测算法研究与实现[J]. *仪器仪表学报*, 2010, 31(1):92-98
- CHEN Zhaozheng, ZHOU Qingkui, CHEN Qimei. Video visibility detection algorithm based on wavelet transformation [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, 31(1):92-98
- [4] 苗苗.视频能见度监测算法综述[J]. *现代电子技术*, 2012, 35(15):72-75
- MIAO Miao. Survey on video-based visibility detection method [J]. *Modern Electronics Technique*, 2012, 35(15):72-75
- [5] 李勃,董蓉,陈启美.无需人工标记的视频对比度道路能见度检测[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2009, 21(11):1575-1582
- LI Bo, DONG Rong, CHEN Qimei. Visibility detection based on traffic video contrast analysis without artificial markers [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2009, 21(11):1575-1582
- [6] 安明伟,陈启美,郭宗良.基于路况视频的气象能见度检测方法 with 系统设计[J]. *仪器仪表学报*, 2010, 31(5):1148-1153
- AN Mingwei, CHEN Qimei, GUO Zongliang. Visibility detection method and system design based on traffic video [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, 31(5):1148-1153
- [7] Hallowell R G, Matthews M P, Pisano P A. Automated extraction of weather variables from camera imagery [C] // *The 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, 2005:1-13
- [8] 李佳,葛嘉琦,陈启美.路况视频能见度监测算法[J]. *计算机工程*, 2009, 35(16):175-177
- LI Jia, GE Jiaqi, CHEN Qimei. Visibility detection algorithm for road video [J]. *Computer Engineering*, 2009, 35(16):175-177
- [9] 项文书.基于交通视频的能见度估计研究[D].上海:上海交通大学电子信息与电气工程学院, 2014
- XIANG Wenshu. Visibility estimation using traffic surveillance video [D]. Shanghai: School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, 2014
- [10] 史倩义.能见度/天气现象监视技术研究[D].石家庄:河北工业大学机械工程学院, 2007
- SHI Qianyi. Study on the visibility and present weather sensor [D]. Shijiazhuang: School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, 2007
- [11] 郑辉,花毓幸,吴毅楠.基于图形兴趣窗格的能见度监测模拟[C] // 第33届中国气象学会年会, 2016
- ZHENG Hui, HUA Yuxing, WU Yinan. Visibility monitoring simulation based on ROI [C] // *The 33th Annual Meeting of Chinese Meteorological Society*, 2016
- [12] 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:南京信息工程大学地理与遥感学院, 2016
- HUA Yuxing. The research of measurement method of visibility based on the optimal ROI [D]. Nanjing: School of Geography and Remote Sensing, Nanjing University of Information Science and Technology, 2016

Visibility calculation algorithm based on highway video image

YAO Zhenhai¹ ZHOU Jianping¹ QIU Xinfu²

¹ Anhui Public Meteorology Service Center, Hefei 230061

² School of Geography and Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Visibility is one of the important meteorological factors, and low visibility affects the safe and efficient operation of expressway. Visibility calculation method based on video data is similar to the perception of human eyes, and has the adaptability to bad weather conditions or complex observation sites. Based on three weather processes of fog in Anhui province on October 17th, December 1st and 7th of 2016, the visibility calculation model were built by using gray mean square error of corresponding video image and visibility observation data of three highway sites in Anhui province. Results show that the modeled visibility can well reflect the actual visibility corresponding with the change of fog process. The proposed visibility calculation method based on video image is similar to the perception of human eyes, i.e., the higher the visibility, the higher the resolution of terrain features for human eyes, and the greater the variance of the monitoring image as well. However, due to the difference in monitoring principle and the environment properties, error exists between the observation data and the calculated results. Theoretically, the error is low under the conditions of fog with uniform spatial distribution, and the visibility meter being close to the surveillance camera.

Key words visibility; video image; gray value; mean square error