文章编号:1007 - 4252(2022)06 - 0006 - 534　　DOI:10.20027/j.gncq.2022.0059

基于局部对比度优化参数的能见度检测方法

孙晓丽[1],陈味忠[2],LEE CHOONGHYUN [1],龚　勇[1],吴浩炜[3],陈　华[1,*]

(1. 中国电子科技南湖研究院,嘉兴 314001;2. 浙江省消防救援总队绍兴支队诸暨大队,诸暨 311800;3. 中国科学技术大学 先进技术研究院,合肥 230000)

摘要:本文针对传统能见度估计算法中雾霾系数设为固定值导致的能见度估计准确率较低的问题,提出了一种基于局部对比度优化雾霾参数的能见度估计方法。首先,对输入图像进行预处理,解决光照不均的问题;然后通过暗通道先验理论求取图像的暗原色及大气光,并对预处理后的图像进行分块处理;计算各区域块内的局部对比度,通过得到的局部对比度求取雾霾参数,进而得到全图各像素点对应的透射率值;最后经计算可得到大气消光系数和能见度值。经实验表明,本方法可在 100~500 m 内实现高精度检测,平均相对误差为 15.21%,相对于其他方法本文方法精度高且运行速度更快。

关键词:大气光学;暗通道理论;局部对比度;雾霾图像能见度;雾霾保留参数

中图分类号:TN241;TP391　　**文献标志码**:A

Visibility Estimation Method Based on Local Contrast Optimization Parameters

SUN Xiao-li[1], CHEN Wei-zhong[2], LEE CHOONGHYUN[1], GONG Yong[1], WU Hao-wei[3], CHEN Hua[1,*]

(1. South Lake Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Jiaxing 314001, China; 2. Shaoxing Detachment Zhuji Brigade, Zhejiang Provincial Fire Rescue Corps, Zhuji 200000, China; 3. Institute of Advanced Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230000, China)

Abstract: In view of the low accuracy of visibility estimation caused by the fixed value of haze coefficient in traditional visibility estimation algorithm. A visibility estimation method based on local contrast to optimize haze parameters. Firstly, the input image is pre-processed to solve the problem of uneven illumination. Then, the dark channel colour and atmospheric light of the image are obtained by the prior theory of dark primary colour, and the pre-processed image is segmented; the local contrast in each area block

收稿日期:2022-10-12;　　**修订日期**:2022-11-18

基金项目:浙江省“领雁”研发攻关计划项目 (2022C01098);国家重点研发项目(2022YFB4500100)

作者简介:孙晓丽(1996-),女,硕士,工程师,主要研究方向为图像处理及机器视觉应用(E-mail:sunxiaoli@ cnaeit.com).

通信作者:陈　华(1983-),男,学士,高级工程师,主要研究方向为嵌入式系统架构、硬件设计(E-mail:chenhua@ cnaeit.com).

was calculated, and the haze parameters were obtained through the local contrast, and then the transmittance values corresponding to each pixel of the whole image were obtained; finally, the atmospheric extinction coefficient and visibility value can be obtained by calculating. Experimental results show that the method can achieve high precision detection within 100~500 meters, and the relative error is 15.21%. Compared with other methods, the method has higher accuracy and faster running speed.

Key words: Atmospheric Optics; Dark Channel Theory; Local Contrast; Fog Image Visibility; Haze Retention Parameters

0　引言

雾是接近地面的水蒸汽遇冷凝结后飘浮在空气中的小水点,在水汽充足、微风及大气层稳定的情况下,相对湿度达到 100%时,空气中的水汽便会凝结成细微的水滴悬浮于空中,使地面水平的能见度下降,这种天气现象称为雾。霾是空气中悬浮着大量的烟、尘等微粒,霾的核心物质是空气中悬浮的灰尘颗粒,气象学上称为气溶胶颗粒。人眼之所以能看到物体的模样是因为视网膜接收到了物体反射的光线,而如果空气中出现了介质阻挡了物体反射的光,人就看不清或者看不到目标物,因此雾霾的存在极大地影响了汽车驾驶员的视线。能见度是影响高速公路交通安全的主要气象要素,研究雾霾天能见度对于高速安全驾驶具有十分重要的作用。

传统大气能见度的估计方法主要可以分成三大类,分别为人工估计法、仪器测量法以及基于相机的能见度估计方法。人工估计法主要由专业人员利用人眼进行观测,主观性较强,因此误差较大。仪器测量法主要是通过能见度仪进行测量,由于能见度仪价格昂贵,高速公路上并不能设置多处监测点,因此仪器测量法并不能满足短时监测预警的需求。基于相机的能见度估计方法一般采用高速监控图像或者车载相机采集图像进行能见度估计。Bush 等[1]利用图像中对比度大于 5%的边缘区域进行能见度估计,但该方法适应场景有限。An 等[2]分析图像特征与能见度距离之间的关系,拟合能见度变化函数,该方法实时性较好、检测精度高,但是算法鲁棒性较差、场景适应性较差。除此之外,许多学者根据天地交点或者道路消失点寻找图像中感兴趣区域[3-6],利用该区域来确定能见度数值或者能见度范围。暗原色先验理论[7]提出后,多位学者采用该理论进行能见度估计。郜婧婧等[8]利用亮度对比度选择人眼可视最远目标点,利用暗原色先验理论实现能见度估计,但该方法对于能见度较好时的图像检测误差较大。唐菊香等[9]利用图像熵调整雾霾保留参数,利用暗原色先验理论实现大气能见度估计,但是该算法在轻雾场景下检测效果不佳。赵瑞等[10]利用暗原色先验理论对图像中的感兴趣区域进行透射率估计,并最终求得大气能见度,但该算法由于需要手动选取目标区域,导致实际应用较为困难。宋海声等[11]提出了一种基于亮暗原色先验理论的能见度检测方法,但是该方法在强浓雾天气下的检测效果不佳,且检测速度较慢。除此之外,多位学者[12-16]利用暗通道先验理论实现能见度估计,但上述方法均需要提取目标区域,运行时间长,不满足高速公路短时预警的需求。

近年来,随着计算机技术的不断发展,人工智能在机器学习及计算机视觉领域取得了巨大的成功。基于深度学习的能见度检测算法主要可以分为两类:一类是利用训练好的神经网络,可以直接得到大气能见度值或者能见度的范围[17-22];另一类是将深度学习和传统方法结合,利用卷积神经网络进行特征提取,然后利用传统分类器实现能见度范围估计[23-24]。由于基于深度学习的能见度估计方法对于数据的需求量大、数据标签值较大导致计算误差较大等原因使得该方法在实际应用中具有一定的局限性。

本文对基于暗通道先验理论的能见度估计方法进行改进,针对雾霾系数设为固定值导致的能见度估计准确率较低的问题,提出了一种基于局部对比度优化雾霾参数的能见度估计方法,可有效提高能见度检测的准确率。实验表明,本方法检测精度高、运行速度快,可满足高速公路雾霾短时监测预警的需求。

1　能见度检测理论

光在介质中传播时,受到空气中颗粒物吸收和散射的影响会有一定的削弱。1924 年,Koschmieder

提出了视源亮度理论[25]来描述该现象：

$$L = L_0 e^{-\beta d(x)} + L_f(1 - e^{-\beta d(x)}) \quad (1)$$

式中：L 和 L_0 表示目标物的观测亮度和固有亮度；β 表示大气消光系数；$d(x)$ 表示图像中像素点对应真实场景中目标到摄像头的距离；L_f 表示天空的亮度。

Duntley 提出了大气亮度的对比度衰减定律[26]：

$$C = C_0 e^{-\beta d} \quad (2)$$

式中：C 表示目标在距离摄像头距离 d 处的亮度对比；C_0 表示目标相对背景的固有亮度对比；β 表示大气消光系数。当目标与摄像头之间的距离增大时，对比度逐渐变小，目标物体变得模糊，当达到某一临界值后，目标与背景浑然一体，人眼无法将其与背景区分开，这一临界值一般取气象光学视程(0.05)[27]。因此可通过上式推导出能见度的表达式，该表达式将计算大气能见度的问题转化求解大气消光系数的问题。

$$V = -\frac{\ln(0.05)}{\beta} \quad (3)$$

2 基于局部对比度优化参数的能见度检测方法

2.1 暗通道先验理论

雾霾图像的物理模型可以表示为：

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (4)$$

式中：x 代表目标的平面坐标；$J(x)$ 表示无雾霾图像；$I(x)$ 表示雾霾图像；$t(x)$ 表示透射率；A 表示无穷远处的大气光强，一般由图像中最亮的 0.1%的点均值估计求得。

暗通道先验理论中认为无雾图像的任一局部非天空区域内的像素点至少有一个通道的亮度值趋向于 0，用数学模型可表示为：

$$\min_{(i,j)\in\Omega(x,y)} \{ \min_{c\in\{R,G,B\}} [J^c(i,j)] \} \approx 0 \quad (5)$$

式中：$\Omega(x,y)$ 表示以(i,j)为中心的一个局部区域；c 表示 R、G、B 三个颜色通道中任一通道。假设大气光已知，局部区域的景深相同，在该区域内用一个恒定的透射率对上式两边同时求取暗原色，用数学模型可表示为：

$$\min_{(i,j)\in\Omega(x,y)} (\min_{c\in\{R,G,B\}} \frac{I^c(i,j)}{A^c}) = \min_{(i,j)\in\Omega(x,y)} (\min_{c\in\{R,G,B\}} \frac{J^c(i,j)}{A^c}) e^{-\beta d} + 1 - e^{-\beta d} \quad (6)$$

由于无雾图像中的暗原色强度趋向于 0，联立上式可得到透射率的表达式：

$$t(i,j) = 1 - \min_{(i,j)\in\Omega(x,y)} (\min_{c\in\{R,G,B\}} \frac{I^c(i,j)}{A^c}) \quad (7)$$

由于晴朗天气下的空气中也存在一定的水汽和灰尘颗粒，因此在上式中引入一个雾霾的保留系数，使其更加接近真实的图像，透射率可表示为：

$$t(i,j) = 1 - \omega \min_{(i,j)\in\Omega(x,y)} (\min_{c\in\{R,G,B\}} \frac{I^c(i,j)}{A^c}) \quad (8)$$

式中：ω 为雾霾的保留系数，文献[7]中将 ω 取值为 0.95。

雾霾的保留系数取值会影响能见度估计的准确度，后有学者发现由于图像中的不同区域雾霾浓度不同，将雾霾保留系数取固定值并不合适。在雾霾程度不严重时，ω 取值应该偏小，当雾霾程度较为严重时，ω 取值应该偏大。文献[9]中定义了一个与雾霾程度成正比的雾霾保留系数，如下式所示：

$$t(i,j) = 1 - \omega(i,j) \min_{(i,j)\in\Omega(x,y)} (\min_{c\in\{R,G,B\}} \frac{I^c(i,j)}{A^c}) \quad (9)$$

二级以上高速公路中间白色车道线长度为 6 m，线与线之间的间隔为 9 m，如图 1 所示，若已知全图各像素点对应的透射率，可根据两点之间的距离求得消光系数进而得到能见度。

图 1 二级以上高速公路白色车道线长度

Fig. 1 The length of white lane line on secondary and above highway

由车道线检测得到该线段两端点的位置，如下图 2 所示。假设车道线首尾两点对应的雾霾系数分别为 ω_0 和 ω_1，由公式(9)可求得两端点透射率分别为 t_0 和 t_1，两点之间的距离为 6 m，则消光系数可用下式表示：

$$\beta = \frac{\ln(t_0/t_1)}{6} \tag{10}$$

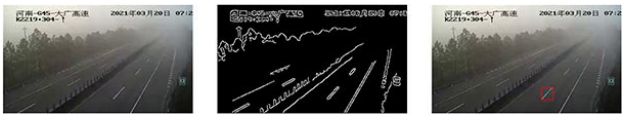

图 2　车道线端点检测结果 (a)原图;(b)边缘检测结果;(c)车道线检测结果

Fig. 2 Endpoint detection result of the lane line. (a) The original image; (b) Edge detection results; (c) Lane detection results

2.2　局部对比度优化参数

对比度指的是一幅图像中明暗区域最亮的白和最暗的黑之间不同亮度层级的测量,差异范围越大代表对比度越大,差异范围越小代表对比度越小。一般来说对比度越大,图像越清晰醒目,色彩也越鲜明艳丽;而对比度小,则会让整幅图像模糊不清。雾霾浓度的不同也会极大地影响图像对比度的大小,雾霾程度较为严重时,图像的对比度小;雾霾程度较轻时,图像对比度大。因此可采用图像的局部对比度来描述图像不同区域内的雾霾保留系数。本文中将图像分成 20×20 的块区域,对每一个块区域计算其局部对比度,其表达式如下所示:

$$C = \sum_i \sum_j p(i,j) * (i-j)^2 \tag{11}$$

式中:C 为块区域的局部对比度值;i 和 j 分别为相邻像素的灰度值;$p(i,j)$ 为相邻像素间灰度差为$|i-j|$的概率。

由于雾霾本身具有分布不均匀的特性,从图像中来看远处的雾更浓,距离摄像头越近,视线越清晰。在图像块区域中,一般来说,位于区域上方的对比度值较小,而位于区域下方的对比度值应较大,如图 3 所示。因此若仅用一个对比度值来代替一个块区域的对比度,在求后续车道线端点处的透射率值时会存在一定的偏差。为解决上述问题,在求得块区域的对比度时,可根据车道线端点所处的位置,对于其对比度值进行补偿,其表达式如下所示:

$$\varepsilon = \begin{cases} 0.98, The\ top\ area \\ 1.02, The\ area\ below \end{cases} \tag{12}$$

$$C'_{\Omega(x)} = C_{\Omega(x)} * \varepsilon \tag{13}$$

定义的雾霾保留系数表达式如下所示:

$$\omega(x) = 1 - \frac{C'_{\Omega(x)}}{\max\limits_{y \in I}(C'_{\Omega(y)})} \tag{14}$$

式中:$\Omega(x)$ 为图像上像素点 x 所属区域,且 x 仅属于一个 $\Omega(x)$;$C'_{\Omega(x)}$ 代表区域 $\Omega(x)$ 内的局部对比度;$\max\limits_{y \in I}(C'_{\Omega(y)})$ 代表图像内所有块区域内局部对比度的最大值;$\omega(x)$ 表示块区域 $\Omega(x)$ 对应的雾霾保留系数。

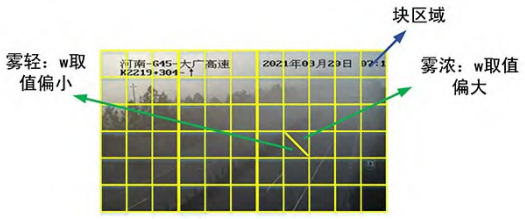

图 3　块区域中雾浓度分析

Fig. 3 Analysis of fog concentration in block area

根据车道线两端点所处的位置确定其对应的雾霾参数,假设两端点对应的雾霾参数分别为 ω_0 和 ω_1。当实际能见度大于一定距离之后,车道线两端点之间的雾霾系数值相似,而利用上述方法在能见度较高时,车道线两端点对应的雾霾保留系数差值较大,与实际情况不符。除此之外,由于 ω 本身为雾霾的保留系数,那么在能见度较高时,按照实际情况,此时应取一个较小的值。在图像中车道线的首点与摄像头的距离更近,因此从理论上来说车道线首点对应的雾霾保留系数更小,所以能见度相对较高时,两端点处的雾霾保留系数可以取车道线首点对应的 ω 数值。本文在车道线附近区域求局部对比度,以此设置阈值 Th,并将该阈值作为区分能见度高低的度量。当当前帧图像车道线区域局部对比度值小于阈值时,说明此时能见度较低,则雾霾系数直接取计算得到的值;当当前帧图像车道线区域局部对比度值大于阈值时,说明此时的能见度较高,那么此时的 ω 应该取车道线首点对应数值。修正之后的雾霾保留系数表达式如下所示:

$$\omega' = \begin{cases} (\omega_0, \omega_1), con < Th \\ (\omega_0, \omega_0), con > Th \end{cases} \tag{15}$$

式中:Th 表示区分能见度高低的阈值;con 表示当前帧图像中车道线区域对比度值;ω_0, ω_1 分别表示车道线首尾点对应的雾霾保留系数;ω'表示修正之后的雾霾保留系数。

同一场景下,阈值的确定可以利用晴朗天气时一段时间内的图像,分别对其进行雾天图像仿真,消光系数设置为 0.05,利用真实图像及雾天仿真图两

种图像中的车道线区域对比度值来确定该路段阈值,阈值计算公式如下:

$$th = Con_0 - \frac{1}{2}Con_1 \tag{16}$$

$$Th = \frac{\sum_{k=1}^{N} th_k}{N} \tag{17}$$

式中:Con_0 表示晴朗天气图像中的车道线区域对比度值;Con_1 表示雾天仿真图中的车道线区域对比度值;th 表示晴朗天气下的一幅图像的对比度阈值;N 表示参与计算的图像总数量;Th 表示一段时间下图像对比度阈值的均值。

本文选取了 8 幅能见度在 500 m 以上的图像,并利用上述图像进行雾天仿真,如下图 4 和图 5 所示,并对原图及雾天仿真图中的车道线区域计算了对比度,其结果如下表 1 所示。

图 4 晴朗天气高速公路图

Fig. 4 Image of highway on clear day

图 5 雾天高速公路仿真图

Fig. 5 Simulation image of highway on foggy day

表 1 车道线区域局部对比度结果

Table 1 The results of local contrast in the lane line area

图序	对比度	图序	对比度
Fig. 4(a)	0.013731	Fig. 5(a)	0.005459
Fig. 4(b)	0.018873	Fig. 5(b)	0.007499
Fig. 4(c)	0.020855	Fig. 5(c)	0.008317
Fig. 4(d)	0.017685	Fig. 5(d)	0.007033
Fig. 4(e)	0.014527	Fig. 5(e)	0.005791
Fig. 4(f)	0.016851	Fig. 5(f)	0.006698
Fig. 4(g)	0.014120	Fig. 5(g)	0.005600
Fig. 4(h)	0.015656	Fig. 5(h)	0.006248

2.3 能见度估计

根据上文中得到的雾霾保留系数经公式(9)计算可得到透射率,并利用导向滤波器进行细化之后可得到消光系数,利用公式(3)可得到图像能见度估计值。

由于光照不均等因素的影响,计算结果存在突变值,为了约束能见度的取值,使得能见度相对误差更小,曲线更加平滑,本文利用时域特征对突变值进行约束。时域特征脉冲因子表示的是信号峰峰值与整流平均值的比值,描述的是峰值在波形上的极端程度,其表达式如下:

$$p = \frac{\max(W(t)) - min(W(t))}{mean(W(t))} \tag{18}$$

式中:$W(t)$ 表示的是一维信号;p 表示脉冲因子。本文利用脉冲因子定义了一个平滑系数,公式

如下:

$$\gamma = \frac{mean(u)}{\max(u)}, u = [u1, u2, u3] \tag{19}$$

式中:$u1$、$u2$、$u3$ 分别表示前两帧、前一帧及当前帧图像的能见度估计值。为防止突变值的出现,实现对当前帧图像能见度值的约束,当前帧能见度估计值与前一帧的能见度估计值差值大于 150 m 时,利用如下所示公式进行处理。

$$v = \begin{cases} u3 * \gamma, & if \mid u2 - u3 \mid > 150 \\ u3, & else \end{cases} \tag{20}$$

综合以上求解图像能见度的过程,本文算法流程如表 2 所示。

表 2　本文算法流程

Table2 Flow of proposed algorithm

算法:基于局部对比度优化参数的能见度检测方法
输入:高速监控雾霾图像 I
输出:雾霾图像能见度 v
1. 由 $I_{dark}(i,j) = \min\limits_{(i,j)\in\Omega(x,y)} \{ \min\limits_{c\in\{R,G,B\}} [I^c(i,j)] \}$ 得到图像暗原色,在暗原色图 I_{dark} 中选出前 0.1%灰度值最大的点,计算雾霾图像 I 中对应像素点的灰度值均值,并将其作为大气光值 A;
2. 经车道线检测得到车道线两端点位置;
3. 根据公式(11)计算图像块区域的局部对比度,利用公式(13)中对得到的局部对比度进行补偿,由公式(14)计算得到雾霾保留系数,由当前帧图像中车道线区域的局部对比度与公式(17)中得到的阈值进行对比,确定此时的能见度高低,由公式(15)计算后可得到修正之后的车道线首尾点的雾霾保留系数值 ω_0 和 ω_1;
4. 根据步骤 2 和步骤 3 中得到的暗原色图像及雾霾保留系数,由公式(9)可求得车道线首尾点对应的透射率,由公式(10)和(3)可得到消光系数及能见度值;
5. 利用平滑系数对当前帧图像能见度数值进行处理,由公式(20)输出最终求得的图像能见度数值。

3　实验结果与分析

为验证本文算法的有效性,在 Intel i5 (3.10 GHz)、8 GB 内存、Windows 10(64 bit)环境下,在 Matlab R2016a 上实现该算法。

选取一段高速公路视频图像,该视频来自 G45 大广高速公路河南段监控,如下图 6 所示,时间为 2021 年 3 月 20 日 6:00—8:05,图像分辨率为 198×352,图像时间间隔为 5 min,样本数为 26。

《高速公路交通气象条件等级》规定了影响高速公路交通运行的气象条件的等级,并将能见度划分为 5 个等级,分别为 0、1、2、3、4、5 级,如下表 3 所示,由表中可知,能见度在 500 m 以上时,对于高速驾驶无影响,因此本文主要关注能见度在 500 m 以下时的图像能见度变化。

等级误差为能见度检测值与标准数据的等级之差,两者之间的差值越大,表明能见度检测算法效果越差。将能见度仪检测的能见度作为标准数据,利用本方法和基于图像信息熵优化参数的能见度检测方法[9](Visibility detection method based on image entropy optimization parameters,VBIE)对上述数据进行测试,将测试结果与标准数据进行对比,分别计算两者之间的相对误差、利用本方法检测每张图像能见度所用的时间,并根据表 3 中的能见度划分等级计算得到等级误差。实验结果如下表 4 所示。

表 3　能见度划分等级

Table3 Classification of visibility

等级	能见度范围/m	影响程度
0	能见度>500	无影响
1	200<能见度≤500	稍有影响
2	100<能见度≤200	有一定影响
3	50<能见度≤100	较大影响
4	能见度<50	严重影响

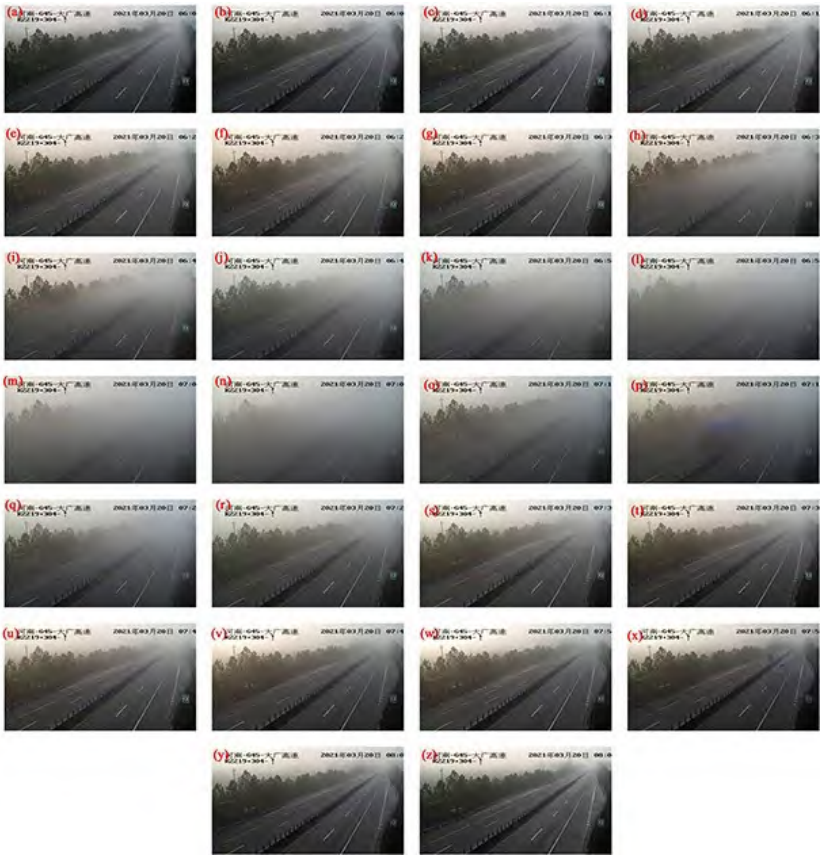

图 6 视频图像序列

Fig. 6 Video image sequence

表 4 能见度检测结果

Table 4 The results of visibility detection

图序	标准值/m	测试结果/m		相对误差/%		等级误差	时间/s
		VBIE	Ours	VBIE	Ours		
Fig. 6(a)	198	237.35	176.21	19.90	11.00	0	0.460
Fig. 6(b)	204	223.17	267.48	9.40	31.10	0	0.459
Fig. 6(c)	209	190.55	168.81	8.80	19.20	1	0.434
Fig. 6(d)	200	162.59	162.64	18.70	18.70	1	0.490
Fig. 6(e)	180	155.29	183.80	13.70	2.10	0	0.429
Fig. 6(f)	170	190.55	168.81	12.10	0.70	0	0.423
Fig. 6(g)	178	256.62	146.47	44.20	17.70	0	0.416
Fig. 6(h)	147	241.49	148.91	64.30	1.30	0	0.390
Fig. 6(i)	162	104.99	146.93	35.20	9.30	0	0.396
Fig. 6(j)	160	128.91	147.00	19.40	8.10	0	0.396
Fig. 6(k)	136	99.36	146.32	26.90	7.60	0	0.382
Fig. 6(l)	140	156.56	180.72	11.80	29.10	0	0.379

Fig. 6(m)	146	133.41	175.44	8.60	20.20	0	0.381
Fig. 6(n)	152	192.42	201.19	26.60	32.40	1	0.392
Fig. 6(o)	178	272.90	229.93	53.30	29.20	1	0.402
Fig. 6(p)	180	188.09	185.64	4.50	3.10	0	0.386
Fig. 6(q)	196	219.35	249.06	11.90	27.10	1	0.398
Fig. 6(r)	220	308.13	150.57	40.10	31.60	1	0.427
Fig. 6(s)	231	282.78	203.74	22.40	11.80	0	0.426
Fig. 6(t)	240	259.83	255.07	8.30	6.30	0	0.422
Fig. 6(u)	232	427.09	294.48	84.10	26.90	0	0.434
Fig. 6(v)	237	430.66	242.43	81.70	2.30	0	0.427
Fig. 6(w)	260	535.88	210.52	106.10	19.00	0	0.430
Fig. 6(x)	274	686.89	298.06	150.70	8.80	0	0.428
Fig. 6(y)	340	656.86	359.13	93.20	5.60	0	0.430
Fig. 6(z)	460	360.30	389.33	21.70	15.40	0	0.403

根据气象组织规定,能见度仪的相对误差小于等于20%符合标准。由实验结果可知,VBIE 的平均相对误差为38.37%,对于雾霾图像的能见度检测误差较大。本文算法中对于能见度检测的平均相对误差为15.21%,在100~500 m内对于图像能见度具有较高的检测精度。综上所述,本文算法表现良好,满足高速公路场景下的能见度检测要求,除此之外,相对于文献[11]中方法的平均运行时间3.2558 s,本文算法的实时性较高,每帧图像的平均处理时间为0.4168 s,可满足高速公路短时预警的要求。

4　结论

本文提出了一种基于局部对比度优化参数的能见度检测方法,利用暗原色先验理论得到图像的暗原色及大气光,并对预处理后的图像进行分块处理;计算各区域块内的局部对比度,通过得到的局部对比度求取雾霾参数,进而得到全图各像素点对应的透射率值;最后利用车道线检测得到的首尾两端点的位置,经计算最终得到大气消光系数和能见度值。将检测结果与标准数据进行对比,结果表明:本文方法可在100~500 m内实现短时高精度检测,平均相对误差为15.21%,表现良好。与其他方法相比较,本文方法准确率更高且检测速度快,可满足雾霾短时监测预警的需求。但本文方法易受天气状况等因素影响,检测结果存在突变值,且不适用于夜间能见度检测。后续研究中将主要针对夜间能见度及图像预处理优化等方面进行探索和研究。

参考文献:

[1] Busch C, Debes E. Wavelet transform for analyzing fog visibility [J]. IEEE Intelligent Systems, 1998, 13(6): 66-71.

[2] An M W, Guo Z L, Li J, et al. Visibility detection based on traffic camera imagery [C]// The 3rd International Conference on Information Sciences and Interaction Sciences, New York: IEEE, 2010: 411-414.

[3] Negru M, Nedevschi S. Image based fog detection and visibility estimation for driving assistance systems [C]// IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication & Processing, New York: IEEE, 2013: 163-168.

[4] Hautiére N, Tarel J P, Lavenant J, et al. Automatic fog detection and estimation of visibility distance through use of an onboard camera [J]. Machine Vision and Applications, 2006, 17(1): 8-20.

[5] Bronte S, Bergasa L M, Alcantarilla P F. Fog detection system based on computer vision techniques [C]// International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, New York: IEEE, 2009: 1-6.

[6] Alami S, Ezzine A, Elhassouni F. Local fog detection based on saturation and RGB-Correlation [C]// International Conference on Computer Graphics, New York: IEEE, 2016: 1-5.

[7]He K M, Sun J, Tang X O. Single image haze removal using dark channel prior [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(12): 2341-2353.
[8]郜婧婧, 田 华, 吴 昊, 等. 基于亮度对比度和暗原色先验原理的白天道路图像能见度检测方法 [J]. 气象科技. 2019, 3: 386-396.
[9]唐菊香, 宋凤丽. 基于图像信息熵优化参数的能见度检测方法 [J]. 电子技术与软件工程, 2020, (23): 111-113.
[10]赵 瑞, 胡辽林, 赵江涛. 基于暗原色先验理论的大气能见度测量 [J]. 激光与光电子学进展, 2016, (6): 78-85.
[11]宋海声, 刘宇平, 郑海亮, 等. 基于暗亮原色先验理论的道路能见度检测 [J]. 激光与光电子学进展. 2021, 6: 94-100.
[12]周 凯, 成孝刚, 李海波, 等. 基于暗通道先验与最小图像熵的交通雾霾能见度检测方: 中国, CN105931220B [P]. 2018-08-21.
[13]金 月, 汪 楠, 叶炯耀. 基于暗通道先验的实时低能见度辅助驾驶系统 [J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2019, 45(2): 310-315.
[14]李得俊, 杨晓东, 李国强, 等. 基于暗通道先验理论的高速公路团雾能见度识别方法: 中国, CN111192275A [P]. 2020-05-22.
[15]郭尚书, 齐文新, 齐 宇. 基于暗通道先验的视频能见度测量方法 [J]. 计算机与数字工程, 2014, 42(4): 694-697.
[16]陈钟荣, 张 炎, 张 瑶. 基于自适应雾浓度系数的暗通道先验法能见度测量 [J]. 现代电子技术, 2019, 42(9): 39-45.
[17]Chaabani H, Kamoun F, Bargaoui H, et al. A neural network approach to visibility range estimation under foggy weather conditions [J]. Procedia computer science, 2017, 113: 466-471.
[18]Palvanov A, Im Cho Y. DHCNN for visibility estimation in foggy weather conditions [C]// 2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS). New York: IEEE, 2018: 240-243.
[19]Vaibhav V, Konda K R, Kondapalli C, et al. Real-time fog visibility range estimation for autonomous driving applications [C]//2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). New York: IEEE, 2020: 1-6.
[20]江 亮, 王保升, 洪 磊, 等. 基于 CNN 深度学习模型的机场能见度预测 [J]. 信息与电脑: 理论版, 2020, 23: 43-46.
[21]庞一然, 宋光磊, 郭 鑫, 等. 基于卷积神经网络的能见度估计方法 [J]. 信息系统工程, 2021, 6: 15-16.
[22]黄 晋, 李保强, 吕明燕, 等. 基于 VGG 卷积神经网络的机场能见度预测 [J]. 集成电路应用, 2022, 3: 58-59.
[23]Goswami S, Chaudhuri S, Das D, et al. Adaptive neuro-fuzzy inference system to estimate the predictability of visibility during fog over Delhi, India [J]. Meteorological Applications, 2020, 27(2): 1-5.
[24]Outay F, Taha B, Chaabani H, et al. Estimating ambient visibility in the presence of fog: a deep convolutional neural network approach [J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2021, 25(1): 51-62.
[25]Dumont E, Cavallo V. Extended photometric model of fog effects on road vision [J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2002, 1862(1): 77-81.
[26]Sreffens C. Measurement of visibility by photographic photometry [J]. Industrial & Engineering Chemistry, 1949, 41(11): 2396-2399.
[27]Middleton W.Vision through the atmosphere [J]. Springer Berlin Heidelberg, 1957, 10(48): 254-287.