

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2017.04.017

高速公路能见度快速检测算法

胡平¹, 杨旭东²

(1. 金华职业技术学院, 浙江 金华 321017; 2. 黑龙江省运通高速公路管理发展有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 利用高速公路现有的视频监控系统提供的视频图像, 提出了一种可以快速进行高速公路能见度检测的算法。该算法基于大气光传播模型, 首先采用均值漂移准确分割出天空区域, 在此区域内用局部熵估计出大气光强度值。再运用暗原色先验得到图像的初始透射率, 并采用双边滤波进行了优化。最后根据 CIE 的能见度公式求取能见度值。试验结果证明: 该算法的能见度检测值与采用散射仪检测的结果非常接近, 同时具有环境适应性强且速度快的优点, 能满足高速公路能见度预警的智能系统实时性要求。

关键词: 交通工程; 能见度检测; 算法; 高速公路监控视频; 暗原色先验; 均值漂移; 双边滤波

中图分类号: U491.5⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2017) 04-0115-08

An Algorithm for Fast Detecting Expressway Visibility

HU Ping, YANG Xu-dong

(1. Jinhua Polytechnic, Jinhua Zhejiang 321017, China; 2. Heilongjiang Expressway Management Development Co., Ltd., Harbin Heilongjiang 150001, China)

Abstract: An algorithm for fast detecting expressway visibility is proposed based on the video image provided by the existing expressway video surveillance system. Based on atmospheric optical propagation model, the algorithm accurately segments the sky area through mean shift segmentation algorithm at first, and estimates atmospheric light intensity values in this region by the local entropy. Second, it uses dark channel prior to obtain the initial transmittance of the images, and refines them by bilateral filter. Finally, it solves the visibility value according to the visibility formula of CIE. The Experimental result shows that the visibility detection value of the algorithm is very close to the detection result of the scattering instrument, its environment adaptability is strong and the speed is fast, it can meet the real-time requirement of the expressway visibility warning intelligent system.

Key words: traffic engineering; visibility detection; algorithm; expressway surveillance video; dark channel prior; mean shift; bilateral filtering

0 引言

由雾霾、雨雪或沙尘等恶劣天气条件造成能见度偏低是导致道路交通事故的重要原因。特别是高速公路, 由于车速快、车流量大且全封闭, 要求车辆行驶时不得随意减速和停车, 当遇到低能见度情况时就极易发生多车追尾的重大交通事故。2013年6月4日6时许, 由于雾天能见度低, 在京港澳高速

公路驻马店某路段东西两侧车道突发16起交通事故, 共造成56车相撞, 致14人死亡。2013年6月13日, 在沈海高速东台至大丰段发生重大交通事故, 由于突发团雾造成能见度不足5m, 使该路段发生4起交通事故, 至少30辆车追尾, 多人伤亡。同样由于大雾造成的山西特大交通事故发生在2015年11月29日早7时, 在山西省运城至侯马段高速公路先后共有47辆车连环相撞。据2007年以来的道路交

收稿日期: 2016-07-15

作者简介: 胡平 (1978-), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士. (huping511@163.com)

通事故年报统计,在能见度低于200 m时,发生的交通事故起数和死亡人数均占道路交通事故总数的50%以上。

我国目前的高速公路总里程近130 000 km,位居世界首位。同时我国幅员辽阔,地形地貌复杂多样,较多的高速路段易于形成雾霾。此外,高速公路白天路面温度高,昼夜温差大,极易形成突发性雾气——团雾,造成局部能见度急剧降低。因此,及时准确地检测高速公路能见度值^[1-4],在能见度低时迅速做出相应的预警,对保障我国高速公路的安全高效运营、减少或避免道路交通事故意义重大。

目前应用于高速公路能见度检测的方法总体分为3大类:人员目测、仪器设备检测、基于监控视频检测。人员目测及时性最差,且估测出来的数据缺乏规范性和可持续追溯性。仪器设备检测主要使用能见度检测仪,一般基于红外光或激光,设备昂贵,可测量消光系数或能见度值。能见度检测仪测量的数据较为准确,但该设备架设间隔一般非常稀疏(20 km左右),难以满足在团雾(一般在5 km以内范围)等天气时对能见度检测的需求。

基于监控视频的能见度检测的核心部分是对数字视频图像的分析 and 处理,结合大气光线的传播模型,通过测量图像特征的变化情况进行能见度值的检测。随着近年来高速公路视频监控系统的不断建设和发展,高速公路上的摄像机布设密度和精度不断提升,利用监控视频检测能见度已成为国内外相关领域的研究热点,并取得了一些成果。美国麻省理工大学林肯实验室的Robert等基于模板匹配的思想,将实时捕捉到的监控视频图像与已知能见度值的图像进行对比分析,从而估计当前场景的能见度^[5],但是此类方法需要大量已知能见度值的样本图像库,且易受场景中物体变动的影响,较难应用于实际。陈钊正等^[6]基于摄像机标定的思想,拟合带有标定距离信息的图像区域的亮度值和距离值,进而估计能见度,但此类方法必须有较为清晰完整的道路标志性信息,很受复杂天气和环境的干扰。此外,吕伟涛等^[7]利用双亮度差的思想,将场景中不同距离值的目标物所在图像区域的天空背景亮度差比值作为能见度检测的依据,此类方法适应性强,且在夜间也能进行较好的检测,但是需要额外搭建人工目标物体。总体而言,国外在基于视频的能见度检测算法研究上起步早,理论体系较为成熟,但推广和普及应用一般,其检测结果精度不高。国内的研究起步较晚但发展迅速,针对不同检测环境提

出了多种方法,其中摄像机标定法等部分算法在高速公路上已试点应用。

本文从高速公路能见度检测的场景实际和系统需求出发,基于雾天大气光学模型和暗原色先验理论提出了一种能见度检测的快速方法。该算法无需构建模板样本库,也无需额外搭建人工测距标志物,仅依靠现有的高速公路监控视频即可进行实时检测。

1 基于视频的能见度检测理论依据与本文算法流程

国际照明委员会(CIE)对能见度的定义是:在没有任何帮助条件下人眼所能识别物体的最大距离。很显然,在高速公路场景中,排除人的个体差异,能够影响能见度的主要是物理光学传播状态。而雾霾天气时,大气中充满悬浮颗粒(可能是水滴、灰尘或其他杂质),一部分光线会被吸收,同时光线也会发生散射,它们的综合作用使能见度降低。此时,驾驶员看不清前方和周围的情况,致使估计车距、车速不准确,对其他车辆、交通标志或路面设施识别产生困难,极易发生交通事故。

因此,要精准检测能见度,就要对低能见度的雾霾天气条件下大气光的传播进行研究,并建立求解能见度值的数学模型。

1.1 雾天图像光学模型

在计算机视觉领域被广泛采用的雾天图像光学模型为:

$$I(x) = J(x)t(x) + A[1 - t(x)]。 \quad (1)$$

式(1)用加性模型描述了大气光传播过程中雾霾降低能见度的原因。在式(1)中,设 $I(x)$ 为监控视频原始图像, A 为大气光强度值, $t(x) \in [0, 1]$ 为大气的透射率, $J(x)$ 则表示清晰图像; $J(x)t(x)$ 这部分加项描述了光线传递时的直接减弱; $A[1 - t(x)]$ 这部分被加项则描述了大气光的增强作用。

又设 $d(x)$ 为与图像中 $x = (x, y)$ 像素点处对应的场景点到监控摄像机的距离(场景深度值), β 为消光系数, $\rho(x)$ 为场景反照率,则有:

$$t(x) = e^{-\beta d(x)}, \quad (2)$$

$$J(x) = A\rho(x)。 \quad (3)$$

因此,雾天图像光学模型也可以表示为:

$$I(x) = A\rho(x)t(x) + A[1 - t(x)]。 \quad (4)$$

在通过交通监控摄像机获取了原始监控图像 $I(x)$ 后,可以利用一些计算机图像处理算法估计出上面模型中的未知量 A 和 $t(x)$,进而利用朗伯比尔定律求取能见度。

在大气光强度值 A 的估计方面, Nayar 提出通过计算图像中一小块局部区域的均值来估计 A , 此算法只适合于天空区域较为明显的情况。Fattal^[8] 与 Narasimhan 在假设场景中物体表面辐射率不变的前提下, 提出了一种单色大气散射模型来估计 A 值, 但此假设条件在实际应用中很难满足。Tarel^[9] 通过对 $I(x)$ 进行白平衡操作来估计 A 值, 这种方法简单, 但估值不精确。He^[10] 提出通过暗原色先验来估计 A 值, 该方法将图像中暗原色亮度值最大的 10% 像素中颜色分量值最高的像素点作为 A 的估计值点, 但此方法亦有缺点, 即当场景中天空区域较小或有白色物体、强反光或灯光时无法得到暗原色值, 进而估计出错。

在 $t(x)$ 透射率求解方面, 根据式 (2) 可以发现, 如果能获取 $d(x)$, 即可解出 $t(x)$ 。于是, 一些研究人员从不同的角度提出了计算图像景深的许多算法, 有的根据相异角度的散射光计算, 有的通过深度的区域边界计算^[11-12] 等等。近年来, 另有一些研究人员基于先验知识进行 $t(x)$ 的计算, 如 Fatal 提出, 假设场景中局部区域内透射率和最终阴影遮蔽相互独立, 以此为依据计算出 $I(x)$ 的反照度 $\rho(x)$, 进而推得 $t(x)$ 。效果较好的是 He 提出的暗原色先验法, 根据 $I(x)$ 暗原色的统计规律自动估计出 A , 提取暗原色图像并计算出 $t(x)$ 。但该算法计算复杂, 实时性差, 同时对一些场景不能有效估计出 $t(x)$ 。

因此本文以 He 提出的暗原色先验假设为基础, 首先基于图像分割后的局部熵算法估计 A 值, 并采用双边滤波进行 $t(x)$ 细化速度优化。在能见度检测准确度和速度方面, 与 He 原有的算法或其他同类算法相比, 取得了不错的效果。

1.2 能见度检测模型

能见度检测的理论基础是 Koschmieder 定律, 它将大气能见度与大气消光系数建立了联系, 为基于图像检测大气能见度提供了物理基础。Koschmieder 定律公式如下:

$$L = L_0 e^{-\beta d(x)} + A[1 - e^{-\beta d(x)}], \quad (5)$$

式中, L 和 L_0 分别为物体的观测亮度值和物体的固有亮度值; A , β , $d(x)$ 的含义与式 (1) 和式 (2) 一致。事实上, 计算机图像领域的这个雾天图像光学模型, 即式 (1) 和式 (2) 等, 就是根据 Koschmieder 定律定义的。

基于 Koschmieder 定律, Duntley 推导出了大气光传播时的衰减规律, 表示为:

$$C = C_0 e^{-\beta d(x)}, \quad (6)$$

式中, C 和 C_0 分别为物体的观测对比度值和固有对比度值, 它们的比值 $\varepsilon = C/C_0$ 称为对比度阈值, 当 C 小于 ε 时, 表示目标物体不可见。CIE 和国际民航组织等权威机构推荐 ε 取值 0.05, 同时 CIE 定义了能见度计算公式:

$$V_{\text{met}} = -\frac{1}{\beta} \ln 0.05 \approx \frac{3}{\beta}, \quad (7)$$

式中 V_{met} 为目标物体能在天空背景下被看见的能见度距离。

由此可知, 只要能得到消光系数 β , 即可由式 (7) 计算出能见度值。而消光系数 β 则可在求得透射率 $t(x)$ 和摄像机距离 $d(x)$ 后, 利用式 (2) 反推得出。

因此, 基于监控视频图像的能见度检测问题中最为核心的问题就是图像透射率 $t(x)$ 的求解, He 提出的暗原色先验理论可以较好地解决这个问题。

1.3 本文算法的流程

通过上文对相关大气光传播规律的研究, 结合暗原色先验理论, 提出一种高速公路能见度快速检测的算法。

首先, 将通过高速公路监控摄像机获取的视频图像进行初始化, 利用改进的均值漂移算法分割出准确的天空区域。

其次, 在天空区域内用局部熵法估计出大气光强度值 A , 基于暗原色先验求出图像的初始透射率 $t(x)$ 。

最后, 通过双边滤波器细化 $t(x)$, 进而利用式 (2) 反推得到消光系数 β , 代入 CIE 的能见度计算公式, 算出当前图像的能见度值。

本文算法将暗原色先验引入能见度检测中, 求得的能见度值非常接近能见度仪的检测结果; 同时对算法进行若干速度优化, 算法实时性较好。具体的算法流程如图 1 所示。

2 高速公路监控视频能见度检测快速算法

暗原色先验理论能直接快速地求出图像透射率, 且较其他同类算法的计算结果更准确。本文基于此理论, 结合透射率和消光系数的物理光学关系, 提出以暗原色先验为核心的能见度检测算法, 下面给出算法实现的详细过程。

2.1 大气光强度值的估计

2.1.1 用改进的均值漂移算法分割天空区域

本文算法的应用对象是高速公路监控视频图像, 其结构特征较为明显。此类图像一般由高速公路路

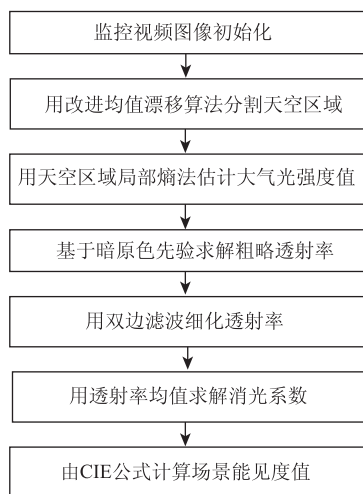


图1 本文算法流程

Fig. 1 Flowchart of proposed algorithm

面、各类车辆、天空,以及交通标示牌、道路标线等标示性物体构成。因为监控摄像机安装的高度是标准的,所以捕捉的图像近景处为路面,车辆等分布在图像中下部,上部远景一般为天空区域,如图2所示。



(a) 能见度较高图像

(b) 能见度较低图像

图2 不同能见度下的高速公路监控视频图像

Fig. 2 Expressway surveillance video images in different visibilities

根据这些特征,可以在分割天空区域时设置一些先验限制条件,让算法工作更高效。如设 H 为图像的高度, $h(i)$ 为任意像素 i 的高度值,则像素 i 处于天空区域的概率就是 $p(i) = h(i)/H$ 。此概率从几何角度提供了参考,为了更准确地确定像素 i 是否是天空区域,应再结合 i 的亮度值。如设 $I_{\max}$ 和 $I_{\min}$ 为像素 i 在红绿蓝三原色 (RGB) 某个色彩通道中的最大亮度值和最小亮度值,则可以用 $I_{\max} - I_{\min}$ 的值趋近于 0 的程度来衡量这个像素处的雾气浓度。越趋近于 0,表明该像素所处位置雾浓度越大,则该位置也越接近天空区域。

将上述两个特点进行综合,则可用式 (8) 来判断像素所处位置,满足该式的像素 i 可近似地认为其处于天空区域。

$$p(i) [1 - (I_{\max} - I_{\min})] \rightarrow 1. \quad (8)$$

判断出位置后可以开始分割。本文采用的分割算法为均值漂移法,该算法在图像分割和目标跟踪等领域应用广泛,其介绍文献较多^[13-15],文中不再赘述。算法在执行时可分为两步:不连续性保持滤波和均值移位聚类,其结果受核大小即参数 h 和 M 的影响,其中 h 为选用核函数的带宽, M 为分割区域时最少的像素数。为了获得好的分割效果,必须确定合适的 h 和 M ,否则就会产生过分割或欠分割问题。由于本文的图像分割只关心天空区域是否分割精确和完整,因此本文对均值漂移算法进行了改进。改进算法具体步骤如下。

(1) 初始化,选定核函数为高斯核函数,设定带宽 h 和起始位置,设定 M 。

(2) 从起始位置的第 1 个像素点开始遍历整幅图像,并在此过程中记录下核函数的中心位置。

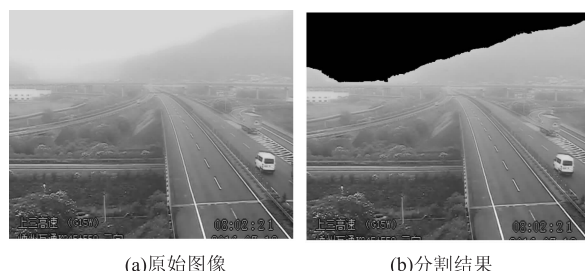
(3) 满足均值漂移算法的收敛条件后结束迭代过程,并记下收敛值。

(4) 将该像素点的空间位置和其收敛点的色彩信息赋予平滑后的点。

(5) 平滑后的图像即可进行分割,分别将空域中距离小于空域带宽 h_s 且特征域中距离小于频域带宽 h_f 的所有点划分为一类,最终可能得到很多类,此时使用式 (8) 来计算判断该像素点处于天空区域的概率,若满足设定的阈值,则将其合并为一个区域。

(6) 标记图像,将区域像素数少于预设 M 的图像再次合并。

用改进算法分割雾天交通图像的效果如图 3 所示。



(a) 原始图像

(b) 分割结果

图3 改进均值漂移算法分割天空区域

Fig. 3 Improved mean shift algorithm for sky region segmentation

2.1.2 局部熵法估计大气光强度值

由 2.1.1 中的公式可以看出,大气光估计值 A 的准确性对透射率的估计有直接影响。在 He 的算法中是通过暗原色来估计 A 的,但暗原色在图像中的

灯光、白色或反光物体区域失效, 在天空区域相对面积较小时也失效。为此, 本文对大气光的获取方式进行改进, 以获得更准确的透射率。

对于能见度低的有雾图像, 大气光强度值 A 和透射率 $t(x)$ 除了在深度突变区域外, 在其他区域变化平缓、较平滑, 大气光强度值 A 应该在天空区域中雾气浓度最高处选取才较为准确。在前文分割出的天空区域中, 通过局部熵法来选择雾霾浓度最大的区域, 具体公式为:

$$H_i = - \sum_{i=0}^N P_i \log_2 P_i, \quad (9)$$

式中, H_i 为像素 i 的局部熵值; P_i 为局部区域内像素 i 的亮度概率密度。 H_i 值越小, 表明该区域像素的亮度变化越稳定, 也就意味着该区域是雾霾最浓区域的可能性越大。

在分割出的天空区域内, 选取局部熵 H_i 值最小的 10% 像素, 取它们的亮度值均值作为大气光强度值 A 是最准确的。由于之前分割了天空区域, 因此既不会出现将图像中的车辆灯光处、白色物体或反光强烈区域处的像素亮度值当做大气光, 也不会因为监控图像中的天空区域过小而被忽略, 取不到大气光值。通过试验验证, 本文的大气光估计算法取得的值较为准确。

2.2 初始透射率的求取

暗原色先验是 He 在 2009 年发现的。在对大量的户外无雾清晰图像进行规律统计后发现, 在绝大多数无雾图像的局部区域中, 至少存在 1 个颜色通道的亮度值很低, 这些像素称为暗原色像素。在有雾霾时, 由于式 (1) 中大气雾光的增强作用而亮度值变大, 因此它们可以被用来评估雾气的透射情况, 当然也能检测能见度。

暗原色先验可以应用于图像深度估计、图像去雾和图像能见度检测等多个方面, 特别是去雾方面, 由于其透射率估计准确, 因此是目前去雾效果最好的算法。暗原色先验的核心公式如下。

(1) 暗原色图像 $JC_{\text{dark}}(x)$ 的求解公式:

$$JC_{\text{dark}}(x) = \min_{c \in (r, g, b)} \{ \min_{y \in I} [J_c(y)] \}, \quad (10)$$

式中, $JC_{\text{dark}}(x)$ 为某图像的暗原色; $J_c(y)$ 则为三原色通道中的某个通道。

(2) 初始透射率 $t(x)$ 的求解公式:

$$t(x) = 1 - \omega \frac{JC_{\text{dark}}(x)}{A}, \quad (11)$$

式中 $\omega = 0.8$ 是一个常量, 其意义为即便是晴朗的天气, 空气中也是有粉尘颗粒等杂质的, 它们会形成

“薄雾”, 因此就算是能见度最清晰时, 也要将这种“薄雾”的效果保留, 这样才真实。

将得到的大气光强度值 A 代入式 (11) 求解出的 $t(x)$ 是初始透射率, 其值有较大偏差, 为了修正它, He 提出了采用软抠图 (Soft Matting) 的算法来进行细化, 但软抠图计算非常慢。为了提速, 包括 He 本人在内的很多研究人员提出了优化算法, 如用指导滤波器^[16]、中值滤波器或高斯滤波器来代替软抠图。本文结合高速公路监控图像的特征, 采用双边滤波器进行算法速度优化, 双边滤波器^[17]在提速的同时又能保持 $t(x)$ 的边缘特征不损失, 细化后的 $t(x)$ 值与真实值最为接近。

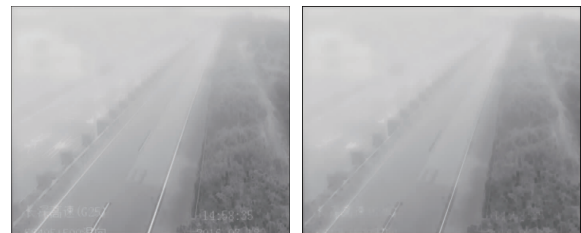
2.3 基于双边滤波器的透射率快速细化

为了满足能见度检测系统的实时性要求, 提高算法运算速度, 采用双边滤波器快速细化初始透射率 $t(x)$, 得到细化结果 $T(x)$, 其公式为:

$$T(x) = \frac{1}{W(x)} \sum_{y \in \Omega(x)} G_s(\|x - y\|) G_t(|I_x - I_y|) t(x). \quad (12)$$

式 (12) 中的双边滤波器主要受 3 个参数控制, 其中的 $\Omega(x)$ 为临域窗口大小, 其值越大平滑作用越强, 但运算量增加; G_s 和 G_t 分别为空域和频域滤波器权重分布函数 (为提升速度, 一般不用原本的高斯函数), 其受输入图像的亮度值函数 I_x 与 I_y 影响; $W(x)$ 为归一化因子。

采用双边滤波做透射率 $t(x)$ 的平滑和细化需要反复试验, 在效果和实时性上取得平衡, 取 $\Omega(x)$ 窗口大小为 15×15 像素, G_s 和 G_t 的输入分别为 5 和 0.3。从最终的细化效果来看与 He 方法接近, 但实时性大幅提高, 效果对比如图 4 所示。



(a) 本文算法

(b) He 算法

图4 本文算法与 He 算法细化透射率效果对比

Fig. 4 Comparison of transmittance refine effects between proposed algorithm and He algorithm

2.4 摄像机距离的求取

该距离的求取非常简单, 目前有很多成熟准确的方法, 其中摄像机标定类算法较为通用。由于高速公路用于监控的摄像机一般为单目, 所以本文选

用了文献[18]中给出的基于场景透射率的单目摄像机来标定公式。该方法结合了透射率和传统的摄像机线性模型,选择了路面上透射率最低的8个点进行摄像机来标定参数修正,算法稳定,结果准确,速度较快,非常符合本文的试验要求。

2.5 根据 CIE 定义计算能见度

在能见度求解过程中的3个未知参数均已得出后,先将透射率 $t(x)$ 和摄像机距离 $d(x)$ 代入式(2)求出消光系数 β ,再将消光系数 β 代入式(7),即可得到能见度值。

3 试验结果及分析

本文算法在 Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.67 GHz 2.66 GHz (双处理器)、内存为 32 GB 的 PC 机上进

行试验验证。操作系统为 Windows 8.1, 试验仿真平台为 Matlab 2014b。通过互联网搜索、从开放视频数据库获取和自行采集等方式,共获得高速公路监控视频 20 余段试验数据,约 3.8 万帧,静态图像 1 600 余幅,其中雾霾天气视频 11 段,图像 750 余幅,将非雾霾天气的清晰视频和图像作为负样本。由于视频和图像格式不统一,为了便于处理,所有试验数据均进行了归一化等预处理操作。同时,为了说明算法能有效检测能见度,特在监控摄像头同一位置使用前向散射式能见度仪进行仪器法检测,将检测数据作为标准对比数据。

试验中不同能见度下的部分监控视频原始图像、求得的初始透射率图及其细化结果示例如图 5 所示。



图 5 不同能见度下的监控视频原始图像、初始透射图及其细化结果

Fig. 5 Original surveillance video images, transmission maps and their refine result in different visibilities

本文算法在不同能见度条件下的检测结果如表 1 所示。

从图 5 可以看出,本文算法的透射图细化结果

在不同能见度情况下均有较好表现。同时从表 1 可知,本文算法检测的能见度值非常接近仪器检测值,且基本误差控制在 10% 以内,符合能见度检测规范。

该算法对高速公路监控中的天空区域变化适应性强,无论天空区域大小均能较准确地估计出大气光强度值 A ,进而得到正确的透射率值。

表1 在不同能见度下的本文算法的检测结果

Tab.1 Detection result by proposed algorithm in different visibilities

消光系数	0.021/M	0.009/M	0.004/M
散射仪检测能见度	127	323	876
本文算法检测能见度	121	318	865

为了客观说明本文算法的性能,共进行了16次试验,每次试验时长为3 h。试验时将监控视频每隔3 min采集12帧图像,对这12帧图像的能见度取均值后作为当前时刻的检测能见度值,并将该值与仪器检测值进行对比,结果如图6所示。

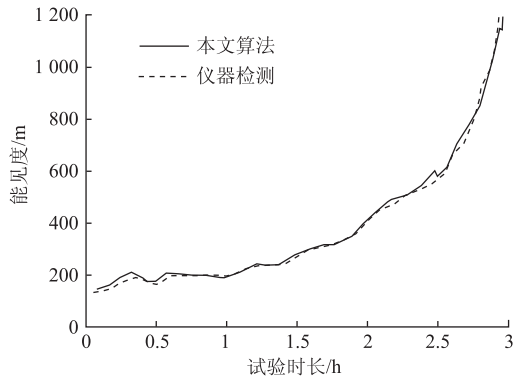


图6 本文算法与仪器检测结果比较

Fig.6 Comparison of results between proposed algorithm and instrument detection

可以看出,从到达试验场地时雾气较浓到试验结束雾气散去这段时间内,本文算法与仪器检测结果均为能见度有规律地上升,算法的检测值与仪器检测值非常接近,说明本文的算法一致性和鲁棒性较好。

同时,选取能估计目标物距离值的5段视频图像样本,将本文算法与双亮度差法和摄像机标定法等较典型的视频能见度检测算法进行对比试验。试验时,每段视频选取15个时刻检测点,将每个检测算法的同一时刻点检测到的能见度值取平均值,其结果如表2所示。

从表2可以看出,本文算法的检测结果误差控制较好且速度较快,较好地满足了我国《高速公路能见度检测及浓雾的预警预报》的技术指标,即能见度在2 000 m以下时,误差控制在10%以内。同时也应注意到,在实际的能见度检测工作中,受监控场景、天气等因素的影响,与本文算法相比,双亮度差法和摄像机标定法的使用受到较大限制。

表2 本文算法与其他视频能见度检测算法结果比较

Tab.2 Comparison of results between proposed algorithm and other video visibility detection algorithm

试验及参数	已知能见度	摄像机标定法	双亮度差法	本文算法
试验1	181	153	168	171
试验2	312	284	291	293
试验3	355	312	324	331
试验4	407	383	393	388
试验5	431	398	411	415
平均相对误差/%	—	10.02	6.14	5.35
平均检测时间/s	—	0.879	1.130	0.098

4 结论

本文提出的能见度检测算法能快速准确地基于高速公路监控视频检测能见度值。该算法利用高速公路既有资源,与传统的仪器检测法相比既节省成本又不受场地条件限制,优势较为明显。该算法已经通过试验验证了其有效性,具有较大的推广价值,其优点主要有:

(1) 适用于天空区域变化多样的高速公路监控视频。

(2) 将暗原色先验引入能见度检测,并结合高速公路监控图像的特征,采用双边滤波器进行算法速度优化。双边滤波器在提速的同时能保持初始透射图 $t(x)$ 的边缘特征不损失,细化结果与真实值非常接近,在检测效果和实时性方面都有良好表现。

由于目前的监控摄像机有效精度距离较小,且由于高速公路夜间照明条件有限,因此该算法在较大距离和夜间的能见度检测方面并不适用,下一步研究工作将主要集中解决上述问题。

参考文献:

References:

- [1] 李长城,张彤,辛欣.雾区行车安全智能引导系统控制策略研究[J].公路交通科技,2013,30(2):114-132.
LI Chang-cheng, ZHANG Tong, XIN Xin. Control Strategy of Intelligent Guidance System for Traffic Safety in Foggy Area [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30 (2): 114-132.
- [2] 刘桂丽,黄文博,陈培文,等.高速公路雾、霾净化技术研究[J].公路交通科技,2016,33(2):143-150.
LIU Gui-li, HUANG Wen-bo, CHEN Pei-wen, et al. Research of Fog and Haze Purification Technology for Expressway [J]. Journal of Highway and Transportation

- Research and Development, 2016, 33 (2): 143-150.
- [3] 周豫菡, 朱合华, 冯守中. 公路隧道能见度与烟雾浓度的概念辨析及计算分析 [J]. 公路交通科技, 2016, 30 (10): 152-158.
- ZHOU Yu-han, ZHU He-hua, FENG Shou-zhong. Analysis of Concept and Calculation of Highway Tunnel Visibility and Smoke Concentration [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2016, 30 (10): 152-158.
- [4] 龙科军, 李峰, 高志波. 雾天高速公路路况监测预警系统研究 [J]. 交通科技, 2016 (3): 183-186.
- LONG Ke-jun, LI Feng, GAO Zhi-bo. Study of Foggy Highway Traffic Monitoring and Warning System [J]. Transportation Science & Technology, 2016(3): 183-186.
- [5] 苗苗. 视频能见度检测算法综述 [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.
- [6] 陈钊正, 陈启美. 基于摄像机自标定的视频对比度能见度检测算法与实现 [J]. 电子与信息学报, 2010, 32 (12): 2907-2912.
- CHEN Zhao-zheng, CHEN Qi-mei. Video Contrast Visibility Detection Algorithm and Its Implementation Based on Camera Self-calibration [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32 (12): 2907-2912.
- [7] 吕伟涛, 阳善昌, 刘亦风, 等. 基于数字摄像技术测量气象能见度-双亮度差方法和试验研究 [J]. 大气科学, 2004, 28 (4): 559-568.
- LÜ Wei-tao, YANG Shan-chang, LIU Yi-feng, et al. Measuring Meteorological Visibility Based on Digital Photography-dual Differential Luminance Method and Experimental Study [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2004, 28 (4): 559-568.
- [8] FATTAL R. Single Image Dehazing [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27 (3): 1-9.
- [9] TAREL J P, HAUTIERE N. Fast Visibility Restoration from a Single Color or Gray Level Image [C] // Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Computer Vision. Washington, D. C.: IEEE, 2009: 2201-2208.
- [10] HE Kai-ming, SUN Jian, TANG Xiao-ou. Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior [C] // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). New York: IEEE, 2009: 1956-1963.
- [11] TAN R T. Visibility in Bad Weather from a Single Image [C] // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'08). Anchorage, US: IEEE, 2008: 1-8.
- [12] 刘建磊, 刘晓亮. 基于拐点线的大雾能见度检测算法 [J]. 计算机应用, 2015, 35 (2): 528-534.
- LIU Jian-lei, LIU Xiao-liang. Visibility Estimation Algorithm for Fog Weather Based on Inflection POINT Line [J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35 (2): 528-534.
- [13] 张洪坤, 薛模根, 周浦城. 基于非线性扩散均值漂移的Retinex雾天图像清晰化算法 [J]. 图形学报, 2013, 34 (2): 47-51.
- ZHANG Hong-kun, XUE Mo-gen, ZHOU Pu-cheng. Clearing Approach for Foggy Image Using Local Nonlinear Diffusion Mean Shift Retinex [J]. Journal of Graphics, 2013, 34 (2): 47-51.
- [14] 张毅飞, 吕科, 代双凤, 等. 基于均值漂移的遥感图像海陆边界分割算法 [J]. 光学技术, 2016, 42 (1): 39-45.
- ZHANG Yi-fei, LÜ Ke, DAI Shuang-feng, et al. A Sealand Segmentation Algorithm for Remote Sensing Images Based on Mean-shift [J]. Optical Technique, 2016, 42 (1): 39-45.
- [15] 郑浩, 董明利, 潘志康. 基于背景加权的尺度方向自适应均值漂移算法 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52 (22): 192-197.
- ZHENG Hao, DONG Ming-li, PAN Zhi-kang. Scale and Orientation Adaptive Mean Shift Tracking with Corrected Background-weighted Histogram [J]. Computer Engineering and Applications, 2016, 52 (22): 192-197.
- [16] HE Kai-ming, SUN Jian, TANG Xiao-ou. Guided Image Filter [C] // Proceedings of the 11th European Conference on Computer Vision (ECCV 2010). Heraklion, Greece: Springer, 2010: 1-14.
- [17] YANG Q X, TAN K H, AHUJA N. Real-time O(1) Bilateral Filtering [C] // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2009). Miami, US: IEEE, 2009: 557-564.
- [18] 宋洪军, 陈阳舟, 郜园园. 非结构化道路中基于均质雾天的摄像机动态标定算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25 (7): 1060-1073.
- SONG Hong-jun, CHEN Yang-zhou, GAO Yuan-yuan. A Dynamic Camera Calibration Algorithm Based on Homogenous Fog in Unstructured Road [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2013, 25 (7): 1060-1073.