

基于图像分割的交通图像快速去雾算法^①

胡平

(金华职业技术学院 信息工程学院, 金华 321017)

摘要: 现有去雾算法较少考虑交通图像的特征, 直接应用于交通图像去雾效果和实时性较差. 针对这一情况, 在充分分析了雾天交通图像特征的基础上, 提出一种基于图像分割的交通图像快速去雾算法. 算法首先采用改进的均值漂移算法分割出天空区域, 然后在天空区域中较准确的估计出大气光强度值, 最后采用基于双边滤波器的改进暗原色先验(DCP)算法实现去雾, 并结合雾天交通图像的特征对去雾图像进行了后处理, 增强了去雾效果. 实验结果证明该算法实时性高且去雾效果好, 在交通图像去雾方面所提出的算法的综合性能优于现有的同类去雾算法.

关键词: 图像分割; 去雾; 交通图像; 均值漂移; DCP

Fast Traffic Image Defogging Algorithm Based on Image Segmentation

HU Ping

(Information and Engineering College, Jinhua Polytechnic, Jinhua 321007, China)

Abstract: Less the traffic image features were considered in the existing defogging algorithms. Defogging quality and real-time performance are poor if they are directly applied to defog. Having analyzed the traffic image features, a fast traffic image defogging algorithm was proposed based on image segmentation technique. Firstly, an improved mean shift algorithm was used to segment sky region. Then atmospheric light intensity was accurately estimated in the sky region. Finally the improved dark channel prior (DCP) algorithm based on bilateral filter was used to defog to the traffic image, and post-processing was done to these defogging image by using fogging image features to enhance the defogging quality. The experimental results demonstrate that the proposed algorithm has higher real-time performance and can obtain better defogging quality. The overall performance of the proposed algorithm is better than that of existing similar algorithm in defogging for traffic images.

Key words: image segmentation; defogging; traffic Image; mean shift; dark channel prior

雾、霾或沙尘等能见度低的恶劣天气对交通监控等系统^[1]的摄像设备影响较大, 此时采集的图像观感模糊、对比度和色彩等信息严重衰减, 影响智能交通监控系统后续的车辆识别、违章判定或路况预警等功能的实现, 随着近年来雾霾天气的增多, 这一类问题愈加凸显, 因此国内外对图像去雾算法的研究逐渐成为交通和计算机视觉领域的热点.

目前较为常用的去雾算法分为两大类, 一类基于图像增强方法, 如直方图均衡化、同态滤波、多尺度

分析和 *Reitnex*^[2-4]等算法, 另一类则从图像复原的角度出发, 利用雾天图像退化的原理和先验知识, 建立图像退化模型, 从本质上去雾, 如 *McCartney*^[5]、*Oakley*^[6]和暗原色先验^[7,8]等算法.

现有算法直接用于交通图像去雾效果往往不好, 原因如下: 首先是实时性较差, 很难满足交通监控系统的需求, 如文献[7]中的暗原色先验法; 其次是效果不好, 甚至失效, 以公认去雾效果较好的 *Reitnex*、大气散射模型^[9]和暗原色先验等算法为例, 对于同时含

① 收稿时间:2014-01-24;收到修改稿时间:2014-04-14

有天空部分和亮度较大区域的交通图像,如:车辆或建筑等物体的反光部分,车辆的灯光或交通信号灯等,它们在估计大气光值这一参数时得到的估计值经常不准确,造成去雾效果差甚至失效。

针对上述交通图像去雾的难点问题,本文充分考虑了有雾交通图像的结构、直方图、时域和频域等特征,提出先对采集的交通图像进行分割,在分割后得到的天空区域做大气光估计,得到正确的大气光估计值后基于暗原色先验理论对交通图像去雾,最后利用直方图调整等图像增强算法对去雾效果进行加强。实验证明本文算法去雾效果好且能满足实时性要求,适合智能交通监控等系统的应用。

1 交通图像天空区域的分割

暗原色先验去雾时,大气光估计值 A 是重要的输入参数, A 值的准确程度直接影响去雾效果,文献[7]使用的估计方法是选取有雾图像暗原色中亮度最高的 0.1% 像素点,将这些像素中亮度的最大值作为大气光估计值 A 。但实际情况是整幅图像很可能存在一些区域,如灯光处或反光处,这些区域并不是天空区域,但亮度值高,按上面的方法很可能被误估计为大气光值。为了解决此问题,本文提出在估计大气光 A 之前先确定并分割出图像的天空区域,然后仅在天空区域内进行 A 的估计,保证大气光估计的准确性。

图像分割算法较多,但交通图像有比较明显的结构特征,因此本文选用了均值漂移算法分割有雾交通图像,并利用得到的交通图像结构特征对算法进行了改进。

1.1 雾天交通图像天空区域的判断

由于摄像头安装的位置大体相似,交通图像的结构特征非常明显,如道路处于图像下方近景处,车辆等感兴趣区域分布在中下部,而上部一般为天空区域。

根据此类统计规律可以在图像分割时设置一些限制条件。设图像的高度为 H ,某像素 i 的高度值为 $h(i)$,则可用 $p(i) = \frac{h(i)}{H}$ 表示该像素所处位置处于天空区域的概率,此概率还不能直接确定天空区域,但可以起到参考作用,为了更精确,可以再加入这个像素的亮度值情况。

如设 I_{\max} 和 I_{\min} 表示像素 i 在 RGB 某个通道中的亮度最大值和最小值,根据交通图像的结构特征,雾

气浓度随景深增加,而天空区域又处于图像上部的大景深处,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,则其所处位置也越接近天空区域。

将上述两个特征综合一下,则可用下面的公式(1)来判断像素所处位置。

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

满足上面公式的像素可近似的认为其为天空区域像素。

1.2 改进的均值漂移算法分割天空区域

均值漂移^[10]算法是 1975 年由 FuKunaga 和 Hostetler 提出的,算法普遍应用于图像分割和目标跟踪等领域,也有很多研究对算法进行改进以提高算法的运行速度和准确率。算法的核心思想是从样本集出发,对密度函数进行非参数迭代核密度估计,由此可得出未知概率分布的近似分布。介绍算法的文献很多,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 表示选用核函数的带宽,而 M 则表示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,因此本文也对均值漂移算法进行了改进,以适应雾天交通图像的天空区域分割需求。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)从起始位置的第一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)经过平滑后的图像即可进行分割,分割时分别将空间中距离小于 h_s 且特征域中所有距离小于 h_s 的所有点划分为一类,最终可能得到很多类,此时使用公式(1)来帮助判断该像素点所处的区域有多大的概率处于天空区域,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 的再次合并。

算法的改进在第 5)步,也是均值漂移算法最为核心的步骤,即分类.由于本文只想得出准确的天空区域,因此,结合交通图像的结构特征提出了一个判断天空区域的公式(1),通过此公式可以将处于天空区域内的所有分类合并,通过实验调试好带宽 h 和 M 后分割结果非常理想,不会出现过分割或欠分割问题.

改进后的算法分割雾天交通图像的效果如下图 1 所示.



图 1 改进均值漂移算法分割天空区域

分割出来天空区域后,在此区域内估计 A 值,具体是:取亮度值最大的 10%像素点,求出这些像素点的亮度均值,将此均值作为大气光估计值 A .

2 基于暗原色先验的交通图像快速去雾

2.1 暗原色先验的基本原理

暗原色先验(DCP-Dark channel pixel)是一种图像的统计规律,由 Kaiming He 在 2009 年提出^[7],暗原色即亮度值很小接近为 0 的点,它存在于任何图像,可以用如下公式求解.

$$J_{dark}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\min_{y \in \Omega(x)} (J_c(y)) \right) \quad (2)$$

其中, $J_{dark}(x)$ 表示暗原色, $J_c(y)$ 为采集到的彩色图像中某个色彩通道.晴朗天气采集的图像,其 $J_{dark}(x)$ 总体为黑色,也即除了天空区域外,其它部分一般亮度极小甚至为零,而雾天图像的 $J_{dark}(x)$ 图的色彩则与其雾的浓度相关.晴朗天气采集的图像,其总体为黑色,也即除了天空区域外,其它部分一般亮度极小甚至为零,而雾天图像的图的色彩则与其雾的浓度相关.

2.2 基于暗原色先验去雾的步骤

本文基于暗原色先验的原理,通过大量的交通图像去雾实验,确定了适合的输入参数.现给出基于暗原色先验的交通图像去雾算法步骤如下:

1) 求出 RGB 三色通道各自的暗原色图, $JC_{dark}(x)$ 其求解公式如下;

$$JC_{dark}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\min (J_c(y)) \right) \quad (3)$$

2) 求出透射率 $t(x)$, 其求解公式如下;

$$t(x) = 1 - \omega \left(\frac{JC_{dark}(x)}{A} \right) \quad (4)$$

上式中 ω 的是一个调整参数,一般可取 0.8. 这是因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”,这个“薄雾”对人们形成空间感至关重要,因此去除雾霾时不能太彻底,要留下一点点才真实.

3) 得到初步去雾的交通图像 $J(x)$, 其求解公式如下;

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (5)$$

在上面的公式中 $I(x)$ 是雾天交通图像, $J(x)$ 表示要求的去雾清晰图像, t_0 是一个常数,一般取 0.1, 大气光强 A 已经在上文求出.透射率 $t(x)$ 是唯一要求出的,可以先按照步骤 2) 中 He 给出的公式进行求解,得到粗略的透射率估计图.

2.3 暗原色先验去雾算法的改进

基于暗原色先验去雾时如果只按照上文的 3 个步骤进行,得到的去雾图像 Halo 现象较为明显, He 提出了将 $t(x)$ 进行细化的方法,但速度很慢,不具有实时性,因此本文提出采用双边滤波^[11]快速细化透射率图,对 He 算法进行速度改进,其公式如下.

$$T(x) = \frac{1}{W(x)} \sum_{y \in \Omega(x)} G_{h_s}(\|x - y\|) G_{h_v}(\|I_x - I_y\|) t(x) \quad (6)$$

上式中的双边滤波器主要受三个参数控制,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. h_s 和 h_v 分别为空域和值域高斯模板的大小,其受输入图像的 I 值影响.

采用双边滤波做透射率 $t(x)$ 的平滑和细化时需要反复实验,在效果和实时性上取得平衡,本文中取 $\Omega(x)$ 窗口大小为 15×15 , h_s 和 h_v 分别为 5 和 0.3. 从最终去雾的效果来看与 He 方法接近,但实时性大幅提高,比较适合交通图像的去雾处理.

3 结合交通图像特征的去雾后处理

采集交通图像时无论使用的是一般摄像头还是高

清摄像头其光学成像原理都是相同的。雾霾天气时，由于大气的散射作用，采集的图像与晴天相比质量下降。如图像的对比度随着景深的增加成指数性衰减，图像的色彩信息随雾气浓度的增加而丢失，其 RGB 灰度值分布从分散变为集中，图像的细节等信息变得不明显。这些雾天图像的降质特征可以通过求取图像的直方图、频谱等方式得到。本文通过自行采集、网络搜索和公开数据库获取等方式构建了用于实验的交通图像数据库。数据库共有静态图像 7736 帧，视频 155 段，共计 23370 帧，其中雾天静态图像 2323 帧，视频 76 段，共计 9878 帧。通过对数据库中的交通图像进行分析，可以得到如下雾天交通图像的特征。

3.1 雾天交通图像的特征

3.1.1 雾天交通图像的对比度特征

雾霾、沙尘等悬浮在大气中的粒子对可见光具有散射作用，从摄像头的成像原理和大气散射理论可容易的发现图像的对比度随景深的增加成指数性衰减，很多基于大气散射模型或先验知识的去雾算法都引用了如 Duntley 等提出的这一规律。因此，图像去雾时必须考虑深度信息，交通图像中感兴趣的对象一般处于浅景深处，如近景中的车辆、道路标志标线、信号灯等，如果用空域不变的算法则不会有好的去雾效果。

3.1.2 雾天交通图像的时域特征

本文的研究中，从采集不同雾气浓度的大量交通图像的色彩直方图特征中可以发现如下重要特征：

1)与晴朗天气下采集的交通图像相比，雾天交通图像的直方图分布范围缩小且明显向中间靠拢，雾的浓度越大，靠拢越明显，如下图 2 所示。

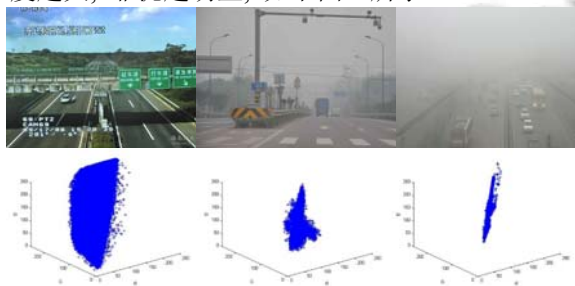


图 2 雾霾浓度不同时的 RGB 分布特点

这种现象表明雾的浓度越大，采集到的交通图像可用的色彩信息越少。

2)交通图像一般都含有天空区域，其灰度直方图上灰度较大处往往会出现一个比较明显的波峰，如下

图 3 所示。



图 3 雾霾交通图像的灰度直方图特征

此波峰所对应的灰度范围可以粗略的表示天空区域的灰度变化。但也有特殊情况导致此特征不明显，如采集图像中有车灯、信号灯、路灯或建筑物等物体的反光灯光源时可能波峰不明显。

3.1.3 雾天交通图像的频域特征

下图 4 是晴朗天气和雾天交通图像的傅里叶频谱。可以发现，晴天时高频部分明显多于雾天时，这说明图像的边缘信息受雾霾的干扰而衰减，所以很多去雾算法中都含有边缘增强的部分。

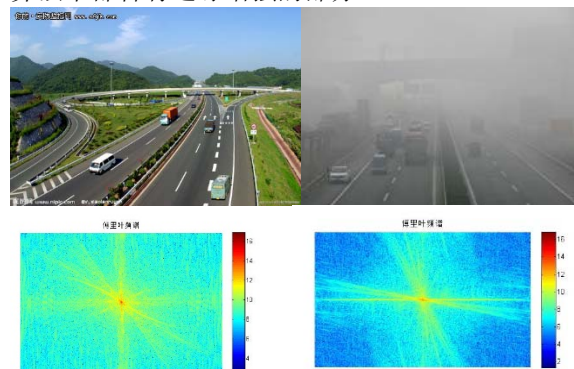


图 4 雾霾浓度不同的的交通图像频域特征

根据上述特征，本文提出对去雾后的图像进行直方图调整等图像增强处理，使得去雾后的图像对比度更强，RGB 像素分布均匀，色彩灰度分布趋于合理，高频信息增加，利于车牌识别等对边缘信息需求较大的应用。

3.2 本文算法的基本流程

综合前文所述，本文算法的基本思想是：对采集得到的彩色雾天交通图像，首先利用改进的均值漂移 (Mean shift)算法进行分割，分割的主要目标是将图像分割为天空区域与非天空区域两块；其次算法利用分割出的天空部分计算出大气光估计值 A；最后利用暗原色先验算法完成去雾，为了增强去雾效果，根据雾天交通图像的特点，采用直方图调整等图像增强方法

对图像进行后处理. 算法的基本流程如下图 5 所示.

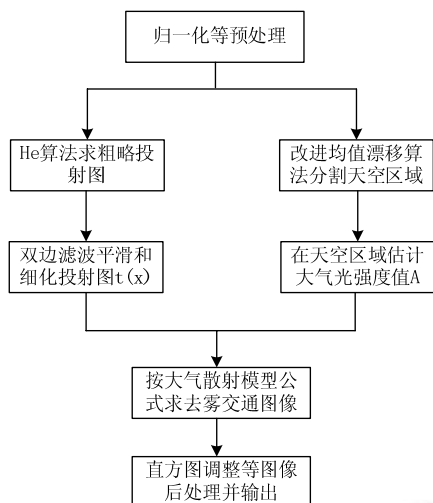


图 5 本文算法的基本流程

4 实验结果及分析

本文算法在 Intel(R) Core(TM)i3-2350M CPU @ 2.30GHz 2.30GHz, 内存为 4GB 的 PC 机上进行了实验验证. 操作系统为 Windows 7, 开发平台为 Matlab2013a. 实验用的交通图像数据库是通过自行采集、网络搜索和公开数据库获取等方式构建的. 库中有静态图像 7736 帧, 视频 155 段, 共计 23370 帧, 其中雾天静态图像 2323 帧, 视频 76 段, 共计 9878 帧. 为了便于实验, 本文选取的图像都进行了归一化等预处理, 同时与许多算法如 He 算法一样, 为了提高去雾质量, 图像去雾后进行了直方图等后处理.

下图 6 给出本文算法与 He 算法的去雾效果比较.

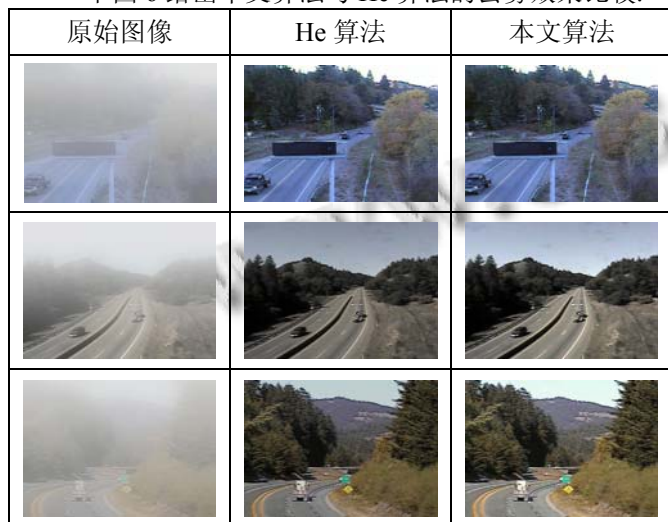


图 6 本文算法与 He 算法的去雾效果比较

从图上可以看出, 本文提出的算法效果与 He 算法效果接近, 均能有效去雾.

为了更好的说明算法的有效性和实时性, 在下表

1 中给出本文算法与 He 方法在方差、熵值和运算时间的对比.

表 1 本文算法与 He 算法有效性与实时性比较

	原始图像	He 算法	本文算法
方差	50.179	38.880	37.967
熵值	93.245	92.997	92.598
运算时间(秒)	\	0.651	0.072

从表 1 中可以看出本文算法与 He 方法的去雾效果相似, 但运算时间上优于 He 方法, 具有实时性, 能满足交通监控系统的需求.

5 结论

本文提出了一种基于图像分割的交通图像去雾快速算法. 针对现有去雾算法在估计大气光强度值 A 时不准确或估计失效的情况, 算法提出先采用改进的均值漂移算法分割出天空区域, 然后在此天空区域中较准确的估计出 A 值, 提高了准确度, 避免了当图像中出现非天空区域的高光物体时 A 值估计失效的问题. 此外, 算法针对 He 提出的暗原色先验去雾算法实时性差的问题, 选用双边滤波快速平滑和细化投射图, 兼顾了去雾效果和实时性能, 最后, 算法结合雾天交通图像的特征, 采用了直方图调整等图像增强算法, 增强了去雾效果. 通过实验结果的对比分析, 可以得到结论: 本文算法的交通图像去雾效果与 He 方法接近且具有较好的实时性, 能够满足交通监控等相关系统的应用需求.

参考文献

- 张洪斌, 黄山. 面向城市路口的高清晰智能监控系统研究. 四川大学学报(工程科学版), 2012, 44(Z1): 224-228.
- 程娅荔, 张也驰. 基于 MSR 的雾天图像清晰化算法研究. 计算机仿真, 2012, 29(4): 305-308.
- 张惊雷, 高斌. 基于大气散射模型和曲波变换的交通图像增强研究. 河北工业大学学报, 2011, 40(2): 62-66.
- 李菊霞, 余雪丽. 雾天条件下的多尺度 Retinex 图像增强算法. 计算机科学, 2013, 40(3): 299-301.
- McCartney EJ. Optics of The Atmosphere: Scattering By Molecules And Particles. New York, John Wiley and Sons, 1976: 23-32.
- Oakly JP, Satherly B. Improving images quality in Poor visibility conditions using a physical model for degradation. IEEE Trans. on Image Processing, 1998, 7(2): 167-179.
- He KM, Sun J, Tang XO. Single image haze removal using dark channel prior. Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). New York, USA, 2009: 1956-1963.
- 张冰冰, 戴声奎, 孙万源. 基于暗原色先验模型的快速去雾算法. 计算机图象图形学报, 2013, 18(2): 184-188.
- 王孝通, 郭珈, 金鑫, 马跃. 大气散射模型的海上视频图像去雾技术. 中国航海, 2013, 36(1): 13-17.
- 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. 图形学报, 2013, 34(2): 47-51.
- 陈龙, 郭宝龙, 毕娟, 朱娟娟. 基于联合双边滤波的单幅图像去雾算法. 北京邮电大学学报, 2012, 35(4): 19-23.