

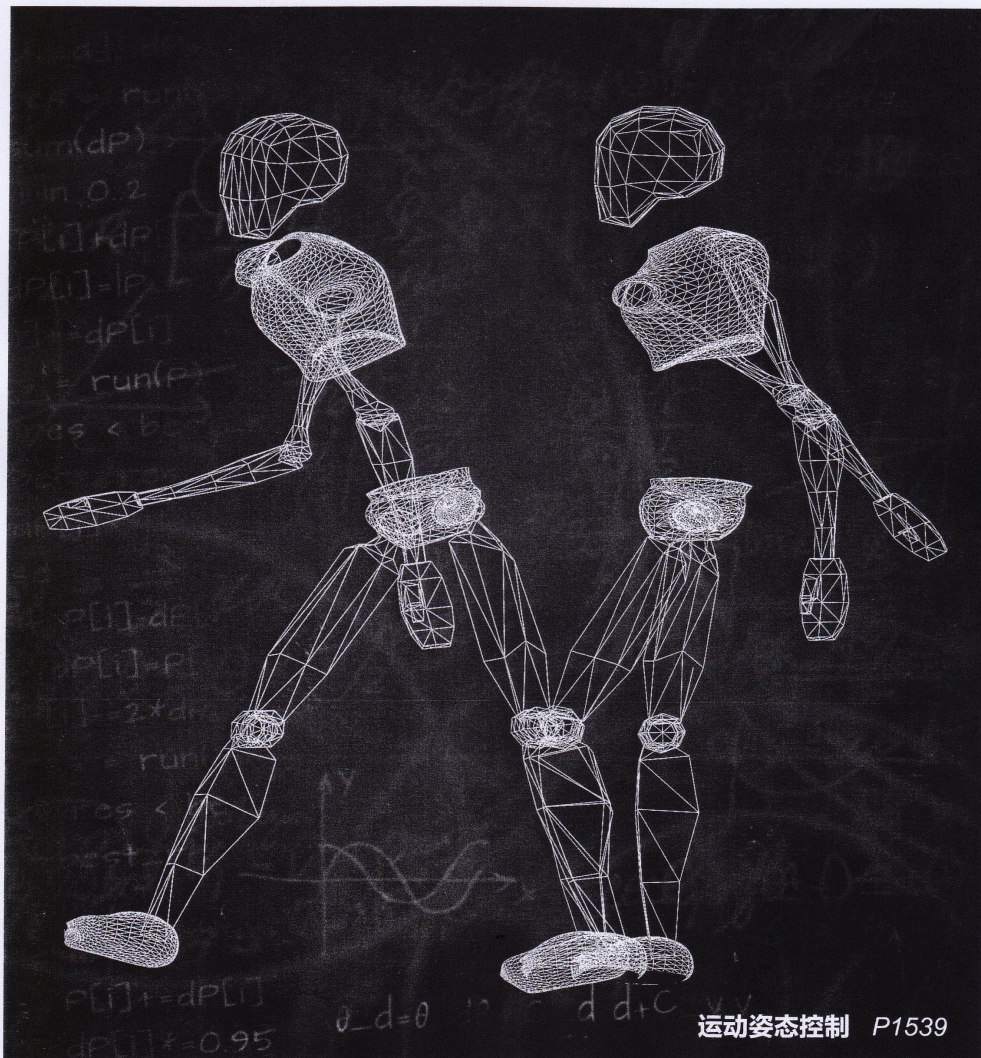
邢晓敏. 雾天交通场景中单幅图像去雾[J]. 中国图象图形学报, 2016.11:1440-1447

JIG
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS
主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象 图形学报

2016
11
VOL.21

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



邢晓敏代表作

综述

多媒体技术研究: 2015——类脑计算的研究进展与发展趋势

黄铁军, 施路平, 唐华锦, 潘刚, 陈云霁, 于俊清 1411

遥感大数据研究现状与发展趋势

朱建章, 石强, 陈凤娥, 史晓丹, 董泽民, 秦前清 1425

图像处理 and 编码

雾天交通场景中单幅图像去雾

邢晓敏, 刘威 1440

图像局部交互熵分割模型的两步快速优化

宋杨杨, 刘迎洲, 谢晓振, 郝智慧 1448

联合模板先验概率和稀疏表示的目标跟踪

田猛, 路成, 周健, 施汉琴, 陶亮 1455

图像分析和识别

多特征融合与独立测度学习的行人再识别

齐美彬, 胡龙飞, 蒋建国, 高灿 1464

融合局部特征的面部遮挡表情识别

王晓华, 李瑞静, 胡敏, 任福继 1473

正例投票下的L1目标跟踪算法

胡良梅, 王健, 张骏, 张旭东 1483

基于高斯模型的手部肤色建模与区域检测

杨世强, 弓选琦 1492

图像边缘轮廓自适应阈值的角点检测算法

赵亚利, 章为川, 李云红 1502

基于高斯眼白模型的疲劳驾驶检测

旷文腾, 毛宽诚, 黄家才, 李海彬 1515

图像理解和计算机视觉

局部特征及视觉一致性的柱面全景拼接算法

朱庆辉, 尚媛园, 邵珠宏, 尹晔 1523

双目系统全视域采样的SVM标定模型分析

杨剑锋, 蔺刚, 留沧海, 李斌 1530

计算机图形学

面向多骨骼及多风格的行走运动控制器

鲁明, 张迎凯, 刘晓平 1539

遥感图像处理

基于地表参数真实性的GF-1和SPOT-7多光谱影像质量评价

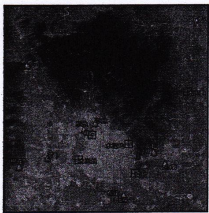
巫兆聪, 杨帆, 张熠, 巫远, 喻文疆 1551



联合模板先验概率和稀疏表示的目标跟踪(第1455页)



基于高斯模型的手部肤色建模与区域检测(第1492页)



基于地表参数真实性的GF-1和SPOT-7多光谱影像质量评价(第1551页)

中图分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2016)11-1440-08

论文引用格式: Xing X M, Liu W. Haze removal for single traffic image[J]. Journal of Image and Graphics, 2016, 21(11): 1440-1447. [邢晓敏, 刘威. 雾天交通场景中单幅图像去雾[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(11): 1440-1447.][DOI:10.11834/jig.20161103]

雾天交通场景中单幅图像去雾

邢晓敏¹, 刘威²

1. 武汉交通职业学院电子与信息工程学院, 武汉 430065; 2. 武汉理工大学计算机科学与技术学院, 武汉 430070

摘要: 目的 针对雾天交通场景中通常含有大片天空区域, 传统去雾方法在复原这些图像时容易产生光晕、色彩失真等现象。提出一种基于天空区域分割和暗通道先验理论的图像去雾方法。方法 首先提出一种基于最大类间方差法(OTSU)的图像分割算法来自动分离天空区域, 然后将天空区域的平均强度值作为大气光值, 从而改进场景传输率的估计。结果 本文方法不仅有效地解决了图像去雾后出现光晕和色彩失真等问题, 与 He Kaiming 以及 Fattal 的方法相比, 本文方法去雾后的图像更加真实、自然、平滑。结论 实验结果表明, 本文方法能够很好地完成对雾天交通图像的复原, 可为道路交通监管提供一种有效的理论基础和技术支撑。

关键词: 雾天交通场景; 暗原色先验; 图像去雾; 图像分割; 图像复原; 雾天退化模型

Haze removal for single traffic image

Xing Xiaomin¹, Liu Wei²1. Wuhan Technical College of Communication, School of Electronics and Information Engineering, Wuhan 430065, China;
2. Wuhan University of Technology, School of computer Science and Technology, Wuhan 430070, China

Abstract: **Objective** Several tiny particulates are suspended in air during poor weather condition (e. g., haze or fog). The color and contrast of the captured picture from image devices are severely degraded because of scattering, thereby consequently affecting visual experience. Haze is a common phenomenon in China's cities and towns, especially in the metropolis. Haze reduces visibility and seriously affects the closed circuit television surveillance system, thereby leading to difficulties in traffic monitoring and increase in traffic accidents. Using traditional methods to remove the haze in traffic image usually results in various problems, such as halo and color distortion. To remove the large sky area in traffic image, this paper proposes a haze-removal method based on sky segmentation and dark channel prior. **Method** We use the maximum of the top 0.1 percent brightest pixels in the dark channel (as selected by He) corresponding to the original image as the value to the atmospheric extinction coefficient A . Accordingly, the value of A in each channel can be made closer to the maximum pixel value of 255. Resulting image after haze removal can generate color cast or a large number of color spots. According to the characteristics of haze image in traffic scene, we propose a novel algorithm that automatically separates sky regions to optimize the model and thus solve the image distortion of sky region after dehazing by dark channel prior. For sky segmentation, we introduce an OTSU method to complete the task. In our haze removal algorithm, we present the average intensity of the sky as the atmospheric extinction coefficient, and estimate the scene transmission of the sky and the non-sky regions. Then, we combine two parts of the scene transmission as a whole to refine the transmission. This step makes the restored sky region highly natural looking. **Result** Compared with Fattal's method and He's method, our algorithm obtains better image sharpness and edge details of the recovered image. The distortion of the recovered image is also lower than that

收稿日期: 2016-06-20; 修回日期: 2016-07-21

第一作者简介: 邢晓敏(1979—), 女, 讲师, 2006年于武汉理工大学获检测技术与自动化装置专业硕士学位, 主要研究方向为数字图像处理。E-mail: josephson870921@163.com

of the recovered image by Fattal's method and He's method. In the rehabilitation of the sky region, our algorithm exhibits highly natural looking and smooth resulting image. On the contrary, Fattal's method and He's method show a large number of spots or halos appearing in the sky region. **Conclusion** The proposed method can effectively restore the traffic haze image. Specifically, no spots or distortions are found in the sky region of the recovered image by our method. The proposed method can also provide an effective theoretical basis and technical support for road traffic supervision. However, our algorithm has the following limitations. The effect of the recovered image is poor when distant objects are under a thick-haze environment. This result is due to the optimization of scene transmittance. The attenuation coefficient of the transmittance (scattering coefficient) is assumed to be constant. However, in the actual atmosphere, the scattering coefficient changes under different weather conditions. Therefore, our future research will incorporate the weather factor into our algorithm to optimize an accurate and robust approach for removing the haze from traffic scene image.

Key words: haze traffic scene; dark channel prior; haze-removal; image segmentation; image restoration; haze image formation

0 引言

雾天空气中悬浮着大量微小悬浮粒子,由于其散射作用造成户外图像颜色和对比特度严重退化,影响人们的视觉感受。在中国的道路交通环境中,特别是城市道路交通,时常都会有雾霾的出现,不仅造成能见度的降低,还严重影响着交通视频监控系统,非常不利于交通监测,大大提高了交通安全事故率。

近年来,国内外关于雾天图像的清晰化问题,提出了很多去雾算法,主要有基于图像复原^[1-6]和图像增强^[7-8]两类方法。前者主要是以雾天图像降质的物理过程为基础,建立雾天退化模型,在反演图像退化的过程中完成对参数的最优化估计,补偿退化过程中所造成的图像失真,从而改善雾天图像质量;后者主要是增强被降质图像的对比特度,突出图像中景物的特征和有价值的信息,从而改善图像的质量。但是图像增强方法从本质上来讲只是提高了图像的对比特度和清晰度,并没有真正意义上实现对图像的去雾,因此图像复原的去雾算法得到越来越多学者的关注与研究。

Tan等人^[1]观测到与有雾图相比无雾图具有更高的对比特度,从而提出了利用最大化图像局部对比特度来实现图像的去雾,但是去雾后的图像往往会出现颜色过于饱和的现象,原因是没有考虑大气光成分这一因素的影响。

Fattal等人^[2]通过假设场景目标表面投影和光的传播局部不相关,提出一种估算场景反射率从而推导出场景透射率的方法来实现雾天图像的去雾。因为该方法基于数理统计,并且要求具有足够的颜色信息,所以当处理浓雾天气下颜色暗淡的图像时,

由于统计信息不足导致图像复原后出现失真。

为解决以上几种方法的问题,He等人^[3]在2009年提出了一种基于暗原色先验理论并结合雾天成像模型的方法来实现雾天图像的去雾,该方法能够很好地实现有雾图像的复原,但是,由于该算法建立在暗原色先验基础之上,因此对于诸如天空、白云等不存在暗原色的明亮区域,其恢复结果往往会出现明显的颜色失真。然而交通场景中,很多图像往往包含有大片的天空区域。

基于此,本文在基于He的暗原色先验理论的基础上,提出一种新的方法来实现对雾天交通图像的去雾。首先将雾天图像进行图像分割得到天空区域和非天空区域,然后分别对不同的区域进行图像去雾操作,从而改进暗原色先验模型对天空区域过度增强的缺陷。

1 背景

1.1 雾天图像退化模型

雾天图像成像的过程中主要受两方面因素的影响。一方面,由于受大气中微小颗粒的散射作用,使得从景物反射到达成像设备的人射光出现衰减现象;另一方面,大气粒子的散射作用还将天空中的自然光一起参与图像成像,造成雾天拍摄图像整体偏向于灰白色。因此,在计算机视觉和计算机图形学领域中,被广泛用于描述雾天图像成像模型^[2-4],即

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

式中,右边第1项 $J(x)t(x)$ 通常被叫做直接衰减模型,第2项 $A(1 - t(x))$ 叫做大气光成像模型。 $I(x)$ 代表的是在像素 $x = (x, y)$ 处观测图像强度, $J(x)$ 是场景光线强度, A 是大气光, $t(x)$ 代表的是到达成

像设备时没有被散射和吸收的介质透射率。去雾的目标就是从 I 中复原 J, A 和 t , 式(1)也可以写为

$$J(x) = \frac{I(x) - A(1 - t(x))}{t(x)} \quad (2)$$

从式(2)中可以看到,要想得到复原后的图像 $J(x)$,除了已知的输入图像 $I(x)$ 外,还需要估计出未知的 A 和 $t(x)$,即,从一个单幅图像 I 中,需要估计出未知的 J, A 和 t 。因此,可以看出图像去雾实际上是一个不适定问题,这就需要给出一些设定或先验知识来解决这样一个具有挑战的问题。在模型式(1)或(2)中, $t(x)$ 可以被表述为

$$t(x) = e^{-\beta d(x)} \quad (3)$$

式中, $\beta^{[9]}$ 代表的是光线受到大气微粒散射和吸收所造成的散射系数, d 指的是图像中的场景深度。方程式(3)指示的是场景的对比度随着场景深度的增加而成指数的形式衰减。通常式(3)被称为大气均匀条件下的传输图,认为散射系数 β 是恒定不变的。

1.2 暗原色先验理论

暗原色先验理论是由 He 等人^[3]对室外大量无雾图像进行统计观察后所提出来的:在绝大部分不包含天空区域的局部区域里,至少会有一个颜色通道中存在一些亮度很低的像素点,甚至趋近于零。相当于区域中最小亮度值趋近于零。因此,对任意一幅图像 J ,其暗通道^[3]被定义为

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} (\min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(y)) \quad (4)$$

式中, J^c 代表 J 的某一个颜色通道, $\Omega(x)$ 代表以 x 为中心的一块方形区域。对图像进行两次最小值操作得到一个暗通道输出: $\min_{c \in \{r, g, b\}}$ 被用作处理每一个像素, $\min_{y \in \Omega(x)}$ 是最小值滤波器。这两个最小值操作时可以相互交换。因此,基于暗通道的概念,当 J 为一幅室外无雾图像时,除去天空区域, J 的暗原色 J^{dark} 的亮度很低并且趋近于 0, 即

$$J^{\text{dark}} \rightarrow 0 \quad (5)$$

2 基于天空区域分割的去雾算法

2.1 天空区域分割算法

由于雾天交通场景中图像整体呈现灰白色状态,对比度与亮度变化缓慢,且图像中前景目标一般比较色彩鲜艳,而背景特别是天空区域,几乎呈白色状态。实验中,如果采用边缘检测算法来进行图像

天空区域的分割,由于雾所造成的图像边缘模糊,得到的往往是断续的、不完整的图像结构信息;虽然基于神经网络的分割算法能够很好地分割图像,但是其计算量大,所耗时间长且收敛速度慢。与这些算法相比较,大津算法(OTSU)不仅计算简单,且结合雾天交通图像的特点,其不受图像对比度与亮度变化的影响。因此采用大津算法^[10-11]对交通雾图进行天空区域的分割具有很好的应用效果,大大简化了后期雾天交通图像的复原工作。其分割后的图像如图1所示。

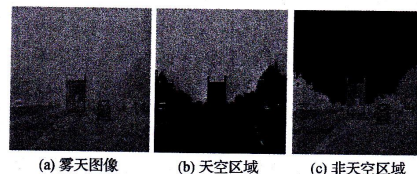


图1 基于 OTSU 的天空区域分割图

Fig. 1 The sky region by using OTSU ((a) haze image; (b) sky region; (c) non-sky region)

假定一幅图像有 M 个灰度级,图像中的灰度级记作 $i, i \in \{0, 1, 2, \dots, M-1\}$, 计算图像的直方图,统计任一灰度级的个数 f_i , 图像的像素总个数记为 N , 其中 $N = f_0 + f_1 + \dots + f_{M-1}$ 。此时图像中出现灰度级 i 的概率为

$$p_i = \frac{f_i}{N}, p_i \geq 0, \sum_{i=0}^{M-1} p_i = 1 \quad (6)$$

设置阈值 t 将图像中的像素按灰度级分为两类,一类为目标 T , 一类为背景 B , 即 $T = \{1, 2, \dots, t\}$, $B = \{t+1, t+2, \dots, M\}$, 当两组的灰度值类类方差最小且类间方差最大时,该算法得以实现。本文中,背景为天空区域,天空区域以外的区域都为目标区域。其具体算法步骤如下:

1) 假设 t 为图像的分割阈值,分别计算前景产生概率 ω_T 和背景产生概率 ω_B ;

2) 计算前景平均灰度值 μ_T 和背景平均灰度值 μ_B ;

3) 计算图像的总平均灰度值 μ , 和类间方差 σ^2 ;

4) 求取最大化类间方差值作为最佳分割阈值。

两类出现的概率分布分别为

$$\omega_T = \sum_{i=0}^t p_i = \omega(t) \quad (7)$$

$$\omega_B = \sum_{i=t+1}^{M-1} p_i = 1 - \omega(t) \quad (8)$$

两类的灰度均值分别为

$$\mu_T = \sum_{i=0}^t \frac{ip_i}{\omega_T} = \sum_{i=0}^t \frac{ip_i}{\omega(t)} \quad (9)$$

$$\mu_B = \sum_{i=t}^{M-1} \frac{ip_i}{\omega_B} = \frac{\mu_r - \mu(t)}{1 - \omega(t)} \quad (10)$$

式中, μ_r 为图像的总平均灰度, 记为 $\mu_r = \omega_r \mu_r + \omega_B \mu_B$;

$\mu(t) = \mu(t) = \sum_{i=1}^t ip_i$ 。对于任意 t 值有 $\omega_r + \omega_B = 1$ 。

OTSU 中的类间方差可以定义为

$$\sigma^2 = \omega_r(\mu_r - \mu_r)^2 + \omega_B(\mu_B - \mu_r)^2 = \omega_r \omega_B (\mu_r - \mu_B)^2 \quad (11)$$

从以上各式中可以看到 σ^2 是关于 t 的函数, 因此只要求出最大化的类间方差值, 就可以得到最佳分割阈值, 其分割阈值 T 的获取方式为

$$T = \arg \max_{0 \leq t \leq M-1} \{\sigma^2(t)\} \quad (12)$$

2.2 大气光和场景传输率估计

在进行大气光估计、场景传输率估计之前, 首先需要描述如何应用暗原色先验理论来实现雾天图像去雾。结合雾天图像成像模型式(1), He^[3]假设大气光 A 是一个已知的常量, 并且假设在一个局部区域 $\Omega(x)$ 里透射率 t 是恒定不变的, 将其定义为 $\tilde{t}(x)$ 。对雾天图像模型两边同时除以 A , 然后应用暗原色先验, 两边再求最小值运算得到, 即

$$\min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{F(y)}{A^c} \right) = \tilde{t}(x) \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{J^c(y)}{A^c} \right) + 1 - \tilde{t}(x) \quad (13)$$

由于场景辐射 $J^c(x)$ 是一个无雾图像, $J^c(x)$ 的暗通道值趋近于 0。因此, 根据暗原色理论可知

$$\min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{J^c(y)}{A^c} \right) = 0 \quad (14)$$

将式(14)代入式(13)得到透射率的估计值为

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{F(y)}{A^c} \right) \quad (15)$$

但是在现实生活中, 即使是晴天白云, 空气中也有着一些颗粒, 当观看远处的物体时依然能够感觉到雾的影响。因此, 为了使去雾后的图像看起来更自然, 在去雾时有必要保留一定程度的雾。He^[3]为方程式(15)引入一个常数 ω ($0 < \omega \leq 1$), 即

$$\tilde{t}(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{F(y)}{A^c} \right) (\omega \in (0, 1]) \quad (16)$$

设定 ω 的值为 0.85。

但是在以上的推论中, 大气光 A 的值都是已知的。而在进行传输率 $\tilde{t}(x)$ 估计之前, 首先需要估计出大气光 A , 它的估计精确与否将很大程度上影响最终的图像复原。Tan^[1]将输入图像中具有最高强度的像素点的值作为 A 。He^[3]的做法是, 从暗通道图中按照亮度的大小提取前 0.1% 的像素, 然后取这些像素所对应的在原图像中的最大值作为 A 的值。他们的方法最终都是取原始图像像素中某一个点的像素作为 A 的值, 这样做会使得各通道的 A 值很可能全部接近于最大像素值 255, 造成处理后的图像偏色或出现大量色斑, 并且 Tan^[1]的方法只有当天气为阴天, 太阳光被忽略时, A 的取值才有效。

为了更好地估计大气光 A 的值, 将之前分割后的原始图像天空区域的平均强度值作为 A 的估计值。因为天空区域的景深可以被认为是无穷远的, 即

$$d(x) \rightarrow +\infty \quad (17)$$

将式(17)代入式(3)可知

$$t(x) \approx 0 \quad (18)$$

再将式(18)代入式(1)可知

$$I(x) \approx A \quad (19)$$

此时, 式(19)中的 A 值可以认为是最大雾区域的亮度值^[1]。因此, 将天空区域的平均强度作为大气光 A 的值, 认为是合理的。即

$$A^c = \text{mean}_{c \in \{r, g, b\}} F_{\text{sky}}(y) \quad (20)$$

式中, F_{sky} 代表天空区域中的一个颜色通道, $\text{mean}_{c \in \{r, g, b\}}$ 被用来处理每一个像素, 其中 mean 为一个平均值滤波器。将式(20)代入式(16)得到最终的场景传输率为

$$\tilde{t}(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{F(y)}{\text{mean}_{c \in \{r, g, b\}} F_{\text{sky}}(y)} \right) \quad (21)$$

2.3 场景传输率优化及恢复

从图 2(a)中可以看到, 通过暗原色先验所得到的场景透射率图是很粗糙的, 并且图 2(a)中出现了很多的块状效应, 这将导致最后的去雾图像中出现光晕现象或者雾没有除尽的现象。造成这种结果的原因是由于在图像的每个局部区域里 $t(x)$ 的值并不总是恒定不变的。在恢复图像之前为了不让这种现象的产生, He 等人^[3]采用软抠图的方式来优化场景传输率。通过优化后的场景传输率得到了很好的恢复图像。但是软抠图计算复杂, 需要很长的处理时间, 为此, He 又提出了一种导向滤波^[12]的方法来优化传输率, 优化后的传输图如图 2(b)所示。这种



(a) 雾天交通图像 (b) Fattal的去雾结果 (c) He的去雾结果 (d) 本文去雾结果

图5 不同方法的去雾结果对比

Fig. 5 Haze removal results by different methods ((a) haze image; (b) Fattal's result; (c) He's result; (d) our result)

被过度增强,因此离天空区域较近的位置,也就是图像中景深较远位置的去雾效果并不是很好。

4 结论

本文对基于暗原色先验的去雾算法进行了理论

分析和实验观察,应用此方法对雾天交通图像实现了去雾。从中发现原算法在处理交通雾图时存在不足,原因是由于交通场景中通常含有大片天空区域的图像。因此,本文提出一种基于天空区域分割的改进暗原色先验去雾算法。此算法解决了暗原色先验在明亮区域估计透射率偏小的问题,使其更接近

实际情况,避免在处理这些区域时产生色彩失真。实验结果表明,改进的算法能够明显提高雾天交通图像的整体对比度、层次感,为道路交通监管部门提供了一个可靠的应用实施方案。

然而,本文算法还存在它的极限性,对于浓雾环境下景深较远的物体,其复原效果不是很好(如图3(e))。导致这样的结果是由于在场景传输率的优化中,假设传输率的散射系数是固定不变的,而在实际的大气中,散射系数是随着不同天气条件下空气中微粒的不同而变化着的。因此,在未来的工作中,可以将气象因素引入到去雾算法中,从而优化出更准确、鲁棒性更好的算法来实现雾天交通图像的去雾。

参考文献 (References)

- [1] Tan R T. Visibility in bad weather from a single image[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage, AK: IEEE, 2008: 1-8. [DOI: 10.1109/CVPR.2008.4587643]
- [2] Fattal R. Single image dehazing[J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): #72. [DOI: 10.1145/1360612.1360671]
- [3] 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. [DOI: 10.1109/TPAMI.2010.168]
- [4] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing[M]. Reading, MA: Addison-Wesley, 1992.
- [5] Guo J, Wang X T, Hu C P, et al. Single image dehazing based on scene depth and physical model[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(1): 27-32. [郭珈, 王孝通, 胡程鹏, 等. 基于单幅图像景深和大气散射模型的去雾方法[J]. 中国图像图形学报, 2012, 17(1): 27-32.][DOI: 10.11834/jig.20120104]
- [6] Huang M J, Liu Q, Xiong Y F, et al. Atmospheric light estimating algorithm based on inland haze image[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2013, 31(3): 33-38. [黄明晶, 刘清, 熊燕帆, 等. 面向内河雾天图像的大气光亮度值估算方法研究[J]. 交通信息与安全, 2013, 31(3): 33-38.][DOI:10.3963/j.issn.1674-4861.2013.03.007]
- [7] Zhan X, Zhou Y. Algorithm based on local variance to enhance contrast of fog-degraded image[J]. Journal of Computer Applications, 2007, 27(2): 510-512. [詹翔, 周焰. 一种基于局部方差的雾天图像增强方法[J]. 计算机应用, 2007, 27(2): 510-512.]
- [8] Li J X, Yu X L. Enhance algorithm for fog images based on improved multi-scale Retinex[J]. Computer Science, 2013, 40(3): 299-301. [李菊霞, 余雪丽. 雾天条件下的多尺度Retinex图像增强算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(3): 299-301.][DOI:10.3969/j.issn.1002-137X.2013.03.068]
- [9] McCartney E J. Optics of the Atmosphere: Scattering by Molecules and Particles[M]. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1976: 421.
- [10] Gong Q, Fu Y F, Ye J Y, et al. Otsu image segmentation algorithm based on rebuilding of two-dimensional histogram[J]. Computer Science, 2013, 40(8): 313-315. [龚勤, 付云凤, 叶剑英, 等. 基于二维直方图重建的Otsu图像分割算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(8): 313-315.][DOI: 10.3969/j.issn.1002-137X.2013.08.068]
- [11] Ding R, Liu J J, Li B L, et al. Modified multilevel thresholding Otsu method for image segmentation[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(S1): 214-217. [丁锐, 刘甲甲, 李柏林, 等. 改进的Otsu图像多阈值分割方法[J]. 计算机应用, 2013, 33(S1): 214-217.]
- [12] He K M, Sun J, Tang X O. Guided image filtering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(6): 1397-1409. [DOI: 10.1109/TPAMI.2012.213]