



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

2014
12
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像色彩和谐变化 P1766



第19卷第12期（总第224期）

2014年12月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 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

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

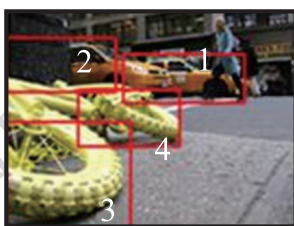
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元



改进鱼眼变换技术的图像适应(第1743页)



面向部件遮挡补偿的车辆检测模型(第1802页)



基于暗原色及入射光假设的单幅图像去雾(第1812页)

综述

视频摘要技术综述

王娟, 蒋兴浩, 孙铨锋 1685

局部二进制模式方法综述

刘丽, 谢毓湘, 魏迎梅, 老松杨 1696

图像处理和编码

2维全相位内插核的设计与实现

苏飞, 孙杰, 秦娟, 段宇翔 1721

改进的正则化模型在图像恢复中的应用

李旭超, 宋博 1730

改进鱼眼变换技术的图像适应

张丽霞, 区兆明, 宋鸿陟 1743

去除乘性噪声的分数阶变分模型及算法

田丹, 薛定宇, 陈大力 1751

丢包环境中H.264视频编码的快速模式判决

兰梦, 张远, 魏雨农 1759

图像分析和识别

偏度和峰度的图像色彩和谐变化

马云芳, 宋明黎, 卜佳俊 1766

结合稀疏表示和概率潜在语义的图像模糊度评价

张涛, 王新年, 梁德群 1775

Log-Gabor小波和分数阶多项式KPCA的火焰图像状态识别

宋昱, 吴一全 1785

加权局部二值模式的人脸特征提取

张洁玉, 武小川 1794

面向部件遮挡补偿的车辆检测模型

陈远, 谢昭, 吴克伟 1802

基于暗原色及入射光假设的单幅图像去雾

於敏杰, 张浩峰 1812

空间可变有限混合模型

申小虎, 吕导中, 万荣春 1820

遥感图像处理

高分辨率极化SAR图像水平集分割

邹鹏飞, 李震, 田帮森 1829

混合本征模型的多视SAR影像海冰密度检测

汪霄箭, 李玉, 赵泉华, 何晓军 1836

总目次

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Improved fisheye transformation for image retargeting (P1743)



Part-oriented occlusion compensate model for vehicle detection(P1802)



Single-image dehazing based on dark channel and incident light assumption(P1812)

Review

Review of video abstraction

Wang Juan, Jiang Xinghao, Sun Tanfeng 1685

Survey of Local Binary Pattern method

Liu Li, Xie Yuxiang, Wei Yingmei, Lao Songyang 1696

Image Processing and Coding

Design and implementation of 2D all-phase interpolation kernel

Su Fei, Sun Jie, Qin Juan, Duan Yuxiang 1721

Applying the improved regularization model to image restoration

Li Xuchao, Song Bo 1730

Improved fisheye transformation for image retargeting

Zhang Lixia, Ou Zhaoming, Song Hongzhi 1743

Fractional-order variation model and algorithm for multiplicative noise removal

Tian Dan, Xue Dingyu, Chen Dali 1751

Fast-mode decision for H.264 video coding in a packet-loss environment

Lan Meng, Zhang Yuan, Wei Yunong 1759

Image Analysis and Recognition

Image color harmonization algorithm using skewness and kurtosis

Ma Yunfang, Song Mingli, Bu Jiajun 1766

Image blur evaluation based on sparse representation and probabilistic latent semantic analysis

Zhang Tao, Wang Xinnian, Liang Dequn 1775

State identification of boiler combustion flame images via Log-Gabor wavelet and kernel principal component analysis with fractional power polynomial models

Song Yu, Wu Yiquan 1785

Feature extraction of faces based on a weighted local binary pattern

Zhang Jieyu, Wu Xiaochuan 1794

Part-oriented occlusion compensate model for vehicle detection

Chen Yuan, Xie Zhao, Wu Kewei 1802

Single-image dehazing based on dark channel and incident light assumption

Yu Minjie, Zhang Haofeng 1812

Spatially variant finite mixture model

Shen Xiaohu, Lyu Daozhong, Wan Rongchun 1820

Remote Sensing Image Processing

High-resolution PolSAR image level set segmentation

Zou Pengfei, Li Zhen, Tian Bangsen 1829

Intrinsic mixture model-based measurement of sea ice density from a multi-look SAR image

Wang Xiaojian, Li Yu, Zhao Quanhua, He Xiaojun 1836

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)12-1812-08

论文引用格式: Yu M J, Zhang H F. Single-image dehazing based on dark channel and incident light assumption[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(12): 1812-1819. [於敏杰, 张浩峰. 基于暗原色及入射光假设的单幅图像去雾[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(12): 1812-1819.] [DOI:10.11834/jig.20141213]

基于暗原色及入射光假设的单幅图像去雾

於敏杰, 张浩峰

南京理工大学计算机科学与工程学院, 南京 210094

摘要: 目的 雾是一种常见的天气状况, 针对雾能使图像中的景物对比度降低、表面颜色退化的问题, 提出一种基于入射光假设的单幅图像去雾方法。方法 首先利用全局暗原色进行初步去雾, 从而使图像透射率处于 $[0, 1]$ 范围内; 然后利用雾天光照均匀的特点以及 Retinex 的照度估计原理进行透射图的估计; 最后利用透射图以及初步去雾图像得到复原图像。结果 与 He 算法、Fattal 算法的对比实验结果显示, 该算法获得的复原图像细节清晰, 颜色自然。与引导滤波优化后的 He 去雾算法相比, 本文算法速度提高了 93%。结论 大量对比实验结果表明, 本文算法能够显著恢复雾天降质图像, 对于薄雾和浓雾同样有效, 具有广泛的适用性, 且算法原理简单。此外, 本文算法也同样适用于灰度图。

关键词: 去雾; 多尺度; 照度估计; Retinex; 入射光假设

Single-image dehazing based on dark channel and incident light assumption

Yu Minjie, Zhang Haofeng

School of Computer Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China

Abstract: **Objective** Fog is a common condition that reduces the contrast of an image, bleaches the surface color, and considerably reduces the value of outdoor images. To address this problem, we propose a defogging method for a single degraded image on the basis of dark channel and incident light assumption. **Method** We scan the image with a window to determine the window with the maximum mean brightness. We use the obtained average value as the atmosphere light. The dark channel prior assumption raised by He is not suitable to images that contain a large scene, so we weaken the assumption. We assume that a channel of a pixel whose value is zero exists. Basing on this assumption, we identify the darkest pixel value in the entire image and use the darkest pixel value as the global dark channel. We use the ratio of the grayscale of the point to the atmospheric light as the basis transmission of the image. Using this basis transmission, we conduct the initial dehazing. The transmission rate of the image will then be stretched to the $[0, 1]$ range. Images taken under a foggy weather almost have no shadow. We therefore assume that the incident light during a foggy day is uniform. We estimate the transmission by using a multi-scale approach combined with retinex theory that uses Gaussian convolution to estimate illumination. According to the haze imaging model, we can recover a high-quality, haze-free image by using this transmission map and the initial dehazing image. **Result** By weakening the dark channel prior assumption of He, we considerably improve its accuracy and perform the initial dehazing on the basis of the weakened assumption. Unlike in other methods, the transmission map of our algorithm does not exhibit an apparent object contour. The fuzzy transmission map is obviously rea-

收稿日期: 2014-05-15; 修回日期: 2014-07-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(61101197); 水下机器人技术国防科技重点实验室基金项目(9140C270205120C2701)

第一作者简介: 於敏杰(1990—), 男, 南京理工大学计算机科学与工程学院模式识别专业在读硕士研究生, 主要研究方向为图像处理。

E-mail: minjieyu@sina.com

通信作者: 张浩峰, E-mail: haofeng_njust@163.com

sonable according to the scattering characteristic of fog. Experimental results indicate that the algorithm can provide an accurate estimation of the transmission, and the restored images show natural colors and clear details. The algorithm also exhibits low computational complexity and almost does not need to set any parameters. Our algorithm shows good results and substantially increases the computing speed compared with haze removal theory on the basis of the dark channel prior of He. The proposed algorithm is not limited by a poor capability in processing images with thick fog, which is a key concern in Fattal's method. **Conclusion** This study proposes a new method to assume transmission on the basis of incident light assumption and retinex illumination estimation principle. A large number of comparative experiments show that the algorithm can significantly restore the quality of an image degraded by fog. Our method is effective for images taken under thin and thick fog, demonstrates wide applicability, and involves a simple principle. The proposed method is also applicable to grayscale.

Key words: dehazing; multi-scale; illumination estimation; Retinex; incident light assumption

0 引言

雾是一种常见的自然现象,在雾天环境下,由于空气中的浑浊介质(如小水珠、粉尘、颗粒等)对光产生散射、吸收等作用,使拍摄的图像对比度降低,图像中景物信息变得模糊不清。雾的存在大大降低了航空、道路交通、航海等户外场景下监控设备应用的稳定性。图像去雾技术能够提高场景的能见度、纠正图像偏色,为后期应用(如特征提取、目标跟踪等)提高准确性。

图像去雾的方法主要分为两类^[1]:一类是基于图像增强的方法,如 Retinex^[2-3]、直方图均衡化^[4]等。这类方法能够直接提高图像对比度,增加图像细节,具有较好的适应性,然而这类方法忽略了雾图形成与景物距离的内在联系而统一处理整幅图像,恢复图像色彩容易失控,有些部分不够清晰,有些部分则因过度处理而失真。另一类方法是基于大气散射物理模型的方法^[5-8]。此类方法利用大气散射物理模型建立雾天图像形成模型,通过反演退化过程,补偿退化过程中造成的颜色失真和细节丢失,这类方法的针对性更强,恢复的图像更加自然,图像信息能够较大程度上得到保持,而这类方法的主要难点在于从图像中进行大气光和透射率的估计。

目前,具有代表性的基于物理模型的单幅图像去雾方法主要有以下几种。Tan^[6]最早在这个方向上取得进展,他通过统计发现相比于有雾图像,无雾图像通常具有更高的对比度,因此通过最大化图像的局部对比度,从而达到去雾的效果,但是该方法恢复图像常常出现过度饱和的情况。此外,Fattal^[7]在基于光传播与场景对象表面遮光部分局部不相关的

假设基础上,估计出了场景辐射度,以此求出透射图。然而该方法要求具有足够的颜色信息,对于浓雾导致的颜色信息丢失严重的情况,效果较差。近来,He等人^[8]基于大量图像的统计提出了一种新的简单有效的单幅图像去雾方法——基于暗原色的图像去雾方法。该方法利用暗原色先验假设,将图像分块,求取各块透射率,并用抠图算法细化透射率图像,这样获得的复原图像颜色自然,达到了很好的去雾效果,但是对于天空、白色墙体、车辆等不具有暗原色的区域透射率估计不准确。本文提出了一种新的透射率估计方法,先用初步去雾使图像透射率在 $[0,1]$ 范围内,接着利用 Retinex 照度估计原理进行透射率估计,得到的恢复图像颜色自然,细节清晰,通过多种类别、场景图像的实验,也证明了算法的可靠性。

1 雾天图像模型

在图像去雾领域,一种被广泛采用的大气散射物理模型为

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

式中, I 为观察到的图像,即有雾图像; J 为景物的实际反射光; t 表示光在空气中传播的透射率; A 为全局的大气光强度。当大气均匀时,透射率 t 可以表示为

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

式中, β 为大气散射系数; d 表示景物到观察者的距离,即场景深度。由式(2)可知,场景的透射率与其场景深度呈指数相关。

图像去雾的目标就是从已经获得的图像 I 恢复图像 J 。对于单幅图像,在只有 I 已知的情况下,求取 J 显然是个无解的病态问题。需要解决这个问题。

题,必须从图像中额外获取大气光 A 和透射率 t 。

2 初步去雾

He 等人^[8]通过对大量室外无雾图像的统计分析,提出了暗原色先验假设。该假设认为,在绝大部分非天空的局部区域里,某一些像素总会有至少一个颜色通道具有很低的值,这些像素称为暗原色。这些暗原色的出现主要有以下因素:阴影、彩色物体、深色物体。通过大量图像的实验,我们发现,暗原色先验假设通常适用于拥有复杂景物的远景图像,而对于拥有较大景物的近景图像则适应性较差。如图 1(a)(b)所示,图像主要内容为树木以及远处的建筑,暗原色先验假设适应性很好,图 1(c)近处的墙面以及路面的适应性则较差。因此,在本文中,我们弱化了这一假设,假设户外无雾图像中,必然存在某一像素点且该像素点有 1 个颜色通道值为零,图 1 中的 3 幅图都满足这个假设。相较于暗原色先验假设,该假设的正确性显然更高。



图 1 原图与暗原色图像(窗口大小为 20)

Fig. 1 Original image and dark channel image.
(window size: 20)

假设大气光 A 的值已知。令式(2)中

$$d(x) = d_1(x) + d_2(x) \quad (3)$$

式中, d_1 和 d_2 分别表示任意长两段距离,那么式(2)变为

$$t = e^{-\beta(d_1(x) + d_2(x))} = e^{-\beta d_1(x)} \cdot e^{-\beta d_2(x)} = t_1 \cdot t_2 \quad (4)$$

将式(4)代入式(1)中,式(1)变为

$$I = Jt_1t_2 + A(1 - t_1t_2) \quad (5)$$

式(5)经过变换可得

$$I' = A + \frac{I - A}{t_2} = Jt_1 + A(1 - t_1) \quad (6)$$

从式(6)可知,若选取一个统一的透射率 t_2 对整幅图像进行一次去雾运算,该图像仍然符合大气散射物理模型式(1)。称这个过程为初步去雾, I' 为初步去雾后的图像。

选取图像中最大的透射率值作为初步去雾所需的透射率 t_2 。在整幅图像中寻找最暗的通道值,根据假设,该点为暗原色点,那么该点的透射率则为图像的最大透射率。

式(1)经过变化可以获得式(7),即

$$t = \frac{A - I}{A - J} \quad (7)$$

根据假设,该通道在无雾时像素值为 0,因此 J 的值为 0。式(7)变为

$$t = 1 - \frac{I}{A} \quad (8)$$

将式(8)求得的透射率 t 作为最大透射率,即 t_2 代入式(6),求出 I' ,完成初步去雾。

完成初步去雾后,获得最大透射率的暗原色点透射率变为 1,因此新图像的最大透射率为 1;而选取估计大气光 A 的点的透射率可以近似为 0,因此新图像的最小透射率为 0。初步去雾的过程使新图像透射率的变化范围变为 $[0, 1]$ 。

图 2 给出了一些有雾图像及其初步去雾后的图像。初步去雾能够使图像对比度有所提高,从直方图能够看出,像素值的最小值降低,对比度明显提高。另外,由于该假设具有很高的正确性,初步去雾不会使图像色彩失控。

3 多尺度透射率估计及图像恢复

本文的透射率估计方法是基于 Retinex 理论(视网膜皮层理论)提出的。Retinex 理论的基础理论是物体的颜色是由物体本身对于长波(红色)、中波(绿色)、短波(蓝色)光线的反射能力来决定的,

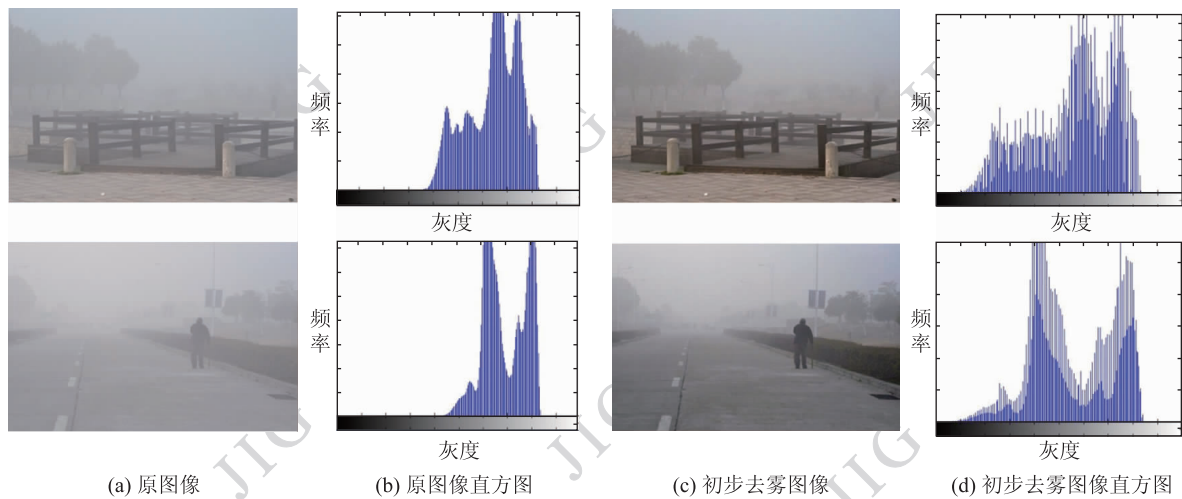


图2 图像初步去雾效果及直方图

Fig. 2 Initial dehazing image and the histogram

而不是由反射光强度的绝对值来决定的,物体的色彩不受光照非均匀性的影响,具有一致性,即 Retinex 是以色感一致性为基础的^[9]。

根据 Retinex 理论,在无雾的情况下,一幅给定的图像 $J(x)$ 可以分解为两个不同的图像:反射图像 $R(x)$ 以及入射图像 $L(x)$,其原理如图3所示。

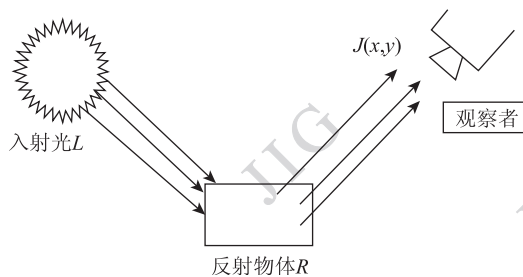


图3 反射光原理图

Fig. 3 Diagram of reflected light

从图3可以看出,入射光 L 经过物体反射,进入人眼,形成人类可以看到的图像。图像形成的公式为

$$J(x) = R(x) \cdot L(x) \quad (9)$$

式中, $L(x)$ 表示入射光,其直接决定了图像中像素所能表示的动态范围, $R(x)$ 表示物体的反射性质图像, $J(x)$ 表示反射光,即观察者实际接收到的图像。

在 Retinex 理论中,采用下式来近似估计入射光 L 的亮度图像为

$$L(x) = F(x) * J(x) \quad (10)$$

式中, $F(x)$ 为中心环绕函数, $*$ 为卷积符号。Jobson 等人^[10]论证了采用高斯卷积函数能够提供更局部的准确处理。因此本文中

$$F(x, y) = \lambda e^{-\frac{(x^2+y^2)}{c^2}} \quad (11)$$

式中, c 表示高斯环绕尺度,参数 λ 的取值必须满足条件

$$\iint F(x, y) dx dy = 1 \quad (12)$$

上述公式的物理意义在于,通过像素点及其周围区域的加权平均来估计图像的光照强度。

在雾天环境下,由于雾霾对于光线的折射、吸收等作用,使大气光非常均匀,雾天环境下的景物几乎没有阴影。因此假设雾天条件下,景物的入射光是近似相等的。入射光 L 经过雾的作用,将 L 代入式(1),到达观察者时强度变化为

$$L'(x) = L(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (13)$$

式中, $L'(x)$ 表示入射光到达观察者时的强度。由式(13)可知,由于假设入射光 L 近似恒定,因此 $L'(x)$ 关于透射率 t 呈线性相关。本文使用式(14)来进行 $L'(x)$ 的近似估计

$$L'(x) = F(x) * I(x) \quad (14)$$

式中, $I(x)$ 为雾天环境下观察者所接收到的图像,在本文中为上节初步去雾后的图像。上节给出,经过初步去雾后的雾天图像,透射率 t 的变化区间为 $[0, 1]$ 。因此,只需将求得的 $L'(x)$ 拉伸至 $[0, 1]$ 范围,即可获得透射率图像。在本文中,一方面,为了保留部分雾以使图像更加自然;另一方面,过低的透射率估计值容易使图像出现过亮的情况。因此,将图像透射率限制在 $[0.2, 1]$ 的范围内。

从实际获得的透射率图像看出,式(11)中,较小的 c 值能够保留更多的图像细节,提高恢复图像

的对比度;较大的 c 值能够在更大范围内进行动态压缩,使透射率估计更加准确均匀。为了在高对比度和更大范围的动态压缩之间获得平衡,采用多尺度的方法进行透射率估计,即

$$t = w_1 t_1 + w_2 t_2 + w_3 t_3 \quad (15)$$

式中, t_1, t_2, t_3 分别为 3 个尺度下获得的透射率值, w_1, w_2, w_3 为参数。本文中,尺度和权重参数的选取为

$$\begin{cases} c_1 = 0.5 \min\left(\frac{w}{15}, \frac{h}{15}\right) \\ c_2 = \min\left(\frac{w}{15}, \frac{h}{15}\right) \\ c_3 = 1.5 \min\left(\frac{w}{15}, \frac{h}{15}\right) \\ w_1 = w_2 = w_3 = \frac{1}{3} \end{cases} \quad (16)$$

式中, w 和 h 分别为图像的宽和高。获得透射率 t 以后,就能够利用式(17)进行图像的恢复

$$J(x) = A + \frac{I(x) - A}{t(x)} \quad (17)$$

式中, $I(x)$ 为初步去雾后的图像。

4 大气光估计

多数已有的单幅图像去雾方法^[6-8]认为,大气光强度 A 能够从亮度最大的区域获得,通常用天空区域来估计能获得较为准确的结果。然而,许多雾图

中大气光不是严格的白光,其 R, G, B 各通道值并不相同,而大气光 A 的值会对去雾过程中颜色的还原产生很大影响。因此,在基于雾图形成模型的去雾方法中,准确获取大气光 A 的值至关重要。Tan^[6]的方法中将图像中强度最高的像素点作为大气光 A 的值。然而,在图像中,单个最亮的点容易出现在较小的白色景物处(如车辆、白色动物等),这样获取的大气光会使图像恢复发生偏色。

在本文中,使用窗口对图像进行扫描,选取窗口中像素灰度均值最大的一个作为大气光 A 的值,即

$$A = (\text{mean}_{\Omega}(R), \text{mean}_{\Omega}(G), \text{mean}_{\Omega}(B)) \quad (18)$$

式中, mean 表示求均值, Ω 表示灰度均值最大的窗口,本文中窗口的长和高分别为图像长和高的 $1/20$ 。

5 实验与分析

图 4 为本文方法的一些实验结果,其中图 4(a)中红色框为使用本文大气光估计方法所选取的大气光范围。实验结果表明,这个简单的方法能够准确地获取大气光 A 的值。图 4(b)透射率估计图的卷积尺度 c 依次增大($c_1 \sim c_3$),从实验结果可以看出,尺度 c 越小,景物轮廓越清晰;尺度 c 越大,动态压缩范围越大。右下角为多尺度加权的透射图,能够很好地结合两者的优点。

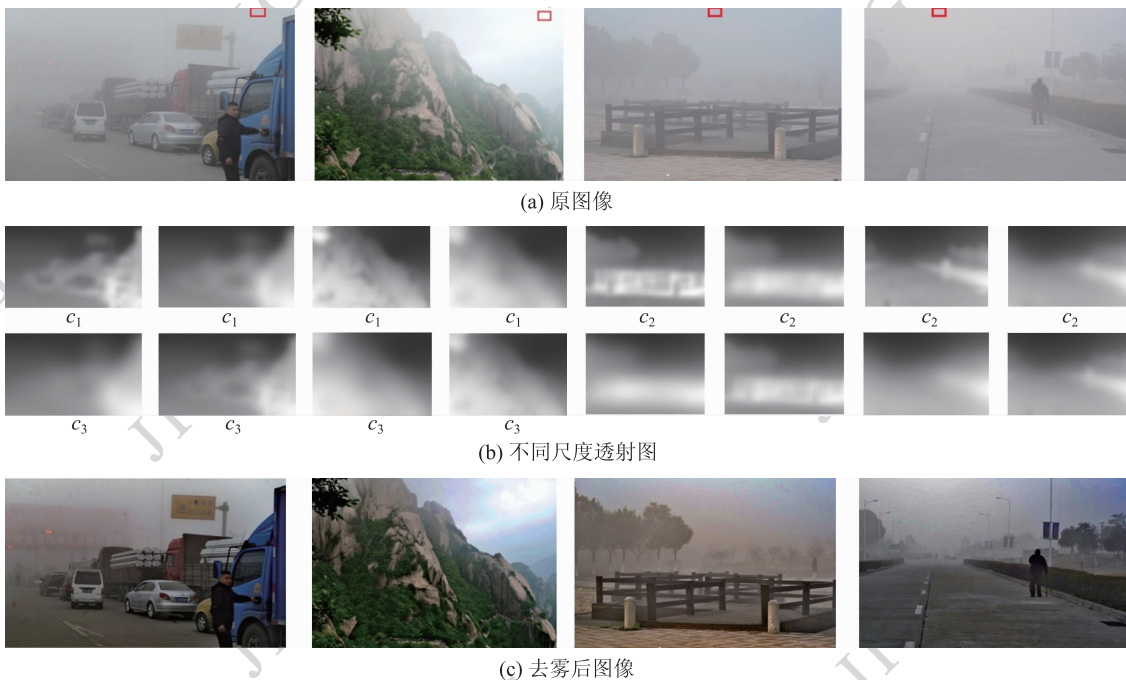


图 4 多尺度透射率估计及图像恢复效果图

Fig. 4 Multi-scale transmission estimation and dehazed image

针对多种雾天图像进行实验,图 5 所示为 He 等人^[8]与本文算法的部分结果对比图。其中透射率估计图存在很大的差别:He 的算法中透射率估计图中景物有着明显的轮廓,每个景物都几乎清晰可见;本文算法的透射率估计图则非常模糊,不存在景物的细节轮廓。实际上,有雾存在的状况下,光不再简单地沿直线传播,而是经过了空气中细小颗粒的一系列折射、吸收等作用。很明显,来自某一对象的反射光,不仅影响了该对象本身的成像,也会影响其周围一定范围内景物光的成像,而其影响范围和影响程度,用正态分布来模拟是合理的。基于以上原因,雾天环境下透射率估计图中不应该存在明显的景物轮廓,而本文模糊的透射率估计图显然更合理。

对于去雾图像质量的高低,本文认为应该从两方面判断:图像理解度和图像观感。图像理解度即通过图像对于场景的理解程度,通常由图像对比度、饱和度等决定;图像观感则由人眼对于图像色彩、亮度等的主观感受决定。本文从这两方面对去雾结果进行比较,如图 5 所示,实验 1 中,He 的算法结果图像中部信息丢失严重,最远处的车辆和人模糊一片,而本文算法结果远处的车辆和人清晰可见,道路与天空相接处界限分明;实验 2 中,He 的算法结果图像整体偏灰绿,本文算法还原更为自然,细节更加清晰,更易于图像信息的理解;实验 3 中,He 的结果整体偏暗,而本文算法结果更加自然,观感更好。

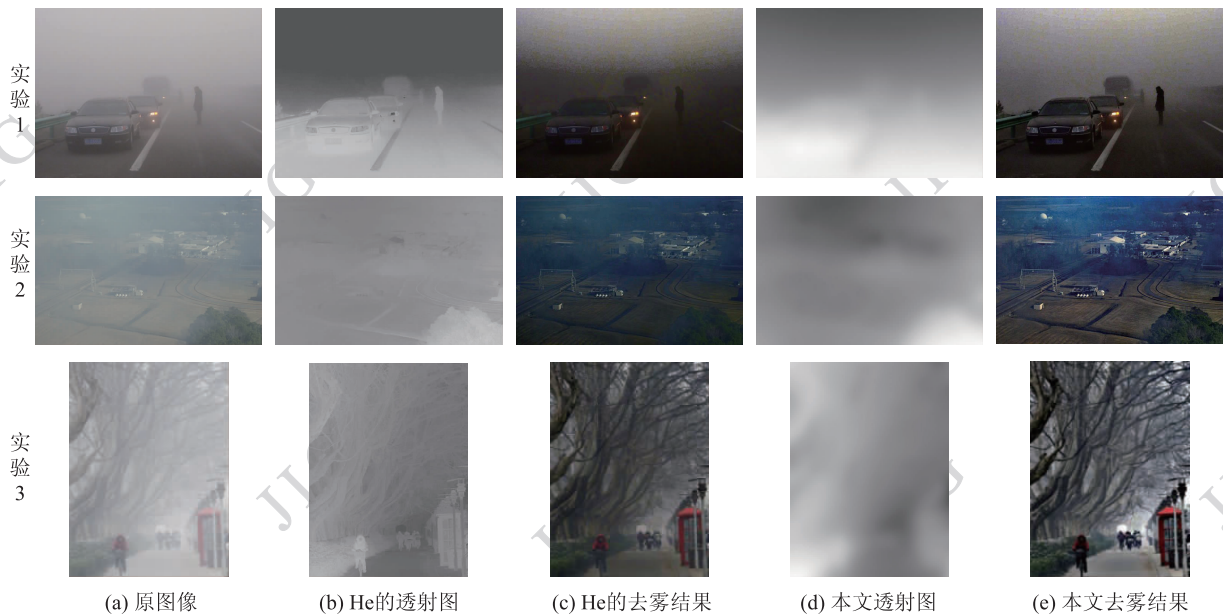


图 5 本文算法与 He 的算法效果图

Fig. 5 He's result and our result

图 6 给出了本文算法与 Fattal 以及 He 算法的结果对比。实验 1 中,由于烟雾过浓,Fattal 的方法还原能力不足,增强效果不明显,He 的方法整体偏蓝,本文结果则颜色自然,细节更加清晰。实验 2 中,Fattal 与 He 的方法在下半部分植物处的增强显然不足,偏苍白,本文方法还原的植物更加翠绿,观感更好。

针对算法运行效率,本文主要与 He 的方法进行对比。本文的透射率估计算法采用高斯卷积进行,对单个像素值的精确度要求不高。因此,在透射率估计时,采用下采样的方法,减小图像尺寸,获得透射图后,再进行插值增大,用于去雾。实验结果显

示,该方法不仅大幅提高运行速度,且不会对实验结果产生显著影响。He 等人^[8]提出的方法,缺点之一在于软抠图需要过长的处理时间,局限了该算法的实用性。在文献[11]中,He 提出用引导滤波的方法代替软抠图进行透射图的细化,对这一方法进行了实现,大幅提高了文献[8]中算法的运行效率。

本文实验在 MATLAB 7.10.0(R2010a)平台上实现,在操作系统为 Windows 7、处理器为双核 2.00 GHz、内存为 3 GB 的计算机上运行。实验结果显示,本文方法处理一幅 600×400 像素的图像所需的平均时间为 0.81 s,而使用引导滤波改进后 He 的

方法处理同样的图像所需的平均时间为 12.3 s。对比实验表明,本文算法不仅能够达到比 He 更好的效果,同时速度更快,更具有实用性。

将本文算法应用到灰度图像的去雾实验中,也取得了很好的效果。如图 7 所示,实验 1 中,He 的去雾结果细节丢失严重,本文结果信息还原更加准

确;实验 2 中,本文算法亮度更高,观感更好。

本文算法也有一些局限性,对于雾霾严重不均匀的图像,去雾效果较差。如图 8 所示,图像中部的雾霾较重,由于本文使用高斯卷积进行透射率估计,导致该部分透射率被低估,因此恢复图像中,该部分仍存在一些雾霾。

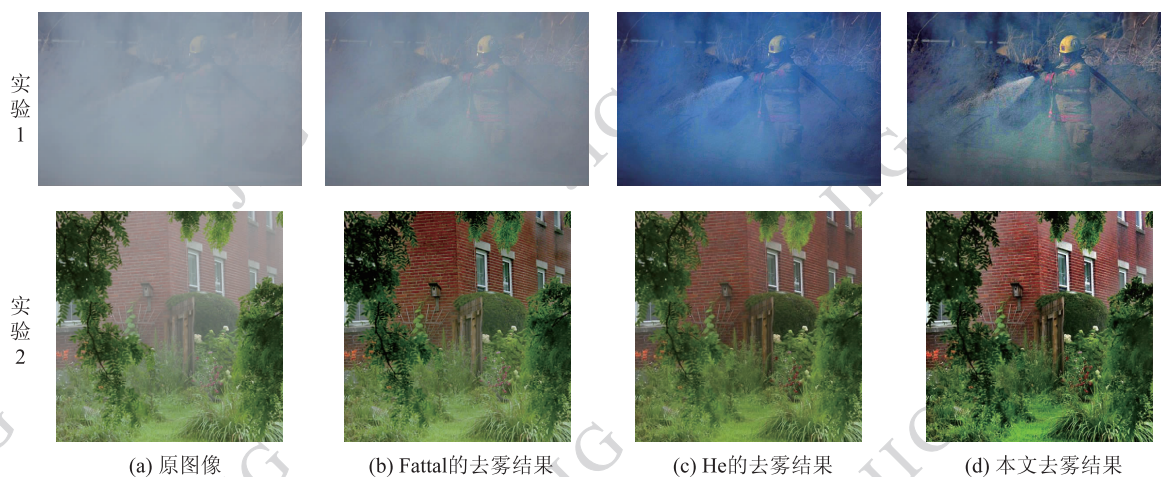


图 6 与 Fattal、He 算法的比较

Fig. 6 Fattal's result、He's result and our result

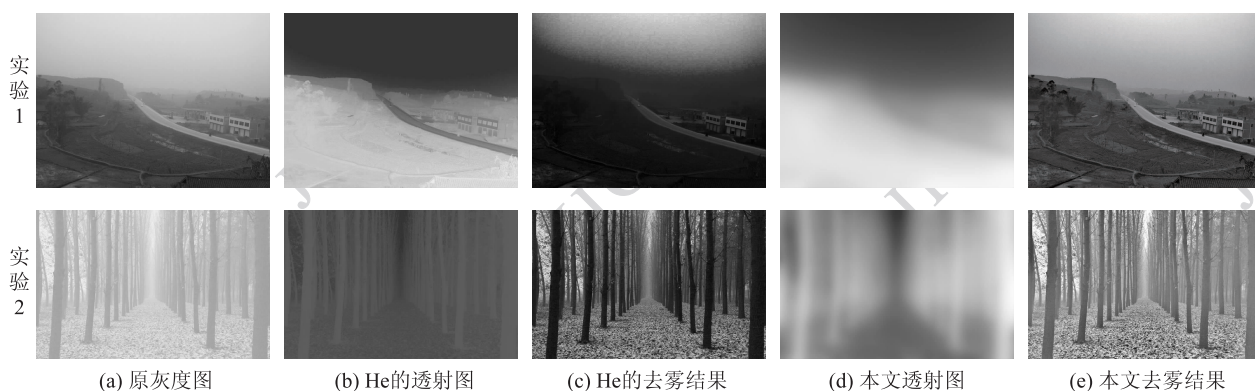


图 7 灰度图像去雾结果

Fig. 7 Result of gray image



图 8 雾霾不均匀图像去雾效果

Fig. 8 Result of uneven hazing image

6 结 论

本文提出了一种新的基于雾天入射光均匀假设的单幅图像去雾算法, 首先利用全局透射率进行初步去雾, 然后根据 Retinex 照度估计原理进行透射率估计, 从而进行二次去雾。大量实验结果表明, 该方法能够简单而有效地实现单幅图像去雾, 并能提供较为准确的透射率估计图。另外, 本文算法对灰度图像同样适用。

参考文献 (References)

- [1] Yu J, Xu D B, Liao Q M. Image defogging: a survey[J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(9): 1561-1576. [禹晶, 徐东彬, 廖庆敏. 图像去雾技术研究进展[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(9): 1561-1576.] [DOI: 10. 11834/jig. 20110920]
- [2] Rahman Z U, Jobson D J, Woodell G A. Multi-scale retinex for color image enhancement[C] // Proceedings of International Conference on Image Processing. Lausanne, Switzerland: IEEE, 1996: 1003-1006.
- [3] Li X M. Image enhancement algorithm based on retinex theory [J]. Application Research of Computers, 2005, 22(2): 235-237. [李学明. 基于 Retinex 理论的图像增强算法[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(2): 235-237.]
- [4] Reza A M. Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real-time image enhancement[J]. Journal of VLSI signal processing systems for signal, image and video technology, 2004, 38(1): 35-44.
- [5] Chen G, Wang T, Zhou H Q. A novel physics-based method for restoration of foggy day images[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(5): 888-893. [陈功, 王唐, 周荷琴. 基于物理模型的雾天图像复原新方法[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(5): 888-893.] [DOI: 10. 11834/jig. 20080508]
- [6] Tan R T. Visibility in bad weather from a single image[C] // Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York, USA: IEEE, 2008: 1-8.
- [7] Fattal R. Single image dehazing[J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): #72.
- [8] He K, Sun J, Tang X. Single image haze removal using dark channel prior[J]. IEEE Transactions on, Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(12): 2341-2353.
- [9] Land E H. The Retinex theory of color vision[J]. Scientific American, 1977, 237: 108-128.
- [10] Jobson D J, Rahman Z U, Woodell G A. Properties and performance of a center/surround retinex[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 451-462.
- [11] He K, Sun J, Tang X. Guided image filtering[M] // Computer Vision-ECCV 2010. Berlin Heidelberg: Springer, 2010: 1-14.