

结合 HE 和改进 MSRCR 的交通雾霾图像增强*

崔旭东, 杨 有

(重庆师范大学 计算机与信息科学学院, 重庆 401331)

摘要:【目的】受大气粒子散射的影响,雾霾天气下的交通监控图像严重降质,影响交通安全。【方法】针对雾霾图像存在对比度低、灰度分布狭窄和细节损失严重的问题,提出一种结合直方图均衡化(HE)和改进色彩恢复多尺度 Retinex (MSRCR)的单幅交通图像去雾霾算法。该算法首先将图像分别进行 HE 和 MSRCR 增强,其中 MSRCR 增强时,使用具有平滑保边缘功能的引导滤波替换高斯函数来估计光照分量,然后对增强后的两幅图像进行加权融合。【结果】通过定性分析发现,该算法有效改善了图像的主观视觉效果;通过定量分析发现,该算法相对于 HE、MSRCR、B-SSR 和 G-SSR 算法,显著提高了图像的平均梯度和对比度,且灰度熵和彩色熵也有一定程度提高。【结论】实验结果表明,该算法能有效增强交通雾霾图像。

关键词: 图像去雾; HE; MSRCR; 引导滤波

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2018)01-0100-07

近年来,随着经济的快速发展环境污染日益严重,导致经常出现雾霾天气,这严重影响人们的日常生活。雾霾是由于大气中悬浮的大量微小水滴、气溶胶的散射作用,致使大气能见度严重下降的现象^[1]。在实际应用中,比如军事技术、交通、法庭取证、气象学和天文学等,经常需要从户外视频序列中提取图像特征。因此,图像去雾已经成为了一个紧迫而实用的研究课题。去雾后的图像因看上去更令人满意,包含更多的信息,所以能被广泛地用在许多领域。例如,去雾后图像在计算机视觉中是一个有效的数据源。在图像处理中,图像去雾被当作一个预处理方法。例如, Gibson 等人^[2]调查了去雾对监测系统图像和视频编码的影响;王蒙等人^[3]用去雾后图像提高了图像相关排序和图像、视频注释的准确性;而且,高越等人^[3-4]用去雾图像进行了三维目标检索和识别。因此,从被雾损坏的图像中恢复真实图像有重要的学术和应用价值。雾霾使交通监控设备采集到的图像降质,这给交通的监控管理带来困难,严重影响道路交通行车安全。因此,对雾霾天气引起的交通监控图像退化进行恢复研究具有重大意义。

图像去雾就是指通过一定的方法和手段,削弱甚至消除空气中悬浮微粒对图像的不良影响的过程^[5]。目前的雾霾图像清晰化处理有很多种方法,主要可以分为两大类:第一类是基于物理模型的方法,这种方法通过建立大气散射模型,解读雾霾图像退化的过程,然后反演复原出真实图像^[6];第二类是基于图像增强的方法,这类方法是使用图像增强的方法对被降质的图像进行增强,改善图像的质量。这类方法能有效地提高雾霾图像的对比度,突出图像中的目标特征和某些细节。

基于图像增强的方法主要有两种:一种是直方图均衡化(HE)方法,一种是 Retinex 方法^[7]。HE 是一种较成熟的算法,简单高效,常用于增强对比度,而雾霾图像具有较窄的集中式直方图,对比度低。因此可以用 HE 方法使其成为直方图均匀分布的形式,扩大图像动态范围,从而增强对比度,但这会损失部分细节。Retinex 算法对图像进行增强,可以很大程度提高暗区域的细节,但是会产生颜色失真和对比度低的现象。因此,根据以上两种主要方法处理效果的特点和存在的问题及优势,提出了一种结合 HE 和改进色彩恢复多尺度 Retinex (MSRCR)的单幅交通图像去雾霾方法。首先将图像分别进行 HE 和 MSRCR 增强,其中 MSRCR 增强用具有平滑保边缘功能的引导滤波^[8]替换高斯函数估计光照分量,然后对增强后的两幅图像按照一定的图像融合规则进行加权融合。

* 收稿日期:2017-03-22 修回日期:2017-04-20 网络出版时间:2017-11-10 15:40

资助项目:重庆市 2015 年高等学校教学改革研究资助项目(No.152017);重庆市研究生教育教学改革资助(No.YJG152001);重庆市教委科学技术研究项目(No.KJ1400512)

第一作者简介:崔旭东,男,研究方向为数字图像处理,E-mail: 2530337161@qq.com;通信作者:杨有,副教授,E-mail: 565357950@qq.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20171110.1540.030.html>

1 相关理论

1.1 HE

直方图是对图像各灰度级的分布进行统计分析的重要手段。HE 是一种简单而又有效的图像增强技术,直方图均衡可以有效提高图像的对比度,被应用在数字图像处理的诸多领域。HE 的基本思想是把原始图像的直方图变换为各灰度级均匀分布的形式,以扩大图像的动态范围,获得较高图像对比度的效果。HE 是以图像各灰度级概率的累积分布函数作为变换函数,累积分布函数可表示为:

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} \quad (1)$$

其中, $k=0,1,\dots,L-1$, r_j 为变换前的灰度级, $T(r_k)$ 为变换函数, S_k 为变换后的灰度级, n_j 为原图像中第 j 级灰度级的像素个数, n 为图像中像素的总数, $p_r(r_j)$ 为原图像取第 j 级灰度值的概率。

通过对大量雾霾图像的观察和分析总结出,雾霾图像的灰度级动态范围较窄,直方图集中在一个较小的范围内,对比度较低。而 HE 可以扩大图像的灰度级动态范围,使各灰度级相对均匀分布,从而增强图像的对比度。因此,综合考虑效率和性能等方面的需求,可以把 HE 作为处理雾霾图像的一种方法^[9]。

1.2 Retinex 理论

Retinex 理论是由 Edwin Land 根据人类视觉系统的特点提出来的。Retinex 理论认为一幅图像可由照度分量和反射分量的乘积表示,即

$$\mathbf{I}(x, y) = \mathbf{L}(x, y) \mathbf{R}(x, y) \quad (2)$$

其中, $\mathbf{I}(x, y)$ 为原图像, $\mathbf{L}(x, y)$ 为照度分量, $\mathbf{R}(x, y)$ 为反射分量。照度分量代表频域中的低频部分,因为照度分量强度一般变化缓慢。反射分量代表频域中的高频部分,受物体表面的特性影响,不同物体表面材质的反射率差异很大。

Retinex 算法是一种用于消除由光照变化给图像带来的负面影响的图像增强算法。雾霾天气下,大气粒子散射作用对图像的影响可以近似等效为照度分量 $\mathbf{L}(x, y)$ 的变化,而图像的原貌则是反射分量 $\mathbf{R}(x, y)$ 。因此, Retinex 可用于把雾霾图像中的照度分量 $\mathbf{L}(x, y)$ 和反射分量 $\mathbf{R}(x, y)$ 分离,消除雾气引起的照度分量变化对图像的影响,复原景物的原貌。

Jobson 等人在 Land 提出的中心/环绕 Retinex 的基础上,确定了高斯函数,提出了单尺度 Retinex(Single scale retinex, SSR)算法^[10],该算法可表示为:

$$\mathbf{R}(x, y) = \ln \mathbf{I}(x, y) - \ln(F(x, y) * \mathbf{I}(x, y)), \quad (3)$$

$$F(x, y) = K \exp\left(\frac{-(x^2 + y^2)^2}{c^2}\right) \quad (4)$$

其中, $*$ 表示卷积运算, $\mathbf{I}(x, y)$ 和 $\mathbf{R}(x, y)$ 分别为 Retinex 算法处理前后的图像; $F(x, y)$ 是高斯环绕函数, c 为滤波半径, K 为常数,由归一化条件 $\iint F(x, y) dx dy = 1$ 得出。

为了解决 SSR 中确定的单一尺度无法同时做到细节突出和得到较高的颜色保真度的问题, Rahman 等人又提出了多尺度 Retinex(Multiple scale retinex, MSR)算法。MSR 算法可表示为:

$$R(x, y) = \sum_{n=1}^N \omega_n \{ \ln \mathbf{I}(x, y) - \ln(F_n(x, y) * \mathbf{I}(x, y)) \} \quad (5)$$

其中, N 为尺度总数, $F_n(x, y)$ 表示第 n 个尺度下的高斯函数, ω_n 为第 n 个尺度的结果的权数,满足归一化条件 $\sum_{n=1}^N \omega_n = 1$ 。

仅利用单尺度 Retinex 算法对图像进行增强不能实现细节增强和较高颜色保真度之间的平衡,多尺度 Retinex 算法能够改善这一问题^[11]。故应利用多尺度 Retinex 对大、中、小尺度下 SSR 结果进行综合,从而充分地融合不同尺度下的优点,使多尺度反射结果获得细节保持和较好颜色保真度相平衡的视觉效果。

MSR 处理后图像颜色往往有失真,主要是处理后图像色彩偏灰色调。为此, Rahman 等人和 Jobson 等人又提出了 MSRCR 算法,引入彩色恢复因子来补偿颜色失真的缺陷^[12]。算法表达式为:

$$\mathbf{R}_{\text{MSRCR}_i}(x, y) = \mathbf{C}_i(x, y) \mathbf{R}_{\text{MSR}_i}(x, y). \quad (6)$$

其中: $\mathbf{R}_{\text{MSR}_i}(x, y)$ 为第 i 个颜色通道 MSR 算法的结果; $\mathbf{R}_{\text{MSRCR}_i}(x, y)$ 为第 i 个颜色通道 MSRCR 算法的输出; $\mathbf{C}_i(x, y)$ 为第 i 个颜色通道的彩色恢复因子, 它的表达式为:

$$\mathbf{C}_i(x, y) = \beta \left\{ \ln(a \mathbf{I}_i(x, y) + 1) - \ln \left(\sum_{i=1}^3 \mathbf{I}_i(x, y) + 1 \right) \right\}. \quad (7)$$

其中: α 与 β 为调节参数, $\mathbf{I}_i(x, y)$ 为原始图像在第 i 个颜色通道的分布。

基于以上分析, 本研究采用 MSRCR 算法对交通雾霾图像进行处理。

2 改进后的算法

2.1 基于引导滤波的 MSRCR 算法

为了解决传统 Retinex 图像增强算法在图像明暗对比强烈区域存在光晕的问题, 本研究提出用具有平滑保边功能的引导滤波代替传统 Retinex 算法中的高斯滤波对光照强度进行估计, 以消除光晕伪影现象, 更好地突出图像细节, 提高运算效率。

针对传统 Retinex 图像增强算法在高对比度边缘处存在光晕现象的问题, 目前常见的解决方法是采用具有平滑及边缘保持功能的双边滤波代替 Retinex 中的高斯滤波作为环绕函数来估计光照强度^[13]。虽然双边滤波能够有效地保留图像细节信息, 但它的时间复杂度较高。本研究采用同样具有平滑与保边功能的线性引导滤波代替 Retinex 中的高斯滤波估计光照强度, 与采用双边滤波估计光照强度相比效率较高。

引导滤波是一种边缘保持平滑滤波器, 它具有图像细节增强以及图像融合去噪等功能, 是一种功能强大的滤波器。它的原理是基于一幅引导图像 $\mathbf{I}$ 对输入图像 $\mathbf{p}$ 进行滤波, 输出图像 $\mathbf{q}$ 在保留输入图像整体特征的同时, 能充分获取引导图像的变化细节。引导滤波可以表示为局部线性模型:

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in w_k. \quad (8)$$

其中: w_k 为滤波窗口; $\mathbf{I}$ 为引导图像; q_i 为图像 $\mathbf{I}$ 窗口 w_k 中 i 像素处的线性变换输出灰度值; i 为窗口 w_k 的中心像素; a_k 和 b_k 为窗口中的线性因数, 在窗口中为固定值。 a_k 和 b_k 采用以下方式求解:

$$a_k = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i \in w_k} \mathbf{I}_i \mathbf{p}_i - \mu_k \bar{p}_k}{\sigma_k^2 + \epsilon}, \quad (9)$$

$$b_k = \bar{p}_k - a_k \mu_k. \quad (10)$$

其中: N 为窗口 w_k 中的像素总数; σ_k^2, μ_k 分别为窗口 w_k 中 $\mathbf{I}$ 的方差与均值; $\bar{p}_k$ 为窗口中 $\mathbf{p}$ 的均值; ϵ 为平滑因子。

本研究中令引导图像 $\mathbf{I}$ 和输入图像 $\mathbf{p}$ 相同, 则(9)式改写为:

$$a_k = \frac{\sigma_k^2}{\sigma_k^2 + \epsilon}, \quad (11)$$

(10)式改写为:

$$b_k = \mu(1 - a_k). \quad (12)$$

本研究根据 MSRCR 模型对引导滤波的滤波半径取低、中、高 3 个尺度, 基于引导滤波的 MSRCR 算法的求解公式可表示为:

$$\mathbf{R}(x, y) = \sum_{n=1}^N \omega_n \{ \ln \mathbf{I}(x, y) - \ln(f_n(\mathbf{I}(x, y))) \}. \quad (13)$$

其中: N 为尺度总数; f_n 为第 n 个尺度下的引导滤波函数; ω_n 为第 n 个尺度的结果的权数, 满足归一化条件

$$\sum_{n=1}^N \omega_n = 1.$$

2.2 图像融合

基于 Retinex 的算法可以削弱甚至消除光照变化对图像的影响, 但会降低图像的对比度, 而 HE 可以有效地

增强图像的对比度,如果能够找到一种最佳的图像融合算法,把经过 HE 增强后的去雾图像与经过改进的 MSRCR 算法增强后的去雾图像进行融合,就会获得非常好的视觉效果。

图像融合技术一般可分为像素级融合、特征级融合和决策级融合^[14]。一般像素级图像融合比较直观,处理后能够更加容易地识别出目标。常用的像素级图像融合方法有平均和加权平均,平均是直接将两幅图像进行算术平均处理,这会降低图像的对比度;加权平均则是根据不同图像的质量,给出一组最佳的加权系数,然后对它们进行加权平均处理。

本研究先用 HE 算法和基于引导滤波的 MSRCR 算法分别对图像进行处理,然后把处理后的图像按照一定的比例加权平均之后,融合成新的图像,在一定比例范围之内得到了很好的去雾图像。

设 $A(x, y)$ 表示经过 HE 算法处理后的图像, $B(x, y)$ 表示经过基于引导滤波的 MSRCR 算法处理后的图像,则加权平均图像融合算法可表示为:

$$C(x, y) = \lambda A(x, y) + (1 - \lambda) B(x, y)。(14)$$

其中, λ 为加权系数,且 $0 \leq \lambda \leq 1$ 。通过对大量有雾图像进行测试实验,得出 λ 最佳权重系数范围为 0.6~0.8。

3 实验结果与分析

为了验证改进算法的有效性,在操作系统为 Windows 7,处理器主频为 2.5 GHz,内存为 4 GB 的 PC 上,采用 Matlab 2014a 软件平台实现该算法。分别从主观视觉和客观质量评价两方面对其进行验证。本研究将与具有增强对比度功能的 HE 方法、具有颜色保真功能的 MSRCR 算法、基于双边滤波的单尺度 Retinex 算法(B-SSR)和基于引导滤波的单尺度 Retinex 算法(G-SSR)进行比较。本研究把有雾交通图像分类为交通指示灯图像、交警指挥图像和道路车辆交通图像,并分别使用不同算法对其进行处理。相关参数的设置如下:1) MSRCR 的尺度参数设置为 50, 120, 200; $\alpha=125, \beta=46$ 。2) B-SSR 算法的双边滤波参数设置为 $w=15, \sigma_s=100, \sigma_r=0.3$ 。3) G-SSR 算法的滤波半径为 120, 参数 ϵ 设置为 0.01。4) 本研究中改进算法的尺度参数设置为 50, 120, 200; $\alpha=125, \beta=46$; 参数 ϵ 设置为 0.01。

3.1 定性分析

实验 1 为交通指示灯图像的去雾效果。图 1a 为雾霾天气下铁路路口指示灯图像,该图像大小为 341×512 像素。图 1b 为经过 HE 去雾后的图像,可以明显看到火车头前照灯曝光严重,图像前景部分偏暗。图 1c 为经过 MSRCR 算法去雾后的图像,火车头前照灯及火车前方周围草木颜色有失真。图 1d, 图 1e 分别为基于双边滤波的 B-SSR 算法和基于引导滤波的 G-SSR 算法去雾后的图像,两种算法相比其他算法去雾量不足。图 1f 为经过改进算法去雾后的图像,道路指示灯以及火车前方很大范围内都清晰可见。

实验 2 为交警指挥图像的去雾效果。图 2a 为雾霾天气下交警道路指挥的图像,该图像大小为 384×512 像素。图 2b 为经过 HE 算法去雾后的图像,交警脸部颜色失真。图 2c 为经过 MSRCR 算法去雾后的图像,交警脸部颜色以及汽车颜色过饱和,图像整体对比度较原图提高幅度较小。图 2d 为基于双边滤波的 B-SSR 算法去雾后的图像,图像去雾量不足,而且在交警下半身周围出现明显的光晕现象。图 2e 为基于引导滤波的 G-SSR 算法去雾后的图像,有效减弱了光晕现象,说明引导滤波相比双边滤波有更好的边缘保持功能,但仍有些许光晕伪影。而改进算法去雾后的图像(图 2f),较好地去除了雾霾对图像的影响,交警脸部颜色清晰自然,并且消除了光晕伪影。

实验 3 为道路车辆交通图像的去雾效果。图 3a 为雾霾天气下车辆行驶的图像,该图像大小为 400×600 像素。图 3b 为经过 HE 算法去雾后的图像,道路左边标志牌和草地颜色过饱和。图 3c 为经过 MSRCR 算法去雾后的图像,道路标志牌、草木以及天空区域颜色严重失真。图 3d, 图 3e 分别为基于双边滤波的 B-SSR 算法和基于引导滤波的 G-SSR 算法去雾后的图像,图像颜色有些失真。但 G-SSR 图像的细节要多于 B-SSR 图像。图 3f 为经过改进算法去雾后的图像,较好去除雾霾影响的同时保持图像颜色和原图基本一致。

为了进一步证实改进算法的有效性,分别用该算法对交通路口雾霾图像以及从车内角度拍摄的雾霾图像进行处理。图 4 为改进算法对交通路口图像的去雾结果,可以看到去雾后图像清晰明亮,能够清楚看到路口各个方向上的交通情况,较原图增强效果显著。图 5 为改进算法对车内视角交通图像的去雾结果,前方车辆及路边道牙非常清晰,跟车距离更加清楚,可提高行车安全。

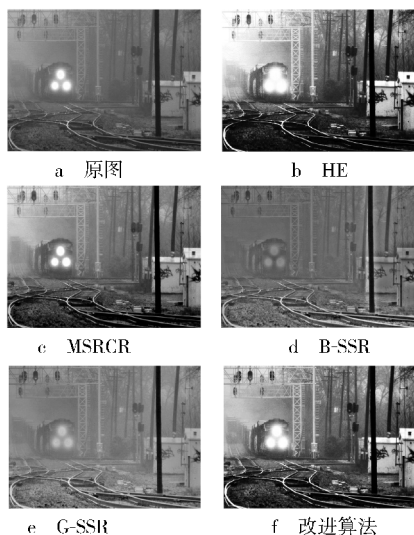


图 1 交通指示灯图像不同算法效果对比

Fig. 1 The comparison of different algorithm effects on traffic indicating lamp images

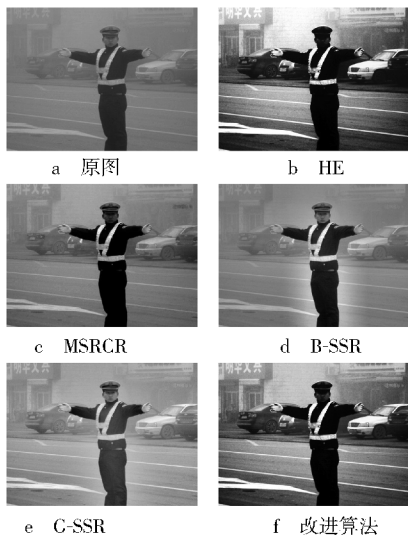


图 2 交警指挥图像不同算法效果对比

Fig. 2 The comparison of different algorithm effects on traffic police commanding images

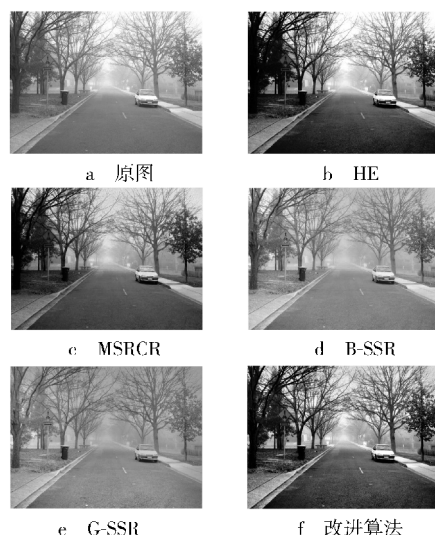


图 3 道路交通图像不同算法效果对比

Fig. 3 The comparison of different algorithm effects on road traffic images



a 有雾图像



b 去雾图像

图 4 交通路口图像去雾结果

Fig. 4 The dehazing results of intersection images



a 有雾图像



b 去雾图像

图 5 车内视角交通图像去雾结果

Fig. 5 The dehazing results of images of visual angle from car

从以上几个实验中可以看出,相对于其他算法来说,改进算法对雾霾交通图像能获得很好的去雾效果,去雾

后图像清晰自然,具有颜色保真性好,去雾后图像细节突出等特性。

3.2 定量分析

为了进一步验证改进算法的有效性,采用平均梯度、灰度熵、彩色熵以及对比度对该算法与 HE,MSRCR,B-SSR 和 G-SSR 进行对比。而且对改进算法与 MSRCR,B-SSR 进行时间复杂度的对比。

平均梯度用于衡量图像的清晰度。灰度熵用于评价图像的细节表现能力,其值越大代表图像中信息越丰富。彩色熵用于评价算法的颜色增强程度。表 1 是对图 1-3 的客观评价参量的统计。从表 1 中可以看出,改进算法有效提高了原始图像的平均梯度、对比度、灰度熵和彩色熵。B-SSR 和 G-SSR 算法处理后的图像对比度过低,甚至低于原始图像对比度。HE 相对均匀分布像素值,使之有较大的对比度,但其他指标几乎均低于改进算法,而且彩色熵低于其他算法,甚至低于原图。MSRCR 各项指标皆低于改进算法。表中数据表明改进算法可以有效提高交通雾霾图像的清晰度和对比度,有更好的细节表现能力和更好的复原颜色能力。证实了改进算法的有效性和优越性。

表 1 图 1-3 的定量评价指标对比
Tab. 1 The comparison of quantitative evaluation indexes of fig. 1-3

图片编号	处理	平均梯度	灰度熵	彩色熵	对比度	图片编号	处理	平均梯度	灰度熵	彩色熵	对比度
图 1	原图未处理	3.762 9	6.889 8	12.995 9	21.711 6	图 2	B-SSR	2.448 7	6.587 9	11.922 2	24.465 1
	HE	9.142 4	7.818 8	10.860 6	64.098 5		G-SSR	3.107 2	6.718 0	12.712 9	22.535 9
	MSRCR	7.145 3	7.419 1	13.304 2	40.539 7		改进算法	6.127 5	7.730 5	13.619 9	51.597 6
	B-SSR	5.737 6	6.313 5	12.890 6	15.077 0	图 3	原图未处理	5.771 7	7.230 4	12.763 1	32.331 7
	G-SSR	4.904 0	6.454 1	13.133 0	15.259 9		HE	10.307 6	7.856 6	14.468 4	63.882 7
	改进算法	10.121 9	7.835 9	15.576 2	48.691 8		MSRCR	7.816 0	7.630 3	15.216 4	46.584 9
图 2	原图未处理	1.598 6	6.114 4	9.943 7	17.408 4		B-SSR	5.606 8	6.796 9	13.160 0	20.805 6
	HE	6.414 5	7.354 2	8.885 6	64.064 7		G-SSR	5.006 7	6.985 6	12.453 5	14.136 0
	MSRCR	3.188 1	6.494 1	10.213 2	32.503 7		改进算法	12.021 4	7.859 5	15.987 9	52.213 7

为了验证改进算法的实时性,对图 2 大小为 384×512 像素的图像用不同算法进行处理,比较时间复杂度的大小,表 2 为统计结果。不难发现,改进算法的运行时间明显优于 B-SSR 算法,实时性很好。同时也说明了改进算法选择的引导滤波要比双边滤波的效率很高很多。

表 2 不同算法运行时间的对比

Tab. 2 The comparison of running time of different algorithms

去雾算法	MSRCR	B-SSR	改进算法
时间/s	3.408	28.327 6	2.842 8

4 结语

通过对 HE 和 Retinex 理论处理效果的特点以及交通雾霾图像特征的分析,提出了一种结合 HE 和改进 MSRCR 的交通图像去雾霾算法。为了解决传统 Retinex 算法处理后图像在高对比度边缘区域出现光晕伪影的问题,提高运算速度,本研究采用引导滤波作为环绕函数估计照度分量。实验结果表明,该算法处理后的交通图像清晰自然,颜色保真性好,细节突出。

参考文献:

[1] LI Y, MIAO Q, SONG J, et al. Single image haze removal based on haze physical characteristics and adaptive sky region detection[J]. Neuro Computing, 2016, 182: 221-234.

[2] GIBSON K B, VO D T, Nguyen T Q. An investigation of de hazing effects on image and video coding[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2012, 21(2): 662-673.

[3] WANG M, GAO Y, LU K, et al. View-based discriminative probabilistic modeling for 3d object retrieval and recognition

- [J].IEEE Trans on Image Processing, 2013, 22(4): 1395-1407.
- [4] GAO Y, WANG M, ZHA Z J, et al. Visual-textual joint relevance learning for tag-based social image search[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2013, 22(1): 363-376.
- [5] 吴迪, 朱青松. 图像去雾的最新研究进展[J]. 自动化学报, 2015, 41(2): 221-239.
- WU D, ZHU Q S. The latest research progress of image dehazing[J]. Acta Automatica Sinica, 2015, 41(2): 221-239.
- [6] WANG J B, HE N, ZHANG L L, et al. Single image dehazing with a physical model and dark channel prior[J]. Neuro Computing, 2015, 149: 718-728.
- [7] WANG Y F, WANG H Y, YIN C L, et al. Biologically inspired image enhancement based on retinex[J]. Neuro Computing, 2016, 177: 373-384.
- [8] LIU N, ZHAO D X. Detail enhancement for high-dynamic-range infrared images based on guided image filter[J]. Infrared Physics & Technology, 2014, 67: 138-147.
- [9] 曲艺. 基于移动模板的图像去雾方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(24): 186-190.
- QU Y. Study of removing fog from images based on moving mask[J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 49(24): 186-190.
- [10] WEN G L, ZHENG S G, LIU G, et al. Image enhancement method based on the single-scale retinex and color transferring[C]//International Conference on Electrical, Control and Automation (ICECA) [s.l.]: ICECA, 2014: 645-651.
- [11] LIN H N, SHI Z W. Multi-scale retinex improvement for nighttime image enhancement[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 125: 7143-7148.
- [12] 邹滨, 刘翱. 轮廓波变换与改进 MSRCR 的图像增强[J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(6): 1560-1566.
- ZOU B, LIU A. Image enhancement based on Contourlet transform and improved MSRCR[J]. Computer Engineering and Design, 2016, 37(6): 1560-1566.
- [13] LI Y C, ZHANG H, JIA W Y, et al. Saliency guided naturalness enhancement in color images[J]. Optik, 2016, 127: 1326-1334.
- [14] 董萍, 马红军. 新轮廓波变换与二维非负矩阵分解的图像融合[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2016, 33(5): 101-107.
- DONG P, MA H J. Technique for image fusion via new contourlet transform and two-dimensional non-negative matrix factorization[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2016, 33(5): 101-107.

Traffic Images Enhancement Combining HE and Improving MSRCR

CUI Xudong, YANG You

(College of Computer and Information Science, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] Influenced by the scattering of atmospheric particles, monitoring traffic images in haze weather are seriously degraded so that it's not benefit to safety traffic. [Methods] For solving problems such as low contrast, narrow grayscale distribution and detail losses, an image enhancement algorithm was proposed. The algorithm utilized the advantages of histogram equalization (HE) and improved Multiple Scale Retinex with Color Restoration (MSRCR). Haze image was enhanced by HE and MSRCR respectively at first. When light component judged in MSRCR, Gaussian function replaced by a guided filtering so that the image edges could retain. Final enhancement image was obtained by the weighted fusion operation of two images they were enhanced by HE and improved MSRCR. By qualitative analysis, the algorithm can effectively improve the subjective visual effect of the image. [Findings] By quantitative analysis, it is found that the algorithm can significantly improve the average gradient and contrast of image, and the gray entropy and color entropy can be improved to a certain extent also, compared with the algorithm of HE, MSRCR, B-SSR and G-SSR. [Conclusions] The experimental results show that the algorithm can effectively enhance the traffic haze images.

Keywords: image dehazing; HE; MSRCR; guided filtering

(责任编辑 游中胜)