

文章编号: 2095-2163(2020)02-0093-04

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

基于 Retinex 理论的图像去雾去噪算法

郑敏

(西安石油大学 计算机学院, 西安 710065)

摘要: 利用基于 Retinex 理论的去雾算法对图像进行去雾处理, 图像会出现颜色失真, 细节信息不明显等问题, 为了更好地实现动态范围压缩和颜色恒定, 提出了一种基于 Retinex 理论的图像去雾去噪算法。该方法大致可分为 3 部分: 求取光照强度, 增强图像细节和线性加权融合。首先利用 MSR 算法求取图像的光照分量和反射分量, 然后利用拉普拉斯金字塔对反射分量进行处理, 增强图像的细节部分。最后进行彩色校正重建清晰图像。通过与其它去雾算法进行性能对比, 实验结果表明, 该算法具有较高的可靠性和有效性, 能高效地去雾并增强图像的边缘和细节部分, 得到细节清晰的高质量图像。

关键词: 图像增强; 图像复原; 图像去雾; Retinex

Image dehazing and detuning algorithm based on Retinex theory

ZHENG Min

(School of Computer Science, Xi'an Shiyu University, Xi'an 710065, China)

[Abstract] The image is defogged by using the defogging algorithm based on the Retinex theory, there will be problems such as image color distortion and inconspicuous detail information. In order to achieve better dynamic range compression and color constant, an image de-fogging algorithm based on Retinix theory is proposed. The method can be roughly divided into three parts: obtaining light intensity, enhancing image detail and linear weighted fusion. Firstly, the MSR algorithm is used to obtain the illumination component and the reflection component of the image, and then the Laplacian pyramid is used to process the reflection component to enhance the detail part of the image. Finally, color correction is performed to reconstruct a clear image. Compared with other defogging algorithms, the experimental results show that the algorithm has high reliability and effectiveness. Specifically, the algorithm can effectively defog and enhance the edges and details of the image, and obtain high-quality images with clear details.

[Key words] image enhancement; image restoration; image defogging; Retinex

0 引言

近几年空气质量退化的现象不容乐观, 而且雾霾天气也不时出现, 导致户外工作者在拍摄和采集图像时, 得到的图像质量受到很大的影响。采集的图像因受到雾的影响, 会出现模糊和覆盖的现象, 为了更好地用图像反映实物, 需要对图像进行去雾处理, 改善细节模糊, 使图像清晰度更高。

图像去雾是用一定的手段从模糊的图像中除雾, 改善图像的对比度, 复原图像的细节部分^[1]。图像去雾技术与天气条件密切相关, 在雾天下拍摄的图像, 由于大气散射影响, 导致图像的清晰度不够, 图像细节不明显, 对比度下降, 动态范围缩小等诸多特征信息被模糊和覆盖, 导致图像信息的可辨识度大大降低。采用高效的去雾方法可以大幅度地减少原图中雾气对图像的影响, 还原出高质量的图像。

1 相关工作

目前的去雾技术大致可分为两类, 一类是基于

物理模型的雾天图像复原, 另一类是基于图像处理的雾天图像增强^[2]。雾天图像复原是使用雾天退化模型进行去雾, 相当于图像成像时的逆变化^[3]。图像复原的难易程度取决于对退化过程中先验知识的掌握程度^[4]。基于先验信息的雾天图像复原, 主要是最大化复原图像的对比度以及色彩信息, 以达到去雾的目的。对于浓雾天气下拍摄的图像, 复原后可能会出现失真。基于图像复原的大气散射理论, 该方法是通过某一场景的最大偏振图像和最小偏振图像的差值估算出光照强度, 只是会对光照有较强的依赖性, 在浓雾下, 算法性能较差。这些去雾方法尽管在去雾思想上存在着较大的差别, 但各种方法都有着各自不同的优缺点。对于一幅雾天图像, 如果采用雾天图像增强方法, 可以明显地改善图像的对比度以及局部细节, 就采用图像增强算法。如果采用雾天图像复原算法可以达到较好的去雾效果, 则选择雾天图像复原算法进行处理。

雾天图像增强的目的就是通过对图像处理提高信

作者简介: 郑敏(1995-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机科学与技术。

收稿日期: 2019-10-10

息的可辨识度,使图像清晰度更高。基于图像增强方法的图像去雾不需要考虑图像退化的原因,目前颇具代表性的去雾算法有直方图处理算法以及 Retinex 算法。其中,直方图处理算法实现简单,能够有效地提高图像的对比度,使图像的灰度值均匀分布,但在直方图变换时,图像的灰度级可能会减少,某些细节信息会丢失^[5],并产生过亮现象。直方图均衡化可以提高图像的全局对比度,但是当图像中的雾密度不均衡,场景深度信息未知时,可能会导致图像信息丢失。Retinex 理论是一个著名的颜色恒定知觉计算理论,其本质思想是尽可能地除去去雾图像中的照度图像,只保留反射图像。通过对原始图像进行高斯滤波来估算出照度图像,再用原始图像减去照度图像即可获得反射图像^[6]。特别地,单尺度 Retinex 算法(SSR)满足 Retinex 理论的要求,是一种主要用于灰度图像增强的方法,该算法实现容易,运算速度较快,具有较强的动态压缩能力,但不能保证图像在细节提取和颜色保真度之间达到平衡,会使图像出现颜色失真的现象^[7]。综上所述可知,为了更好地处理图像的退化,提高图像对比度,提出了一种基于 SSR 的多尺度 Retinex 彩色图像增强算法。该算法对 SSR 的结果进行线性加权来增强图像色彩。相比 SSR 算法,MSR 算法可以实现图像的动态范围压缩、颜色恒常性以及色彩增强,但在使用该算法时,却仍有一些不足亟待改进。例如,当图像光照不平滑时,图像亮度差异较大的区域就会产生光晕。常见的缺点还有处理后的图像出现颜色失真、阴影边界突兀、纹理不清楚等。

2 本文算法

Retinex 算法在滤掉光照后保留了反射光,从而使增强后的图像边缘细节明显,但图像的对比度差,且在除雾过程中引入了一些噪声,导致图像不够平滑。为了更好地获得图像局部细节信息,抑制噪声与失真现象的出现,提出了一种基于 Retinex 理论的图像去雾去噪算法。该方法大致可分为 5 个部分,包括利用多尺度 MSR 对图像进行分解,求得光照强度,对光照进行伽玛校正,进行双边滤波抑制噪声,引入拉普拉斯金字塔增强图像的细节,最终结果与反射图像线性加权。对此可做研究分述如下。

(1) 求取反射分量。采用了基于 Retinex 理论的 MSR 算法,确定 3 个合理的尺度参数进行处理,估算出光照强度。MSR 算法计算公式可表示为:

$$R_{MSR}(x, y) = \sum_{n=1}^N w_n \{ \log S(x, y) - \log (F_n(x, y) * S(x, y)) \}. \quad (1)$$

其中, $R(x, y)$ 表示反射分量; $S(x, y)$ 表示去雾图像; $F(x, y) * S(x, y)$ 表示去雾图像经过高斯卷积估算出光照分量,清除光照度,得到反射分量。通过对不同尺度的 SSR 进行线性加权融合,实现动态范围压缩和色彩保真度。

(2) 双边滤波器处理。使用 Retinex 算法来实现图像增强,在图像对比度增大的同时,噪声就被放大。因此,有必要对增强后的图像进行去噪处理。使用双边滤波能够在平滑去噪的同时很好地保存图像边缘。滤波器的核由 2 个函数生成,一个函数是由像素欧式距离决定滤波器模板的系数,另一个函数由像素的灰度差值决定滤波器的系数^[8]。双边滤波器模板的数学公式如下:

$$w(i, j, k, l) = \exp\left(-\frac{(i-k)^2 + (j-l)^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|f(i, j) - f(k, l)\|^2}{2\sigma_r^2}\right), \quad (2)$$

其中,函数 $f(x, y)$ 表示要处理的图像; $f(i, j)$ 表示图像在点 (i, j) 处的像素值; (i, j) 为模板窗口的其它系数的坐标; (k, l) 为模板窗口的中心坐标; σ_r 为高斯函数的标准差。

(3) 拉普拉斯金字塔图像增强。图像增强的核心是图像的细节增强,而双边滤波器降噪会造成边缘信息的丢失。使用双边滤波器处理后的图像作为拉普拉斯金字塔的输入图像,该方法可以较好地增强图像的边缘和细节信息。改进的拉普拉斯金字塔算法首先向下采样,根据 2 个不同比例尺度得到 2 层高斯金字塔并进行微分,再得到拉普拉斯金字塔细节图像。将预设细节权重系数 λ ($\lambda > 1$) 添加到双边滤波图像中,获得拉普拉斯金字塔的详细图像。此时会用到如下数学公式:

$$LL_i(x, y) = \lambda \cdot LP_{Layers_i} + Bf_i, \quad (3)$$

其中, λ 是细节权重系数。参数的选择基于大量的实验结果,例如 $layers = 3$, 则 $\lambda = 2.5$ 。

(4) 伽玛校正过程。根据高斯卷积得到光照图像,直接对原始图像除去光照可能会造成过度的增强。为了解决这一问题,将校正后的照明添加回反射分量作为一个互补,实现光照补偿,确保增强后的图像颜色自然恒定,并补偿由图像对比度引起的图像失真。伽玛算法主要用于校正图像的亮度,以此改善图像对比度。经典的伽玛校正算法是通过全局范围内的固定参数分配像素值,由于每个图像的校正参数都不同,故手动去设置参数难以提高图像的

质量。因此,应通过像素值的变化自适应地改变 γ 的值。经典的伽玛校正公式可表示为:

$$L' = W \left(\frac{L}{W} \right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (4)$$

其中, γ 是可调参数; L' 是校正像素值; L 是当前像素值; W 是 8 位图像中的最大像素值(通常设置为 255)。

为了避免手动设置参数带来的缺陷,提出了一种快速伽玛校正算法。该算法是通过图像像素值、照明像素值的平均值以及比率 N 确定参数 γ 的值。运算时可参考如下数学公式:

$$sum = m \cdot n \cdot q, \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^q L(x, y, z)}{sum \cdot N}, \quad (6)$$

$$Ga_i = L_i'(x, y) = c [L_i(x, y)]^{\gamma}, \quad (7)$$

其中, γ 是校正参数; $L_i(x, y)$ 是照明图像的通道; sum 是图像 L 中的像素总数; m 和 n 是照明图像的行和列; q 是图像的通道数, $q = 3$ 是彩色图像, $q = 1$ 是灰度图像; N 是判断图像亮度的阈值(通常设置 N 为 127)。

为了保持图像的色彩保真度,将校正后的照明图像添加到反射图像中。校正后的图像表达式具体如下:

$$S_i'(x, y) = Ga_i(x, y) \cdot LL_i(x, y), \quad (8)$$

(5) 线性加权融合。首先通过 MSR 算法获得增强后的 R, G, B 通道的 $R_{MSR}, G_{MSR}, B_{MSR}$, 通过双边滤波器获得 R, G 和 B 通道去噪的 Bf_R, Bf_G, Bf_B , 通过拉普拉斯金字塔描述 RGB 颜色的每个通道, 获得 LL_R, LL_G, LL_B , 通过伽玛校正得到校正后的各颜色通道 Ga_R, Ga_G 和 Ga_B , 将校正后的颜色通道添加回反射分量得到 S_R, S_G 和 S_B , 将增强和校正后的 RGB 颜色通道空间进行线性加权融合。对应的数学公式见如下:

$$S_R(x, y) = \alpha \cdot LL_R(x, y) + (1 - \alpha) \cdot S_R'(x, y), \quad (9)$$

$$S_G(x, y) = \alpha \cdot LL_G(x, y) + (1 - \alpha) \cdot S_G'(x, y), \quad (10)$$

$$S_B(x, y) = \alpha \cdot LL_B(x, y) + (1 - \alpha) \cdot S_B'(x, y). \quad (11)$$

其中, $S_R(x, y), S_G(x, y), S_B(x, y)$ 分别表示 R, G 和 B 通道的增强图像, α 是权重系数并设置 $\alpha \in (0, 1)$ 。

3 实验结果与分析

为了验证本文中提出的优化算法,将本文算法与基于 Retinex 理论的其它算法进行性能对比。研究后,可得多幅去雾图像经过各种算法处理后的效果图如图 1 所示。

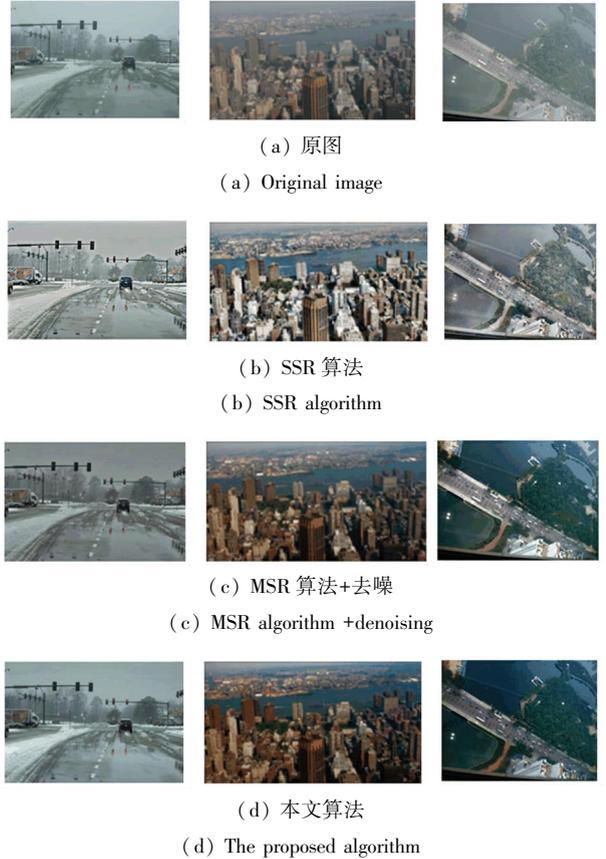


图 1 算法效果对比图

Fig. 1 Algorithm effect comparison diagram

由图 1 中可以看出,图 1(b) 经过处理后,图像的清晰度得到了很大的改善,但图像有出现失真或过曝的现象,这是由于 SSR 处理结果与尺度参数密切相关,尺度参数的选择直接影响去雾的效果,所以针对去雾图像要反复试验,确定一个最优的尺度参数。图 1(c) 经过 MSR 算法以及去噪处理后,图像整体变清晰,图像中的物体均可以辨认,光晕效果不明显,但存在对比度不足,与原去雾图像的背景出现了色偏。由图 1(d) 可以很明显地看出,本文的方法可以有效地对图像进行除雾处理,提高了图像的对比度,复原了图像的模糊细节。由于拉普拉斯金字塔算法具有提取全局轮廓信息和局部细节纹理的优点,采用拉普拉斯金字塔算法对全局细节进行增强,可以有效地突出细节特征。

采用标准差、平均梯度、信息熵这三个指标对上述的去雾算法进行评定^[9],评定结果见表 1~表 3。

表1 第一组图指标评定结果

Tab. 1 The first group of indicators evaluation results

	标准差	平均梯度	信息熵
原图	50.125 3	3.435 7	7.421 3
SSR 算法	51.174 8	5.856 4	7.486 9
MSR 算法+去噪	54.963 4	7.416 9	7.523 1
本文算法	56.996 3	8.124 9	7.641 7

表2 第二组图指标评定结果

Tab. 2 The second group of indicators evaluation results

	标准差	平均梯度	信息熵
原图	30.564 2	3.245 1	6.546 9
SSR 算法	34.520 2	4.698 4	6.751 2
MSR 算法+去噪	40.451 7	5.234 5	7.462 9
本文算法	46.238 5	5.841 2	7.756 9

表3 第三组图指标评定结果

Tab. 3 The third group of indicators evaluation results

	标准差	平均梯度	信息熵
原图	27.085 4	3.289 1	6.223 7
SSR 算法	31.256 8	5.638 1	6.733 9
MSR 算法+去噪	41.263 4	6.321 8	7.429 5
本文算法	46.332 8	7.036 5	7.514 8

由表1~表3中可以看出,3种算法对去雾图像均有明显的复原效果,标准差越大证明图像的质量就越好。因而由表1~表3中就能清晰地看出,本文算法可以更好地提高图像的质量。平均梯度指的是图像的灰度变化率,平均梯度越大,图像的层次就越丰富,图像也就更加清晰。使用本文算法相较于其他算法,很好地改善了图像的模糊程度。对于图像信息熵,本文算法和 MSR 算法与去噪算法的组合明

显优于 SSR 算法。

4 结束语

本文结合基于 Retinex 理论的 MSR 算法、双边滤波器以及拉普拉斯金字塔算法的优点,提出了一种基于 Retinex 理论的图像去雾去噪算法。首先使用多尺度算法估算出图像的光照分量及反射分量,并对光照分量进行伽马校正,使用双边滤波器对其进行降噪处理,并引入拉普拉斯金字塔增强图像的局部细节,最终结果与反射图像线性加权。使用本文算法对多组图像进行了去雾处理,通过分析处理后的结果可知,本文算法不仅高效,而且还有着较为显著的优势。本文算法有效地增强了图像的边缘和细节部分,保持了图像的颜色一致性。

参考文献

- [1] 徐健,吴曙培,林皓琨. 基于暗通道先验去雾算法的优化[J]. 电子测量技术,2019,42(14):98.
- [2] 肖玉丽. 去雾算法及其在车牌检测中的应用研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2011.
- [3] 郭璠. 图像去雾方法和评价及其应用研究[D]. 长沙:中南大学,2011.
- [4] 王响平,王玲,陆谱进. 基于调和模型神经网络的彩色图像复原研究[J]. 计算机工程与应用,2015,51(4):188.
- [5] 吴俊杰. 海雾图像清晰化算法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2017.
- [6] 洪平. 基于 RETINEX 理论的图像去雾研究[D]. 上海:上海交通大学,2013.
- [7] 周剑华. 改善数码照片的几种质量问题的算法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [8] 陶颖. 基于 Retinex 的夜间彩色图像增强技术的研究[D]. 长春:长春理工大学,2018.
- [9] GUO Fan, TANG Jin, CAI Zixing. An objective assessment method for image defogging effects[J]. International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems (IJAACS), 2015,8(2/3):180.

(上接第92页)

4 结束语

本文通过对系统进行层次分析确定系统的可靠性评估指标,并利用层次分析法计算组合权重确定奖励系数,采用马尔科夫奖励过程考虑不同衰减系数建立地铁列车牵引系统可靠性评估模型,最终研究确定衰减系数 $\gamma = 0.2$,奖励系数 $M = 0.2$ 作为可靠性评估最优参数,该分析方法对地铁列车的维护保障、维修决策具有重要的参考意义。

参考文献

- [1] 赵峰,李渊琴,陈鲜,等. 动车组牵引传动系统健康状态评估[J]. 铁道科学与工程学报,2018,15(6):1391-1398.
- [2] 曹茜,赵峰,王开铭,等. CRH3 型动车组牵引传动系统可靠性分析[J]. 中国安全科学学报,2016,26(5):41.

- [3] 孟辉苓,刘志刚,刁利军,等. 城轨列车牵引逆变系统可靠性评估[J]. 铁道学报,2014,36(9):34.
- [4] 宋永丰,陆阳,李杰波,等. CRH_{3C}型动车组牵引传动系统可靠性建模与指标分配[J]. 铁道机车车辆,2013,33(5):75.
- [5] 赵琼. 牵引供电系统接触网可靠性分析研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2014.
- [6] 郑彦涛. 基于层次分析法的 CRH380B 动车组维修可靠性分析与研究[D]. 北京:清华大学,2013.
- [7] 张志华. 可靠性理论及工程应用[M]. 北京:科学出版社,2012.
- [8] 何正友. 复杂系统可靠性分析在轨道交通供电系统中的应用[M]. 北京:科学出版社,2015.
- [9] 邱慧慧. 地铁车辆牵引传动系统可靠性建模与寿命评估[D]. 北京:北京建筑大学,2018.
- [10] 张友鹏,杨金凤. 模糊灰色聚类法和组合赋权法在铁路信号系统可靠性评估中的应用[J]. 安全与环境学报,2017,17(2):426.