

改进的单尺度 Retinex 雾天图像增强算法

张赛楠¹, 吴亚东¹, 张红英², 王松¹

(1. 西南科技大学计算机科学与技术学院, 四川 绵阳 621000; 2. 西南科技大学信息工程学院, 四川 绵阳 621000)

摘要:在恶劣天气(如雾、霾)条件下,室外计算机视觉系统会采集到严重降质的图像,为生产、生活带来了严重的影响。本文基于色彩恒常理论提出了一种快速有效的雾天图像增强新算法,首先利用拉普拉斯梯度算子增强了雾天降质图像的各个颜色分量的边缘信息,然后在单尺度 Retinex 算法的基础上创新性提出了一种符合人眼视觉特性的中心自适应调节的拟合函数增强图像各个颜色分量,提高对比度,保持色彩信息。同时结合对比度、信息熵和运算时间等客观评价标准,与直方图均衡化和多尺度 Retinex 算法进行对比,验证了本算法优越性,并能满足实时处理的需求。实验仿真结果表明,该算法去雾效果显著,具有良好的视觉欣赏效果。

关键词:图像去雾;图像增强;色彩恒常理论;SSR 算法;MSR 算法

中图分类号:TP751.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.06.022

Haze image enhancement method based on improved single-scale Retinex

ZHANG Sai-nan¹, WU Ya-dong¹, ZHANG Hong-ying², WANG Song¹

(1. Department of Computer Science, SWUST, Mianyang 621000, China;

2. Department of Information Engineering, SWUST, Mianyang 621000, China)

Abstract: Images captured by outdoor computer vision system degrade in bad weather (e. g., fog, haze). A fast and effective haze image enhancement method based on Retinex is presented. The edge details of the haze image's color channels are firstly enhanced by using the Laplacian operator. Then, based on Single-Scale Retinex, a new image enhancement fitting function of center self-adapt adjustment is presented, which enhance the image's each color channels, increase contrast and reduce color shift of the image. Taking contrast, information entropy and arithmetic time into account, it is compared with Histogram Equalization and Multi-Scale Retinex. It proves that this method has the advantages. Experiment results show that this method can effectively remove the haze from the input images, enhance the contrast and keep the color information.

Key words: haze remove; image enhancement; Retinex; single-scale Retinex; multi-scale Retinex

1 引言

在雾、霾天气条件下,室外计算机视觉系统采集到的图像受到了严重的降质,图像灰度动态范围缩小,景物模糊不清,对比度降低,降低了图像的应用价值,给生产、生活带来了严重的影响。因此对雾、霾天采集到的降质图像进行图像复原具有重要的意义和应用价值。

目前的图像去雾技术^[1]主要分为:基于物理模

型的图像复原技术^[2-4],文献[2]和[3]利用传感器或同一场景的多幅图像来获得图像的场景深度和大气条件的精确信息来恢复图像,给实际应用带来了

基金项目:国家国防科工局项目(No. B3120110005);四川省科技厅基金项目(No. 2011JQ0041, 11zs2009)资助。

作者简介:张赛楠(1988-),女,硕士研究生,主要研究领域为计算机视觉,图像处理。E-mail: zhangsainan825@163.com

收稿日期:2012-11-07; **修订日期:**2012-11-22

困难。文献[4]通过对大量室外无雾图像进行统计,从而得到了一个暗通道先验假设来复原图像,该算法具有良好的复原效果,但是运算比较繁琐,不能满足实时处理图像的需求。基于图像增强的处理技术^[5-7],该技术避开了图像降质的物理原因,仅从图像处理的角度出发,提高降质图像的对比度,突出细节信息,改善图像的视觉效果,使处理后的图像更加符合人类视觉特征或计算机视觉设备的要求,该技术适用范围广泛,能满足实际生产、生活的应用。

利用 Retinex 理论的色彩恒常性,提出了一种快速有效的雾天图像增强新算法。创新性地提出了一种基于人眼视觉特性的中心自适应调节的拟合函数对 SSR 算法进行改进,对雾天降质图像进行图像增强处理,提高了图像的对比度,保持了图像的色彩信息,有效去除了雾天图像的天气效果,恢复的图像具有良好的视觉效果,同时该算法能满足实时处理图像的需求。

2 Retinex 理论及常用算法

2.1 Retinex 理论

Retinex 理论^[8]是基于色彩恒常的一种计算理论,是视网膜(Retina)和大脑皮层(Cortex)的缩写,是由 Land 等人提出的一个关于人类视觉系统如何调节感知到物体的颜色和亮度的模型。

Retinex 理论认为人类知觉到的物体的亮度和色彩是由环境的照明和物体表面对照射光的反射决定的。人类视觉系统产生的物体图像 $I(x, y)$ 由图像的照度分量 $L(x, y)$ 和反射分量 $R(x, y)$ 组成:

$$I(x, y) = L(x, y) \cdot R(x, y) \quad (1)$$

照度分量 $L(x, y)$ 决定了图像能达到的动态范围,反射分量 $R(x, y)$ 决定了物体的内在性质。由 Retinex 理论的实现思想是从图像 $I(x, y)$ 中去除照度分量 $L(x, y)$,就可以在不考虑照度发生变化的情况下还原出清晰的图像,达到图像增强的目的。比较常用的 Retinex 算法是基于中心环绕的单尺度 Retinex 算法(single-scale retinex, SSR)^[9]和多尺度 Retinex 算法(multi-scale retinex, MSR)^[10-11]。

2.2 Retinex 相关算法

在 RGB 色彩空间中,单尺度 Retinex 算法(SSR)的表达式为:

$$R_i(x, y) = \log I_i(x, y) - \log [F(x, y) * I_i(x, y)] \quad (2)$$

式中, i 的取值为(1,2,3); $I_i(x, y)$ 为输入图像的第*i*个颜色分量的像素值; $R_i(x, y)$ 为第*i*个颜色分量 Retinex 算法的输出值;*是卷积算子; $F(x, y)$ 是中

心/环绕函数,用高斯函数实现,表达式为:

$$F(x, y) = Ke^{-(x^2+y^2)/\sigma^2} \quad (3)$$

其中, σ 是高斯函数的中心/环绕尺度参数, σ 值越小,动态范围压缩大,图像局部细节能得到较好的增强,输出颜色易失真; σ 值越大,图像的整体效果越好,图像颜色自然,但局部细节不清晰; K 是归一化常数,使中心/环绕函数满足:

$$\iint F(x, y) dx dy = 1 \quad (4)$$

为了满足动态范围压缩大和色彩的恒常性,文献[10]提出了多尺度 Retinex 算法(MSR)。MSR 算法是多个 SSR 处理结果的加权平均:

$$R_{m_i}(x, y) = \log I_i(x, y) - \log [F_n(x, y) * I_i(x, y)] \quad (5)$$

$$R_{m_i}(x, y) = \sum_{n=1}^N \omega_n R_{n_i}(x, y) \quad (6)$$

其中, i 的取值为(1,2,3); $I_i(x, y)$ 为输入图像的第*i*个颜色分量的像素值; $R_{m_i}(x, y)$ 为第*i*个颜色分量 Retinex 算法的输出值; N 为尺度个数,一般选取高、中、低三个尺度; ω_n 为对应每个尺度的权值; $R_{n_i}(x, y)$ 为第*i*个颜色分量第*n*个尺度的输出值。但 MSR 算法比 SSR 算法的复杂度高,耗费的时间较长。

3 图像增强拟合函数

大量的实验研究发现,人眼的视觉满足图像亮度从最暗到最亮的亮度变化的特点,这就要求图像增强函数曲线必须满足两个条件:①保证图像亮度的映射是从最暗到最亮的顺序增加,并满足图像亮度映射是一一对应的;②保证处理前后图像的亮度保持在[0,1]范围内,不会超出图像表示范围的错误数据。

针对这两个约束条件,提出了一种符合人眼视觉特性的中心自适应调节的拟合函数 $f(x)$ 来增强雾天图像的各个颜色分量,它不仅能满足增强函数的两个约束条件;还能有效地扩展图像灰度动态分布,改善对数(log型)函数处理图像的局限性,具有良好的调节作用,表达式如下:

$$f(x) = a - b \cdot (\log(1/x) - 1) \quad (7)$$

其中, a 是该拟合函数的调解中心; b 是该函数的幅值,取值范围是[0,1];在图像调节中, a 为输入雾天图像的灰度平均值, b 是用来确定图像灰度动态范围的离散程度, b 越大,图像的动态分布越广。

采集到的雾天图像具有灰度动态范围很小,亮的部分和暗的部分又少又集中(如图2(b)所示)的特点,这就需要对图像的灰度范围进行扩展,达到图像增强的作用。原 Retinex 算法^[9-11]和文献[12]分

别采用了对数(log型)函数和双曲正切函数来调节,把这两个函数和本文提出的拟合函数 $f(x)$ 的图形曲线和灰度动态范围调节进行比较,结果表明本文提出的拟合函数 $f(x)$ 效果较好。

设输入的雾天降质图像的取值范围为 $[0, 1]$,则把对数(log型)函数、双曲正切函数、拟合函数 $f(x)$ 的输出范围变换到 $[0, 1]$,则变换后的函数分别为 y_1, y_2 ,表达式如下所示:

$$y_1 = \log(x) / \log 255 + 1 \quad (8)$$

$$y_2 = 1 / (1 + e^{-8(x-a)}) \quad (9)$$

其中, a 为输入图像的灰度平均值,它是作为型调节函数的调节中心。当 $a = 0.5, b = 1/5$ 时,画出了对数(log型)函数 y_1 、双曲正切函数 y_2 和拟合函数 $f(x)$ 的曲线图,并将它们与函数 $y_3 = x$ 作比较,如图1所示。

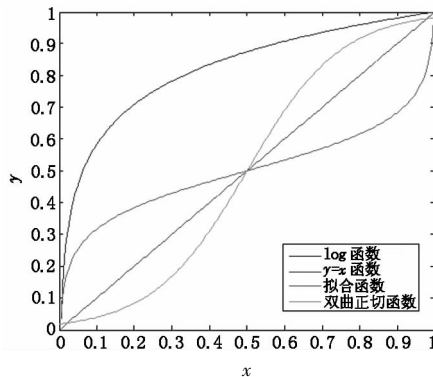


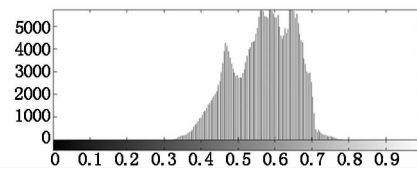
图1 四种函数图形的比较

从图1中可以看到对数(log型)函数没有可调节的中心点,容易造成图像整体灰度值偏大;双曲正切函数和本文的拟合函数 $f(x)$ 的中心点随着输入图像的灰度平均值变化而变化,可自适应调节,但是本文的拟合函数 $f(x)$ 可以通过参数 b 调整函数曲线弧度的变化(即图像灰度范围的离散程度),同时该拟合函数 $f(x)$ 能够对灰度值较低的区域(如图1中曲线的下半部分)进行增强,而在灰度值较高的区域(如图1中曲线的上半部分)进行压制,比双曲正切函数更符合人眼的视觉特性。

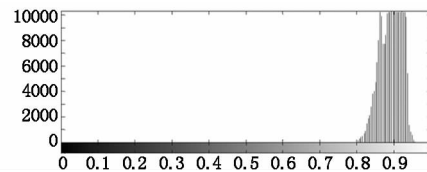
从图2(c)中可以看出利用对数(log型)函数处理的雾天图像的灰度范围分布集中,图像灰度值整体向右偏移,灰度值整体偏大;双曲正切函数处理后的图像(如图2(d)所示)和拟合函数 $f(x)$ 处理后的图像(如图2(e)所示)的灰度动态范围从 $[0.35, 0.75]$ 扩展到了 $[0.15, 0.9]$,但是拟合函数 $f(x)$ 处理后的灰度值分布频率要比双曲正切函数处理后的灰度值分布频率均匀,具有更好的图像增强效果,更符合人眼的视觉特性。



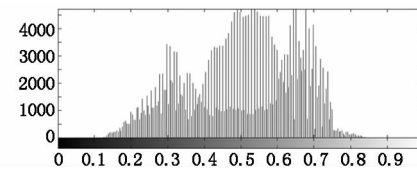
(a) 输入的雾天降质图像



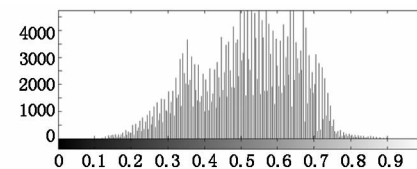
(b) 雾天降质图像的灰度直方图



(c) 对数函数处理后的灰度直方图



(d) 双曲正切函数处理后的灰度直方图



(e) 拟合函数处理后的灰度直方图

图2 雾天图像及灰度直方图对比

4 改进的SSR图像去雾新算法

针对SSR/MSR算法中采用对数函数进行图像处理的局限性,且MSR算法计算复杂度高等问题,本文提出了一种改进的基于SSR的图像去雾新算法。

4.1 SSR算法处理图像

在基于Retinex理论的SSR算法的基础上引用了一种基于人眼视觉特性的中心自适应调节的拟合函数 $f(x)$ 来进行图像增强处理。

首先采用SSR算法对雾天图像进行处理,利用等式(2)来处理输入的雾天图像,提高图像的整体亮度,保持图像色调的不变性,得到输出图像 $R_i(x, y)$ 。

4.2 拟合函数图像增强

将输出图像 $R_i(x,y)$ 代入等式(7)中,利用拟合函数 $f(x)$ 来调节输出图像,得到增强后的图像 $V_i(x,y)$ 表达式如下:

$$V_i(x,y) = a_i - b \cdot (\log(1/R_i(x,y)) - 1) \quad (10)$$

其中, i 的取值为(1,2,3); a_i 是 $R_i(x,y)$ 第 i 个颜色分量的平均值; b 是用来调整图像各个颜色分量的灰度值的离散程度,经过多次实验仿真结果表示当 $b = 1/5$ 时效果较好。

经过拟合函数 $f(x)$ 进行图像增强后,恢复了图像的能见度,使图像信息更加清晰丰富,对图像进行对比度增强,调整了图像灰度值的动态范围,恢复雾天图像的视觉效果,更符合人眼的视觉特性。

4.3 增强图像边缘细节

为了更好地恢复雾天图像的细节信息,先对输入的雾天图像进行边缘增强,然后再用改进的 SSR 算法来处理边缘增强后的图像。采用了拉普拉斯边缘算子^[13](等式(11))来提取输入雾天图像的边缘信息,并与输入图像相加,得到边缘增强图像。

$$l = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

边缘增强后的图像输出表达式:

$$I_{en_i}(x,y) = I_i(x,y) + I_i(x,y) * l \quad (12)$$

其中, i 的取值为(1,2,3); $I_i(x,y)$ 为输入图像的第 i 个颜色分量的像素值。

4.4 算法流程

算法流程如图3所示,分别对输入 RGB 有雾图像的各个颜色分量进行边缘细节信息增强;接着采用 SSR 去雾算法进行全局图像增强,恢复图像可见度;利用拟合函数对图像进行增强恢复有雾图像的视觉效果,具有良好的可观性。

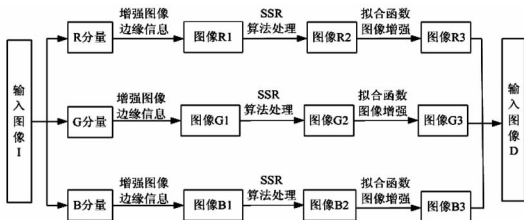


图3 算法流程图

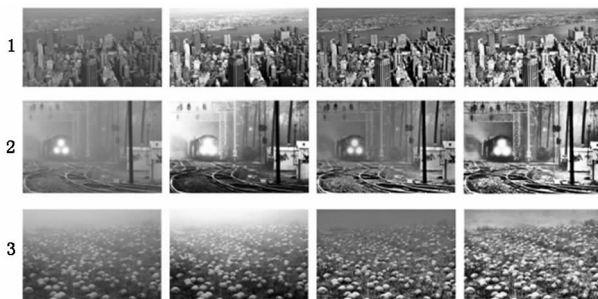
5 实验结果与分析

给出了改进的基于 SSR 算法图像去雾新算法在 matlab 平台上的仿真处理结果,同时与直方图均衡化算法、MSR 算法的仿真结果进行对比。本文的主要评价标准主要是人眼的直观效果,同时使用对

比度和信息熵这两个客观评价标准为辅,最后给出了本文算法和 MSR 算法的运行速度的比较结果。

5.1 图像去雾算法的直观评价

分别给出了三组雾天图像在直方图均衡化算法、MSR 算法以及本文算法的处理结果对比图,如图4所示。



(a)雾天图像 (b)直方图算法 (c)MSR 算法 (d)本文算法

图4 三组雾天图像的不同算法处理结果对比图

由图4中可以看出,直方图均衡化的算法处理的雾天图像整体偏亮,且图像上方的去雾效果不显著,造成了图像的远处场景细节信息的丢失;MSR 算法的处理的雾天图像整体偏暗,处理后的图像的色彩出现了偏移,破坏了图像的灰色世界;而本文的算法的去雾效果明显,对雾天图像进行的边缘增强处理能有效地恢复图像远处的场景细节信息,同时使恢复的图像具有较好的可欣赏性,更符合人眼的视觉欣赏性。

5.2 算法的客观评价

分别从图像的对比度和信息熵这两个客观指标来评价本文算法与直方图均衡化算法、MSR 算法的优劣,如表1所示。图像的对比度反映了图像的细节信息,对比度的值越大,图像的细节信息越突出,恢复效果越好。信息熵反映了图像的信息含量,信息熵值越大,表示图像所含的信息就越丰富,图像的恢复效果越明显。

表1 三种算法处理后的对比度/信息熵对比

	输入图像	直方图均衡化算法	MSR 算法	本文算法
1	0.1301/6.0268	0.2863/6.9489	0.2565/6.5228	0.3870/7.1119
2	0.1218/5.4739	0.2916/6.3608	0.1881/6.0926	0.3305/6.7715
3	0.1801/6.1727	0.2604/6.6353	0.1843/6.5179	0.2772/7.3989

5.3 算法的计算复杂度

本文是在 SSR 算法的基础上进行的改进,其计算量仅是 MSR 算法的 1/3,其算法复杂度比 MSR 算法复杂度小的多,提高了算法的运算速度,缩短了算法的运算时间,如表2所示。本文算法能满足实时

处理雾天图像、视频的需求。

表2 算法处理时间对比

输入图像	图像大小/P	MSR 算法/s	本文算法/s
1	800 × 431	1.842612	1.379228
2	600 × 400	1.84320	0.762594
3	600 × 400	1.2612833	0.767900

6 结论

本是在色彩恒常理论的 SSR 算法的基础上引入了一种基于人眼视觉特性的中心可自适应调节的拟合函数 $f(x)$ 来增强雾天图像,提高图像对比度,同时利用拉普拉斯算子增强图像的边缘信息,保留了图像远处场景的细节信息。实验结果表明,本文算法能有效恢复雾天图像,更好的增强了图像的对比度,提高了图像的信息熵值,具有良好的视觉效果,并能满足实时处理的需求。但是由于该方法是在 SSR 算法的基础上分别对 R, G, B 通道进行图像增强,所以在处理一些颜色信息敏感的雾天图像易造成色彩失真(如图4的第3组图像)。为此,下一步的研究将会进一步完善该算法,同时考虑采用基于物理模型的图像复原方法来处理雾天图像,使得图像去雾效果更加自然,更能广泛的应用于生产、生活的需求。

参考文献:

- [1] Yu Jing, Xu Dongbin, Liao Qingmin. Image defogging: a survey[J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(9): 1561 - 1566. (in Chinese)
禹晶, 徐东彬, 廖庆敏. 图像去雾技术研究进展[J]. 中国图像图形学报, 2011, 16(9): 1561 - 1576.
- [2] John P Oakley, Brenda L Satherley. Improving image quality in poor visibility conditions using a physical model for contrast degradation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(2): 167 - 179.
- [3] S G Narasimhan, S K Nayar. Interactive deweathering of an image using physical models[C]//Workshop on Color and Photometric Methods in Computer Vision, 2003, 1.
- [4] He K, Sun J, Tang X. Single image haze removal using

dark channel prior[J]. CVPR, 2009.

- [5] Deng Yue, Wang Yanjie, Li Jingyu, et al. Improvement of enhancement algorithm for aerial image[J]. Laser & Infrared, 2012, 42(9): 1080 - 1085. (in Chinese)
邓玥, 王延杰, 李静宇, 等. 天空区域图像的增强算法的改进[J]. 激光与红外, 2012, 42(9): 1080 - 1085.
- [6] Zhang Xinming, Shen Lansun. Image contrast enhancement by wavelet based homomorphic filtering [J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(4): 531 - 533. (in Chinese)
张新明, 沈兰荪. 基于小波的同态滤波器用于图像对比度增强[J]. 电子学报, 2001, 29(4): 531 - 533.
- [7] Brainard D H, Wandell B A. Analysis of the retinex theory of color vision[J]. Journal of Optical Society of America, 1986, 3(10): 1651 - 1661.
- [8] Land E H, Mccann J J. Lightness and retinex theory[J]. Journal of the Optical Society of America, 1971, 61(1): 1 - 11.
- [9] Jobson D J, Rahman Z, Woodell G A. Properties and performance of a center/surround retinex [J]. IEEE Trans. Image Processing, 1997, 6(3): 451 - 462.
- [10] Jobson J, Rrhman Z, Woodell G A. A Multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes[J]. IEEE Trans. Image Processing, 1997, 6(7).
- [11] Peng Jiaqi, Liu Bingqi, Dong Wei, et al. Method of image enhancement based on multi-scale retinex [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(11): 1160 - 1163. (in Chinese)
彭佳琦, 刘秉琦, 董伟, 等. 基于多尺度 Retinex 的图像增强算法[J]. 激光与红外, 2008, 31(5): 728 - 733.
- [12] Huang Lihong. Fog-degraded image enhancement based on single-scale Reinex [J]. Journal of Applied Optics, 2010, 31(5): 728 - 733. (in Chinese)
黄黎红. 一种基于单尺度 Retinex 的雾天降质图像增强新算法[J]. 应用光学, 2010, 31(5): 728 - 733.
- [13] Zhao Xiaoxia, Wang Rulin, Li Xueyan. Enhancement algorithm of fog-degraded image based on multiscale Retinex [J]. Industry and Mine Automation, 2009, 10: 62 - 66. (in Chinese)
赵晓霞, 王茹琳, 李雪艳. 基于多尺度 Retinex 的雾天降质图像增强算法[J]. 工矿自动化, 2009, 10: 62 - 66.