

雾天条件下的多尺度 Retinex 图像增强算法

李菊霞¹ 余雪丽²

(山西农业大学信息科学与工程学院 太谷 030801)¹

(太原理工大学计算机科学与技术学院 太原 030024)²

摘要 在雾天条件下拍摄图像时,由于受到大气散射作用的影响,图像的颜色和对比度会出现退化现象。为了提高雾天图像的质量,提出一种改进的多尺度 Retinex 雾天图像增强算法。首先采用幂次变换压缩图像动态范围;然后采用非线性变换对图像的高光区域进行抑制;最后采用反锐化掩模滤波消除图像模糊,增强雾天图像细节信息,并采用多幅雾天图像对算法性能进行仿真测试。仿真结果表明,改进多尺度 Retinex 的雾天图像增强算法较好地解决了传统 Retinex 算法存在的不足,加快了雾天图像增强的运行速度,使得雾天图像更加清晰化,获得了更优的视觉效果。

关键词 雾天图像,图像增强,色彩恒常理论,去雾

中图分类号 TP751.1 **文献标识码** A

Enhance Algorithm for Fog Images Based on Improved Multi-scale Retinex

LI Ju-xia¹ YU Xue-li²

(College of Information Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)¹

(College of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)²

Abstract When images are shot in fog circumstances, the color and contrast of fog images appear degrade phenomenon. In order to improve the quality of fog image, this paper proposed a fog image enhancement method based on improved multi-scale Retinex algorithm. Firstly, the dynamic range of image was compressed by the power transform, and then nonlinear transform was used to suppress the high light area of image, finally the unsharp mask filtering was used to eliminate fuzzy to enhance the detail information of fog image, and a few fog images were used to test the performance of the proposed algorithms. The simulation results show that the proposed algorithm solves the shortcomings of traditional Retinex algorithms, accelerates the speed of fog image enhancement, and the fog image is more clearly, so it can obtain better visual effect.

Keywords Fog image, Image enhancement, Retinex, Defog

1 引言

在雾天条件下拍摄图像时,由于受到大气散射作用的影响,拍摄图像的颜色以及对比度会出现退化现象,图像质量较低,给户外视频监控造成不利影响,因此对雾天图像进行增强处理,提高图像质量,具有十分重要的意义^[1]。

雾天图像增强的目的主要是提高图像的对比度和饱和度,并保持色度不变。当前雾天图像增强算法分为物理方法和图像处理方法^[2]。物理方法需要晴天同一场景下的图像等先验知识,而且需要借助一些物理设备,如传感器,因此在实际应用中不方便^[3]。基于图像处理的雾天图像增强算法可以脱离对物理设备的依赖,成为当前雾天图像增强研究的主要方向,目前主要有:直方图均衡、小波变换、同态滤波和 Retinex 算法等^[4-7]。直方图均衡法通过增大图像的细节对比度,来提高图像质量,但原来图像的颜色易失真;同态滤波法可以

较好地处理光照不均匀的图像,但对于雾天图像效果不佳^[8]。1964年 Edwin Land 提出了色彩恒常性 Retinex 理论,其可以增强图像的对比度,为解决雾天图像质量问题提供了一种新的增强方法^[9]。较常见的有单尺度 Retinex(SSR)、多尺度 Retinex(MSR)以及多尺度 Retinex 彩色恢复(MSRCR)等算法,然而,大量研究表明,Retinex 理论输出图像存在光晕、过增强和算法复杂度高等缺陷,且会导致 RGB 彩色偏移为灰色,即所谓的“灰度世界被破坏”^[10]。随后有学者在 Retinex 算法基础上,提出了一系列改进的 Retinex 图像增强算法,这些算法在一定程度上提高了雾天图像质量,增强效果优于传统 Retinex 算法,但复杂度相当高^[11]。赵全友等采用非线性 Sigmoid 获得了较好的多尺度增强效果,但是其只能增强暗区域,而不适合雾天图像增强^[12]。

为了提高雾天图像的增强效果,针对传统 Retinex 算法的不足,提了一种改进尺度 Retinex 算法的雾天图像增强方

到稿日期:2012-05-23 返修日期:2012-09-20 本文受山西农业大学创新基金(2009009),视觉听觉跨模态相干性协同学习算法研究(62873139)资助。

李菊霞(1977—),女,硕士,讲师,主要研究方向为计算机应用技术及图像处理,E-mail:lijxsn@126.com;余雪丽(1944—),女,教授,主要研究方向为计算机应用技术及人工智能。

法,并通过仿真实验对其性能进行分析和验证。

2 传统 Retinex 图像增强算法及存在的缺陷

2.1 传统 Retinex 算法

Retinex 理论是一种颜色恒常知觉的色彩理论,较好地说明了相同物体在不同光源下颜色是恒定的,一幅图像 $I(x, y)$ 包括照射分量 $L(x, y)$ 和反射分量 $R(x, y)$,用公式可以表示为:

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

式中,照射分量 $L(x, y)$ 描述了图像变化缓慢的低频信息,直接决定了图像像素的动态范围;反射分量 $R(x, y)$ 包含了图像中的大部分高频细节信息,决定了图像的内在性质。

Retinex 理论的目的就是消除照射分量 $R(x, y)$, 获得反射分量 $L(x, y)$, 以获得物体的本来面貌。其原理如图 1 所示。

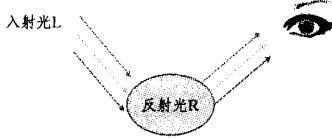


图 1 Retinex 理论原理图

对式(1)两边取对数,可以分离出反射和照射分量,得到原始面貌,即有:

$$\log I(x, y) = \log L(x, y) + \log R(x, y) \quad (2)$$

SSR 算法使用高斯滤波器来估计图像的照射分量 $L(x, y)$, 那么第 i 个颜色分量 Retinex 增强结果 $R_i(x, y)$ 为:

$$R_i(x, y) = \log I_i(x, y) - \log [F(x, y) * I_i(x, y)] \quad (3)$$

式中, $i=1, 2, 3$, $*$ 表示卷积操作, $F(x, y)$ 为环绕函数, 一般采用高斯函数, 其定义为:

$$F(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

式中, σ 表示标准差。

对 $R(x, y)$ 再进行指数变换就可以得到增强后的图像。当 σ 取值较大时, 增强图像色彩比较逼真, 但无法获得较好的细节增强效果; σ 取值较小时, 增强图像细节突出, 但色彩失真较严重, 因此 SSR 算法无法同时达到保证细节增强与颜色保真的效果, 为了保证两者平衡, 引入了 MSR 算法, 其数学表达式为:

$$R_i(x, y) = \sum_{k=1}^k w_k \{ \log I_i(x, y) - \log [F_k(x, y) * I_i(x, y)] \} \quad (5)$$

式中, k 表示环绕尺度个数, 一般情况下 $k=3$; w_k 表示第 k 个尺度权重系数, 且满足 $\sum_{k=1}^k W_k = 1$; w_k 表示第 k 个环绕函数。

相对于 SSR 算法, MSR 算法可以更好地平衡压缩范围和色彩呈现, 但是经过 MSR 算法处理后的图像其颜色失真还是比较明显, 因此在 MSR 算法的基础上又发展出了 MSRCR 算法, 其表达式为:

$$R_{MSRCR_i}(x, y) = a_i(x, y) R_{MSR_i}(x, y) \quad (6)$$

$$a_i(x, y) = \log\left(\frac{\beta \cdot I_i(x, y)}{\sum_{k=1}^k i_k(x, y)}\right) \quad (7)$$

式中, β 为调整参数; $a_i(x, y)$ 为调整因子。

2.2 Retinex 算法缺陷分析

采用传统 Retinex 算法对一幅雾天图像进行增强处理,

SSR 算法、MSR 算法和 MSRCR 算法的增强结果如图 2 所示。

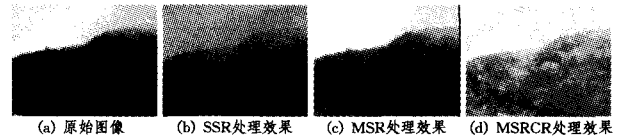


图 2 传统 Retinex 算法处理后图像

根据图 2 的结果可知, 由于雾的退化效果, 雾中的景物呈现灰白或白色, 经过传统 Retinex 算法处理后, 出现了比较明显的“光晕”现象, 颜色失真比较严重, 这主要是在 Retinex 理论中, 照射光直接决定一幅图像中像素能达到的动态范围, 而反射光决定一幅图像的内在性质, 因此, Retinex 理论的实质就是从图像中抛去照射光的影响, 获得物体的反射性质, 传统 Retinex 算法本质上相当于对图像的高通滤波处理过程, 使得图像的高频成分被增强, 但同时滤掉大部分低频成分, 导致图像内容信息丢失, 因此本文主要针对 MSR 算法的不足进行改进, 以获得更高质量的雾天图像。

3 改进 MSR 算法

动态范围是指图像的亮度级最大值与最小值之比, 人眼分辨物体的动态范围可以为 $100000000 : 1$, 显示设备能重建的亮度动态范围仅为 $100 : 1$, 因此对图像进行处理, 使更多信息能够在设备上显示出来。

图像幂次变换不仅较大幅度地压缩了图像动态范围, 而且可对被压缩图像中的暗像素进行有效扩展, 再者对数形式更接近人类视觉系统对光线的感知能力。基本表达式为:

$$g(x, y) = c [I(x, y)]^\gamma \quad (8)$$

式中, $I(x, y)$ 为原始图像, $g(x, y)$ 为幂次变换后的图像, c, γ 均为正常数。

幂次变换可以将部分灰度区域映射到更宽的区域中, 从而增强图像的对比度。当 $\gamma=1$ 时, 幂次变换转变为线性变换; 当 $0 < \gamma < 1$ 时, 幂次变换可以扩展原始图像中低像素值区的灰度值, 压缩高像素值区的灰度值; 当 $\gamma > 1$ 时, 幂次变换可以增强原始图像中的亮区信息。

幂次变换可以增强图像暗区信息, 有效压缩图像的动态范围, 但是有时会导致原图像亮的区域增强过度, 高光区域出现。为了抑制图像高光区域出现, 对其进行非线性变换。即

$$I_2(x, y) = \left(\frac{2}{1 + \exp(-m)} - 1 \right) \times 255 - v(x, y) \quad (9)$$

$$m = k(v) \times \frac{v}{v + a} \quad (10)$$

$$k(v) = \begin{cases} 7, & 0 \leq v \leq 60 \\ (v - 60) / 70 + 7, & 60 < v \leq 200 \\ (v - 200) / 55 + 9, & 200 < v \leq 255 \end{cases} \quad (11)$$

式中, a 为调整系数, $v(x, y)$ 为图像的灰度值, \bar{v} 表示原图像的平均灰度值。

对图像进行动态范围压缩后, 有时会使图像变得模糊不清, 这主要是由于高斯滤波算法的不足引起的, 因此采用了锐化掩模滤波算法来消除图像模糊, 以增强图像的细节部分。图像的高斯模糊可以表示为:

$$U(x, y) = I(x, y) * G(x, y) \quad (12)$$

式中, $G(x, y)$ 为二维高斯函数。

得到模糊图像后, 锐化掩模滤波表示为:

$$I_{En}(x,y) = \alpha \times \frac{c}{2c-1} I(x,y) - \beta \times \frac{1-c}{2c-1} U(x,y) \quad (13)$$

式中,参数 α 和 β 为调整参数,这样可以采用锐化掩模滤波来消除大部分低频信息,保留大部分高频信息和低频信息,进一步增强图像的细节信息。

改进尺度 Retinex 的雾天图像增强算法的工作流程如下:

(1) 对原始图像进行幂次变换,增强原始图像暗区的细节,参数 γ 取 0 到 1 之间的值。

(2) 用反锐化掩模滤波算法函数和原始图像做卷积,得到低通滤波后的图像,即照射分量 $L(x,y)$ 。

(4) 从原始图像中除去部分低频的照射分量,得到增强后的信息,即 $R(x,y)$;

(5) 对 $R(x,y)$ 进行指数变换,得到增强后的图像 $I'(x,y)$ 。

4 仿真实验

4.1 仿真环境

为了验证改进尺度 Retinex 的雾天图像增强算法对于雾天图像识别的性能,在 Pentium 2.8 GHz CPU,内存 3GB,操作系统为 Windows XP 的平台,采用 matlab2009 编程,并采用 SSR 算法、MSR 算法进行了对比实验,采取了主观评价与客观评价相结合的性能衡量方式。待增强的雾天图像如图 3 所示。客观评价标准采用 Jobson 等提出的 r 列基于图像统计特征的度量参数,用 L, C, H 分别代表亮度、对比度和色调的变化,它们定义为

$$L = \frac{\text{mean}(g_{out}(x,y)) - \text{mean}(g_{in}(x,y))}{\text{mean}(g_{in}(x,y))} \quad (14)$$

$$C = \frac{\text{var}(g_{out}(x,y)) - \text{var}(g_{in}(x,y))}{\text{var}(g_{in}(x,y))} \quad (15)$$

$$H = \frac{\text{mean}(H_{out}(x,y)) - \text{mean}(H_{in}(x,y))}{\text{mean}(H_{in}(x,y))} \quad (16)$$

式中, $g_{in}(x,y)$ 为处理前的图像, $g_{out}(x,y)$ 为处理后的图像, $H_{in}(x,y)$ 和 $H_{out}(x,y)$ 分别表示处理前后彩色图像在 HSV 空间中的色调分量, $\text{var}()$ 和 $\text{mean}()$ 分别表示方差和均值运算。

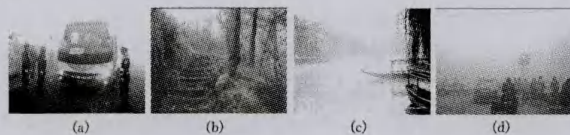


图 3 原始图像

4.2 主观性能对比

各种算法的雾天图像增强效果如图 4—图 6 所示。从图 4—图 6 可知:

(1) 相对于原始的雾天图像,SSR 算法可以较好地去除图像中的暗区,但是存在过度增强的现象。

(2) MSR 算法较好地解决了 SSR 算法存在的过度增强的缺陷,丰富了细节信息,但仍然存在灰度化和局部过暗的情况。

(3) 相对其它算法,改进尺度 Retinex 的雾天图像增强算法较好地消除了图像模糊,使得图像更清晰,提高了图像亮度和对比度,获得了更加符合人眼视觉效果图像。

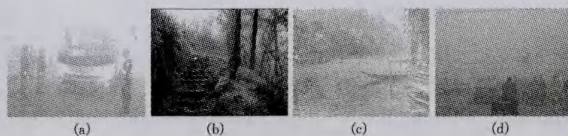


图 4 SSR 算法的增强效果

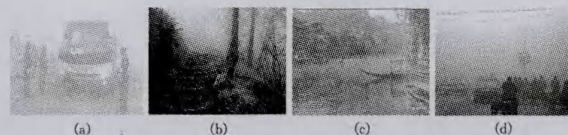


图 5 MSR 算法的增强效果

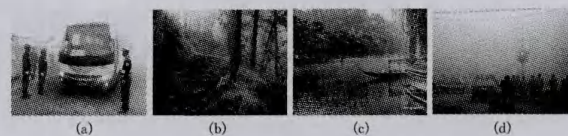


图 6 改进尺度 Retinex 算法

4.3 客观性能对比

各种算法的客观评价指标值见表 1,对表 1 进行分析可知:

(1) SSR 和 MSR 算法的整体灰色比较差,色调保持性能很差,对比度偏低。

(2) 改进尺度 Retinex 的雾天图像增强算法的动态范围广,图像亮度适中,获得了较好的色调保真度,综合性能要优于对比算法。

表 1 各算法的客观性能对比

图像增强算法	L	C	H
SSR	0.745	0.416	1.84
MSR	1.866	0.043	0.187
改进尺度 Retinex 算法	0.689	0.067	0.157

4.4 运行时间对比

各算法运行时间见表 2。从表 2 可知,相对于对比算法,改进尺度 Retinex 算法运行速度最快,运行时间最少,更加适合于户外视频监控系统的实时、在线分析要求。

表 2 不同算法的运行时间(秒,s)对比

图像增强算法	运行时间
SSR	0.790
MSR	1.319
改进尺度 Retinex 算法	0.7650

结束语 针对传统 Retinex 算法不足,提出了一种改进尺度 Retinex 算法的雾天图像增强方法。算法首先引入幂次变换实现图像的动态范围压缩,然后采用非线性变换对图像高光区域进行抑制,最后用反锐化掩模滤波代替高斯滤波函数与原始图像做卷积。仿真实验结果表明,改进尺度 Retinex 算法很好地解决了传统 Retinex 算法存在的难题,提高了雾天图像的对比度,增强了图像的细节信息,获得了较好增强效果,而且运行速度快,十分适用于实时图像处理分析系统。

参考文献

- [1] Russo F. An Image Enhancement Technique Combining Sharpening and Noise Reduction[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2002, 51(4): 824-828

(下转封三)

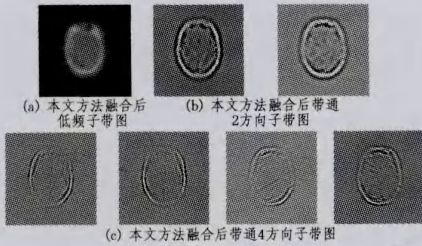


图8 本文方法采用NSCT分解后的子带图像

为了更全面地对融合图像性能进行评价,本文还采用了互信息(MI)^[10]及文献[11]提出的基于边缘信息的性能评价因子 $Q^{AB/F}$ 两个指标对融合方法性能进行客观评价。MI用来衡量融合图像与源图像的相关度,反映了融合图像包含源图像的信息量的大小,值越大则融合图像从源图像获得的信息越多,融合效果越好; $Q^{AB/F}$ 是一种基于边缘信息的性能客观评价指标,可以反映融合图像的边缘保持情况和边缘周围振铃效应的强弱,值越大则融合图像的质量越高。

表1给出了不同融合方法下融合图像(图4(c)~图4(f))评价指标的计算结果。从表1可以看出,本文方法所得融合图像的各参数均优于其他3种方法所得的融合图像,因此主观评价和客观评价一致表明本文方法能够从源图像中提取更多的有用信息(尤其是源图像中的边缘信息)并注入到融合图像中,达到了良好的图像融合效果。

表1 图4中不同融合方法的性能比较

	图4(c)	图4(d)	图4(e)	图4(f)
MI	2.9864	2.2415	2.9534	3.1199
$Q^{AB/F}$	0.5415	0.5024	0.6240	0.6473

结束语 医学图像融合技术成为医学图像处理领域的前沿课题,带动了现代医学诊断产生着深刻的变革。本文提出的基于非下采样Contourlet变换的医学图像融合新方法有效地避免了图像失真,较好地保留了源图像的边缘及细节信息,提高了融合图像的清晰度,改善了融合图像质量。

参考文献

[1] Wilhelm K, Wilsmann T D, Sommer T, et al. CT angiography

(上接第301页)

[2] 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

[3] 周旋,周树道. 卫星图像的去雾研究[J]. 计算机应用与软件, 2005, 22(12): 54-56

[4] 陈功,王唐,周荷琴. 基于物理模型的雾天图像复原新方法[J]. 中国图像图形学报, 2008, 13(5): 888-893

[5] Kimmel R, Elad M, Shaked D, et al. A Variational framework for Retinex[J]. International Journal of Computer Vision, 2003, 52(1): 7-23

[6] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Retinex Processing for automatic image enhancement [J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 100-110

[7] He K M, Sun J, Tang X O. Single image haze removal using dark

hemodynamically relevant to renal artery stenosis, Evaluation of AXIAL, MPR, MIP and SSD reconstruction procedures under standard investigation conditions [J]. ROFO: Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin, 2000, 172(2): 161-167

[2] Yang L, Guo B L, Ni W. Multimodality medical image fusion based on multiscale geometric analysis of contourlet transform [J]. Neurocomputing, 2008, 72(8): 203-211

[3] da Cunha A L, Zhou J P, Do M N. The nonsubsampling contourlet transform: theory, design, and applications [J]. IEEE Transactions on Image Processing (S1057-7149), 2006, 15(10): 3089-3101

[4] Zhang Qiang, Guo Bao-Long. Multifocus image fusion using the nonsubsampling Contourlet transform [J]. Signal Processing, 2009, 89(7): 1334-1346

[5] 屈小波,闫敬文,杨贵德. 改进拉普拉斯能量和的尖锐频率局部化Contourlet域多聚焦图像融合方法[J]. 光学精密工程, 2009, 17(5): 1203-1212

[6] Wei H, Jing Z L. Evaluation of focus measures in multi-focus image fusion [J]. Pattern Recognition Letters (S0167-8655), 2007, 28(4): 493-500

[7] Hill P R, Bull D R, Canagarajah C N. Image fusion using a new framework for complex wavelet transforms [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Genova; Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2005: 1338-1341

[8] 苗启广,王宝树. 基于Contourlet的图像融合新方法[J]. 计算机科学, 2008, 35(5): 231-235

[9] 叶传奇,苗启广,王宝树. 基于非子采样Contourlet变换的图像融合方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(10): 1274-1278

[10] 陈浩. 基于多尺度变换的多源图像融合技术研究[D]. 长春: 中国科学院研究生院, 2010

[11] Xydeas C S, Petrovic V. Objective image fusion performance measure [J]. Electronics Letters, 2000, 36(4): 308-309

channel prior [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Florida; IEEE, 2009: 1956-1963

[8] 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

[9] 赵晓霞,王茹琳,李雪艳. 基于多尺度Retinex的雾天降质图像增强新算法[J]. 工矿自动化, 2009, 10: 62-66

[10] Chen J, Paris S, Durand F. Real-time edge-aware image processing with the bilateral grid [J]. ACM Transactions on Graphics, 2007, 26(3): 103-111

[11] 芮义斌,李鹏,孙锦涛,等. 一种交互式图像去雾方法[J]. 计算机应用, 2006, 26(11): 2733-2735

[12] 李冠章,罗武胜,李沛. 可避免彩色失真的图像对比度增强[J]. 计算机仿真, 2008, 25(10): 228-231