

灰度拉伸 Retinex 在大动态范围烟雾图像增强中的应用

陈志斌, 张 超, 宋 岩, 刘先红

(石家庄军械技术研究所, 河北 石家庄 050000)

摘 要: 为解决 Retinex 算法不能有效增强大动态范围烟雾干扰图像的问题, 分析了影响其增强效果的原因并提出了一种自适应灰度拉伸 Retinex 算法。该算法建立了烟雾区域灰度估计数学模型, 通过计算图像的局部动态范围和信息熵, 自适应地估计烟雾干扰区域的灰度范围并进行灰度拉伸, 采用不同尺度的 Retinex 对各区域进行处理, 得到最终的增强图像。实验表明, 该算法能够在全局动态范围较大时增加图像的信息熵, 对低对比度烟雾干扰区域有明显的增强效果。

关键词: 烟雾图像增强; Retinex; 信息熵; 灰度拉伸

中图分类号: O439 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2014)09-3146-05

Application of Retinex with grayscale stretching in large dynamic range smoke image enhancement

Chen Zhibin, Zhang Chao, Song Yan, Liu Xianhong

(Ordnance Institute of Technology, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: To solve the problem that traditional Retinex cannot work well in large dynamic range smoke image enhancement, the reasons was analyzed and a new Retinex algorithm was proposed with self-adaptive grayscale stretching. A mathematical model was built to estimate the gray level range of smoke area by calculating local dynamic range and information entropy. By stretching the gray level range calculated and processing the image with Retinex of different scales, the enhanced image was got. Experiment shows that the method can increase the information entropy of large dynamic range image and enhance the contrast of smoke area.

Key words: smoke image enhancement; Retinex; information entropy; grayscale stretching

收稿日期: 2014-01-10; 修订日期: 2014-02-08

基金项目: 总装创新人才团队基金(xxxx20090515)

作者简介: 陈志斌(1965-), 男, 研究员, 主要从事光电检测等方面的研究。Email: shangxinboy@163.com

0 引言

雾天条件或其他烟雾干扰情况下,景物的对比度发生退化,导致许多信息被覆盖或模糊,可视化程度降低^[1]。而且由于烟雾的散射效应随距离增加成指数增长^[2],烟雾干扰图像往往呈现出近景动态范围大而远景动态范围小的特点。局部直方图均衡化因能适应图像中不同深度信息的变化而成为该领域的重要研究方向,这类研究主要集中于减少局部直方图的重叠程度,以减少其计算量。参考文献[3]提出了一种部分重叠直方图均衡化方法(POSHE),能够突出雾天图像不同深度的细节信息,达到良好的去雾效果。Retinex 理论通过去除光照影响恢复图像本质信息,但对于包含不同深度信息的图像增强效果不够理想。储昭辉^[4]等提出在 Retinex 基础上,利用小波域图像亮度与噪声双估计模型进行增强,取得较好的效果;张新龙等^[5]针对雾天图像退化程度与景深的非线性关系,提出一种自适应 Retinex 算法,并与 CLAHE 算法相结合,实现雾天图像的清晰化。文中分析了影响 Retinex 增强效果的原因并提出了一种自适应灰度拉伸 Retinex 算法。在 Retinex 算法基础上,自适应地估计低对比度烟雾干扰区域的灰度范围并进行灰度拉伸,并采用不同的尺度估计照度图像,得到最终的增强图像。

1 Retinex 算法及不足分析

1.1 Retinex 算法基本思想

Retinex 详细阐明了人类视觉系统是如何达到颜色恒常的。颜色恒常^[6]指的是外界环境变化时对客观物体颜色知觉保持不变的心理倾向。Retinex 理论认为物体的颜色取决于物体表面对光线的反射特性,将一幅图像看成是照度图像和反射图像的乘积,如公式(1)所示:

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

式中: S 为原始图像; R 为反射图像; L 为照度图像。反射图像 R 决定了一幅图像的本质属性,照度图像 L 决定图像所能达到的动态范围。

Jobson 证明了高斯函数(如公式(2)所示)可以从已知图像 S 中很好地估计出亮度图像。

$$G(x,y)=k\times\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{c^2}\right) \quad (2)$$

式中: k 为归一化因子; c 为高斯函数的尺度参数(尺度较小时,图像的细节部分能较好地体现出来,但会出现一定程度的颜色失真,尺度较大时则相反)。于是,公式(1)可表示为:

$$S(x,y)=[G(x,y)*S(x,y)\times R] \quad (3)$$

式中: $*$ 表示卷积。为简化计算,等式两边同时取对数,得到:

$$R(x,y)=\log S(x,y)-\log[G(x,y)*S(x,y)] \quad (4)$$

公式(4)即为经典的单尺度 Retinex 算法描述。

1.2 Retinex 在烟雾图像增强中的不足分析

大量应用证明,Retinex 算法对于存在逆光、低照度、低对比度等情况的图像具有很好的增强效果^[7-9]。但是对全局动态范围大而局部动态范围小的烟雾干扰图像,Retinex 增强效果不是很明显。分析其原因,主要有两点:(1) 由于图像全局动态范围较大,反射图像的动态范围相应也较大;而烟雾干扰区域动态范围小,相应在全局动态范围中所占比例有限,因而在线性拉伸过程中增强比例有限;(2) 反射分量表示的是图像自身的反射特性,对应于反射图像的对比度。对于非烟雾干扰图像,不论光照条件如何,反射分量对比度关系不变。而对于烟雾干扰图像,其像素值可用公式(5)表示:

$$R'(x,y)=R(x,y)\times\lambda+I(x,y) \quad (5)$$

式中: λ 为烟雾透过率; $I(x,y)$ 为烟雾反射强度。可见经过烟雾之后,场景中的对比度关系会改变。因此,将 Retinex 算法直接应用于烟雾干扰图像增强的效果并不好,需对低对比度区域进行进一步处理。

2 自适应灰度拉伸 Retinex 算法

文中针对 Retinex 在烟雾干扰图像增强中的不足及原因,提出了一种自适应灰度拉伸的 Retinex 算法,算法流程如图 1 所示。

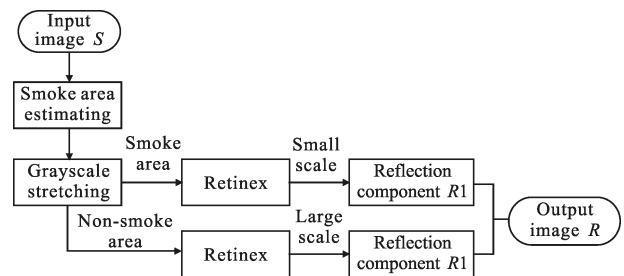


图 1 文中算法流程图

Fig.1 Algorithm flow chart

该算法首先适应地对图像中烟雾区域的灰度进行估计,并在一定范围内进行灰度拉伸,然后采用小尺度和大尺度分别估计烟幕区和非烟幕区的照度分量,这样既能很好地凸显烟幕区域的细节,又能最大程度地保证输出图像颜色不失真。最后,综合烟幕区域和非烟幕区域的反射分量作为最终的输出结果。

文中算法的一个关键问题就是自适应地估算出图像中烟雾干扰区域的灰度级范围,并对相应范围进行灰度拉伸。分析烟雾干扰区域的图像特征,发现其具有动态范围小且包含较多细节信息的特点。为此,文中提出采用局部的动态范围和熵两个指标来估计烟雾干扰位置,建立公式(6):

$$L(i, j) = C_{(i, j)}(\nabla I) * H(i, j) \quad (6)$$

式中: $C_{(i, j)}(\nabla I)$ 为扩散函数^[10]; $H(i, j)$ 为图像的局部信息熵。

扩散函数用于控制动态范围的大小,如公式(7)所示:

$$C_{(i, j)}(|\nabla I|) = \exp\left[-\left(\frac{|\nabla I|}{K}\right)^2\right] \quad (7)$$

式中: $|\nabla I|$ 表示图像在某点 $I(i, j)$ 邻域内的动态范围; K 为扩散函数的门限参数。

图像的信息熵^[11] $H(i, j)$ 被认为是图像灰度空域分布状态不确定性的量度,反应了图像内像素变化的剧烈程度。对于一幅 $M \times N$ 像素大小的图像 f ,设 $f(i, j)$ 为图像中点 (i, j) 处的灰度值,图像的信息熵由公式(8)计算得到:

$$H_f = -\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P(i, j) \log_2 P(i, j) \quad (8)$$

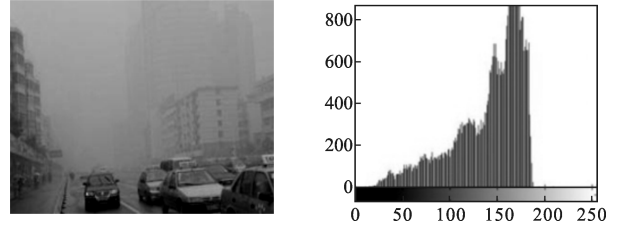
式中: $P(i, j) = \frac{f(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j)}$ 。

选取 L 中大于 λL_{\max} 的像素位置作为估计的烟雾位置,并计算这些像素点附近的均值 M 作为烟雾的估计灰度级。最后对 M 周围一定灰度级范围进行灰度拉伸。

3 实验结果

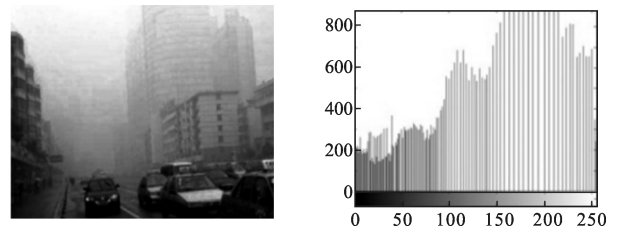
为说明该算法对于大动态烟雾干扰图像的增强效果,对1 km范围内的两幅雾天图像进行增强处理,并与直方图均衡化、Retinex算法的处理结果进行了对比。图像大小为 640×480 像素,程序运行环境

为vs2010, Retinex的尺度参数如下:烟雾区域的 σ_1 为4,非烟雾区域 σ_2 为200;烟雾灰度估计的窗口大小为 20×20 像素,动态范围门限 $K=15$, $\lambda=0.5 \sim 0.8$ 。实验结果如图2~图3所示。



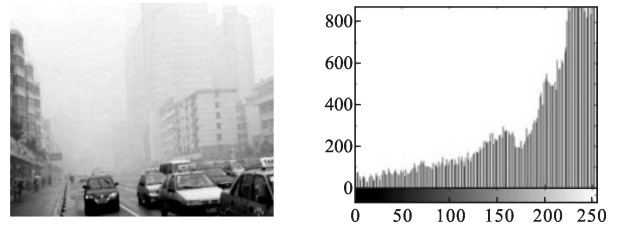
(a) 原图及其直方图

(a) Original image and histogram



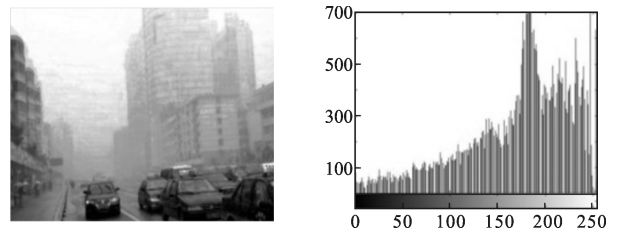
(b) 直方图均衡化及其直方图

(b) Histogram equalization and histogram



(c) Retinex 算法及其直方图

(c) Retinex and histogram



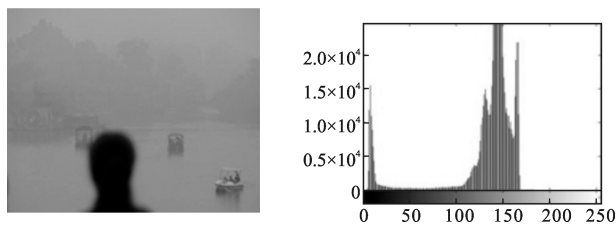
(d) 文中算法及其直方图

(d) Proposed method and histogram

图 2 不同算法对比

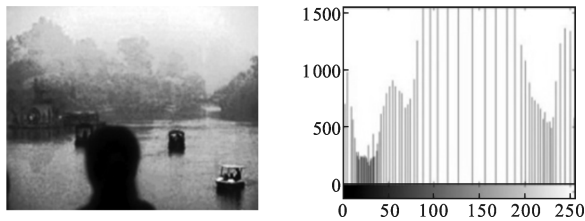
Fig.2 Contrast of different methods

从实验结果中可以直观地看出,直方图均衡化对图像灰度进行全局拉伸,整体灰度分布发生改变,图像整体对比度显著增强,但增强后的图像偏暗,导致图像中的一些细节信息丢失或减弱。Retinex算法增加了图像的动态范围,且增强后的图像整体灰度分布变化不大,对比度明显增强,但增强后的图像亮度较高,



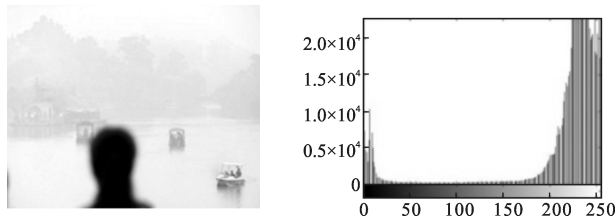
(a) 原图及其直方图

(a) Original image and histogram



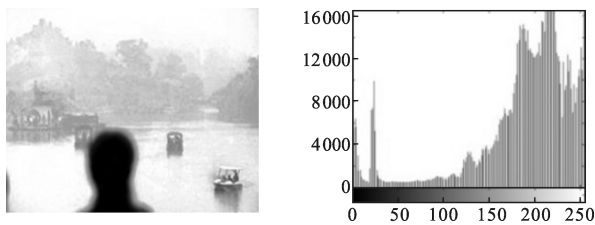
(b) 直方图均衡化及其直方图

(b) Histogram equalization and histogram



(c) Retinex 算法及其直方图

(c) Retinex and histogram



(d) 文中算法及其直方图

(d) Proposed method and histogram

图 3 不同算法对比

Fig.3 Contrast of different methods

烟雾干扰区域呈现出“泛白”的特征,对比度提升不明显。文中所提出的灰度拉伸 Retinex 算法不仅增加了图像的动态范围,而且针对烟雾区域对灰度分布进行了局部调整,采用不同的尺度既保证了颜色不失真,又能突出烟幕区域的细节部分。相比于前两种方法,文中算法既提高了图像的整体亮度和对比度,又避免了 Retinex 算法的“泛白”现象,增加了烟雾干扰区域的对比度,图像的信息量和可视化程度增加。

为了更客观地评价文中算法的性能,采用均值、标准差、信息熵、运行时间等 4 个方面的标准作为评价指标对实验结果进行客观分析。均值反映了图像

的明暗程度;标准差反映了图像的对比度;信息熵反映了图像的信息量。具体结果如表 1、表 2 所示。直方图均衡化的结果标准差最大,表明图像的对比度得到显著提升,均值和信息熵减小,表明增强后的图像整体亮度偏暗,以致图像中部分细节信息丢失或减弱,信息量减少。Retinex 算法 3 个方面的指标都得到较大提升,且图像的亮度提升最大,对比度增加效果不如直方图均衡化,但图像的可视信息量增加。文中算法处理结果的信息熵最大,表明文中算法能够显著增加图像中烟雾干扰区域的可视信息量;均值介于前两种方法之间,但标准差增加量比前两种方法偏小,表明该算法对图像的整体对比度提升效果稍弱于前两种方法,这是由于直方图局部拉伸导致其他灰度范围被压缩造成的。运行时间上,直方图均衡化消耗时间最短,实时性最好;文中算法消耗时间最长,但经优化后基本可以达到实时性要求。综合以上实验数据可知,文中算法对大动态范围烟雾干扰区域有较好的增强效果。

表 1 客观评价结果

Tab.1 Results of objective assessment

	Average	Standard deviation	Entropy /bit	Run time /ms
Original image	140.81	36.65	6.83	-
Histogram equalization	127.56	73.92	6.68	23.855 4
Retinex	189.10	62.31	7.39	54.323 4
Proposed method	172.32	60.41	7.61	75.531 2

表 2 客观评价结果

Tab.2 Results of objective assessment

	Average	Standard deviation	Entropy /bit	Run time /ms
Original image	132.67	38.61	5.82	-
Histogram equalization	127.52	73.90	5.66	21.673 4
Retinex	212.11	63.54	6.21	52.083 2
Proposed method	180.72	62.25	7.33	71.895 3

4 结 论

文中分析了影响 Retinex 对大动态范围烟雾图

像增强效果的原因,提出了一种灰度拉伸的 Retinex 算法。该算法在通过计算图像的局部动态范围和熵,自适应地估计低对比度烟雾干扰区域的灰度范围并进行灰度拉伸,采用不同的尺度分别估计烟雾区和非烟雾区的照度图像,并综合反射图像到最终的增强结果。从主观视觉效果和客观评价两个方面对文中算法和不同增强技术进行对比,实验结果表明该算法能够在全局动态范围较大时,对低对比度烟雾干扰区域进行增强,经优化的算法可以达到实时性的要求。

参考文献:

- [1] Hu Weiwei, Wang Guirong, Fang Shuai, et al. Retinex algorithm for image enhancement based on bilateral filtering [J]. *Journal of engineering graphics*, 2010, 2: 104–109. (in Chinese)
胡韦韦, 汪荣贵, 方帅. 基于双边滤波的 Retinex 图像增强算法[J]. 工程图学报, 2010, 2: 104–109.
- [2] Yang Chen. Research on Fog-degraded image enhancement [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2007. (in Chinese)
杨辰. 雾天图像增强算法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- [3] Ai Mingjing, Dai Longzhong, Cao Qinghua. A self-adaptation image enhancement method for fog elimination in foggy environment [J]. *Computer Simulation*, 2009, 26(7): 244–247. (in Chinese)
艾明晶, 戴隆忠, 曹庆华. 雾天环境下自适应图像增强去雾方法研究[J]. 计算机仿真, 2009, 26(7):244–247.
- [4] Chu Zhaohui, Wang Ronggui, Fang Shuai. Enhancement algorithm of misty image based on Retinex theory in wavelet domain [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2011, 47(15): 175–179. (in Chinese)
储昭辉, 汪荣贵, 方帅. 基于 Retinex 理论的小波域雾天图像增强方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(15): 175–179.
- [5] Zhang Xinlong, Wang Ronggui, Zhang Xuan, et al. Calculation modle and algorithm in foggy image enhancement [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2011, 16(8): 1359–1368. (in Chinese)
张新龙, 汪荣贵, 张璇, 等. 雾天图像增强计算模型及算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(8): 1359–1368.
- [6] Fu Guowen. Research and Realization of image enhancement based on retinex algorithm [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2011. (in Chinese)
付国文. 基于 Retinex 的图像增强算法研究及实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- [7] Zhang Shangwei, Zeng Ping, Luo Xuemei, et al. Multi-scale Retinex with detail compensation and color restoration [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2012, 46(4): 32–37. (in Chinese)
张尚伟, 曾平, 罗雪梅, 等. 具有细节补偿和色彩恢复的多尺度 Retinex 色调映射算法 [J]. 西安交通大学学报, 2012, 46(4): 32–37.
- [8] Zhu Shuangzhi, Wen Jianguo, Yang Dong, et al. New enhancement algorithm for remote sensing image based on Retinex theory [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2012, 27(4): 549–554. (in Chinese)
朱双志, 文建国, 杨冬. 基于 Retinex 理论的新型遥感图像增强算法[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(4): 549–554.
- [9] Wang Linlin, Yu Mei, An Chao. Color image enhancement based on fuzzy multi-scale Retinex [J]. *Computer Engineering and Application*, 2012, 48(7): 174–176. (in Chinese)
汪林林, 余梅, 安超. 模糊多尺度 Retinex 彩色图像增强 [J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(7): 174–176.
- [10] Wang Dabao. Research on infrared small target detection and tracking under complex background [D]. Xi'an: Xidian University, 2010. (in Chinese)
汪大宝. 复杂背景下的红外弱小目标检测与跟踪技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
- [11] Wang Xin. Research on infrared target detection and tracking under complex background [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2010. (in Chinese)
王鑫. 复杂背景下红外目标检测与跟踪算法研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2010.