

基于模糊对比度的雾天图像清晰化算法

何文章, 刘惠燕, 赵瑞敏

天津职业技术师范大学理学院, 天津 300222

摘要 针对雾天模糊图像对比度低的特点和数学形态学增强后的远景效果不佳的缺点, 提出了基于模糊对比度和数学形态学相结合的雾天图像清晰化算法。该算法采用数学形态学中的高低帽变换对模糊图像进行预增强处理, 将处理后的图像从空域映射到模糊特征平面, 然后利用新定义的模糊域隶属度函数进行模糊对比度增强变换。实验结果表明, 采用本算法处理后远近景对比度明显提高, 视觉效果也明显改善, 图像变得更加清晰。

关键词 模糊对比度; 数学形态学; 图像清晰化; 雾天图像

中图分类号 TP391.41

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.01.06

Fog Image Clearness Algorithm Based on the Fuzzy Contrast

HE Wenzhang, LIU Huiyan, ZHAO Ruimin

School of Science, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China

Abstract There are some shortcomings for the fog fuzzy image, such as the low contrast, blurred, and poor effects after the mathematical morphological enhancement. A new image clearness algorithm based on the fuzzy contrast and mathematical morphology is described. Using the previous fuzzy contrast enhancement algorithm, a new fuzzy membership function is defined, the image is changed from spatial domain into fuzzy field directly through it; therefore a fuzzy feature plane is obtained. In the fuzzy feature plane, the image could be enhanced. Lately, the image is taken back to its spatial domain. Then it is combined with the top-hat transform and bottom-hat transform of mathematical morphology pre-treatment. Finally, the enhanced image is obtained. An experiment for the fog image is presented. The results show that the algorithm has higher contrast and better visual effects. It is quite obvious that the algorithm is able to raise the contrast at the border and background and improve visual effects. In the other hand, this algorithm is good at making fuzzy image details become clearer, the noise is also suppressed, and there is no over enhancement, particularly in the sky area. Therefore, the proposed algorithm is an effective algorithm to clear fog image.

Keywords fuzzy contrast; mathematical morphology; image clearness; fog image

0 引言

近年来,许多学者将图像的对比度增强方法与模糊数学理论相结合,给出了一些基于模糊对比度的雾天图像清晰化算法。其中,Kam等^[1]提出了一种模糊对比度增强的算法,通过试错的方法控制增强参数,但容易引起局部地区增强程度不同和过增强现象。H. D. Cheng等^[2]根据图像的直方图信息和局部邻域灰度信息,提出一种基于模糊逻辑的图像对比度直接增强算法,有效地提高了雾天图像的对比度并抑制了过增强现象。A. P. Dhanwan等^[3]根据图像像素及其邻近像素的相对亮度差给出了局部对比度的定义,该方法可能在大邻域

内丢失图像细节。

本文在数学形态学高低帽预增强的基础上,在模糊对比度增强算法中定义了一种新的模糊域隶属度函数,改进了以往的模糊对比度增强算法,构造出一种基于模糊对比度的雾天图像清晰化算法,使雾天模糊图像的对比度有效提高。

1 基于模糊对比度的雾天图像清晰化算法

1.1 预增强处理

由于图像在拍摄中会受到干扰产生噪音,须在增强处理前先进行预处理。采用数学形态学中的高低帽变换对原图像

收稿日期: 2010-06-15;修回日期: 2010-11-28

基金项目: 天津市应用基础与前沿技术研究计划项目(08JCYBJC12100);天津职业技术师范大学博士科研启动项目(KYQ08013)

作者简介: 何文章(中国科协所属全国学会个人会员登记号:S329000105M),教授,研究方向为图像的清晰化技术,电子信箱: hewenzhang@sina.com

中较亮的像素点增强并且对较暗的像素点进行减弱,使图像的清晰度增强,计算公式为^[4]

$$F(x, y) = f(x, y) + THT(f) - BHT(f) \quad (1)$$

式中, x, y 为图像像素点坐标; $F(x, y)$ 为处理后的图像; $f(x, y)$ 为原图像; $THT(f)$ 为对原图作高帽变换后的图像; $BHT(f)$ 为对原图作低帽变换后的图像。

1.2 增强处理

在模糊对比度增强算法中,定义一种新的模糊域隶属度函数并改变其正常逆变换过程,具体算法如下。

(1) 定义一种新的模糊域隶属度函数:

$$\mu_{ij} = \left| \tan \left(\frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) - \alpha \right| \quad (2)$$

式中, x_{\max}, x_{\min} 分别为图像的最大、最小灰度值; α 为调整参数系数,一般取 $[0, 0.5]$ 。

选取合适的隶属度函数,将图像由空域映射到模糊域。在 $[0, 1]$ 取值区间内,隶属度值越大,表示元素隶属于模糊集的程度越大。本文采用 \tan 函数,在原本线性隶属度的基础上更深一层地提高了模糊集的隶属度,但是由于 \tan 函数将原本属于 $[0, 1]$ 取值范围内的隶属度值扩大了,所以需要参数 α 的调节。经过两次隶属度拉伸,隶属度值在 $[0, 1]$ 区间内更集中,线性度也比较好,并且处理后的图像能够保持低灰度值边缘信息,即在处理过程中克服了原图低灰度值被硬性规定为 0 的缺陷。

(2) 模糊特征平面上计算图像的模糊对比度函数 C , 并利用模糊对比度变换函数 F_c 对 C 进行增强。

$$C = \left| \frac{\mu_{ij} - \bar{\mu}_{ij}}{\mu_{ij} + \bar{\mu}_{ij}} \right| \quad (3)$$

式中 $\bar{\mu}_{ij}$ 为点 (i, j) 为中心的局部灰度均值。雾天模糊图像的一个重要特征就是对比度随景深的增加呈指数性下降,所以定义对比度变换函数 F_c 时需要考虑景深。引用文献[5]中的对比度变换函数如下:

$$F_c = \psi(C) = C_{u(x_j)} \cdot e^{t\beta d} \quad (4)$$

式中, $C_{u(x_j)}$ 为点 (i, j) 在模糊域中局部对比度, F_c 为增强后对比度; β 为反映雾况强弱的大气散射系数值,其值可据图像降质情况由文献[6]搜集到的多种大气散射系数值近似确定; v 为待定的指数系数;深度值 d 通过交互式的景深估计算法^[7]获得并归一化到 $[0, 1]$ 中,各点深度可以通过下式插值得:

$$d = d_{\min} + \gamma(d_{\max} - d_{\min}) \quad (5)$$

式中, γ 为比例系数,且 $\gamma \in (0, 1)$; 当 $d = d_{\min}$ 时, $\gamma = 1$; $d = d_{\max}$ 时, $\gamma = 0$ 。

(3) 通过 F_c 计算调整后的像素灰度隶属度 μ'_{ij} 和灰度值 x'_{ij} 为

$$\mu'_{ij} = \begin{cases} \frac{\bar{\mu}_{ij}(1-F_c)}{1+F_c} & \mu_{ij} \leq \bar{\mu}_{ij} \\ 1 - \frac{(1-\bar{\mu}_{ij})(1-F_c)}{1+F_c} & \mu_{ij} > \bar{\mu}_{ij} \end{cases} \quad (6)$$

图像从模糊域变回空域是空域到模糊域的反变换运算,本文采用下式:

$$x'_{ij} = \arctan \mu'_{ij} \cdot (x_{\max} - x_{\min}) + x_{\min} \quad (7)$$

1.3 模糊图像增强算法

图像模糊增强是将模糊数学理论与图像增强有效结合的图像增强方法,基本思想是通过隶属度函数实现图像从空域映射到模糊域,得到模糊特征平面,此时在模糊特征平面上,通过对凸函数的加强放大像素邻域的各像素之间的差异进行图像增强操作,再将其变回到空域,得到增强图像^[8]。

基于以上分析,给出一种将模糊对比度与数学形态学预增强相结合的雾天图像清晰化算法。具体算法描述如下:

- ① 利用式(1)对原始模糊图像进行数学形态学高低帽变换的预增强处理;
- ② 利用式(2)将步骤①处理后的图像从空域映射到模糊域,得到模糊特征平面;
- ③ 在模糊特征平面上,利用式(3)、(4)进行模糊对比度增强变换;
- ④ 利用式(6)、(7)计算步骤③增强后图像的像素隶属度及其灰度值,将图像从模糊域变回空域,完成增强处理;
- ⑤ 输出增强后的图像。

2 试验结果与分析

为检验本文增强算法处理实际图像的效果,在 Matlab 平台上对 256 灰度级的灰度雾天模糊图像进行了增强处理实验,实验中恰当选择参数值,并对增强算法处理效果进行了前后对比。

图 1 是仅用模糊对比度算法的处理效果比较图。试验过程中参数 v, β 分别取值 4, 0.7。图 1(a) 是原图像,整幅图像对比度很低,远近景的对比度很差,边界模糊不清;图 1(b) 是模糊对比度增强中采用线性隶属度函数的处理效果,图像中的近景区域比原图像清晰得多,轮廓也变得清晰了,尤其是远处高楼处的轮廓隐约显现,对比度有了很大提高;图 1(c) 是本文改进的模糊对比度增强算法的处理效果,即采用提出的 \tan 隶属度函数和正常 \arctan 逆变换的处理效果,可见视觉效果优于线性处理方法,首先近景处楼房边缘都比前张图像清晰,另外远处高楼的轮廓分界线比较明显,并且远处高山的边界也出现了,边界也保持得很好,不足之处是天空区域没有更好地处理。

图 2 是本文算法前后比较图。图 2(a) 是原图像,整体对比度比较暗,景物对比度较差,边界模糊不清;图 2(b) 是预增强后的图像,图中近处景物清晰度有所提高,近景的楼房边缘轮廓也已清晰,远景处的高楼也显现轮廓,但是远景处的高山依然模糊无边界;图 2(c) 是本文算法的处理效果,图中近处、远处高楼和高山轮廓的清晰度都有了很大程度的提高,近景效果清晰,大楼内部细致许多,图像整体视觉效果明显改善。

3 结论

本文在模糊对比度图像清晰化算法的基础上,与数学形

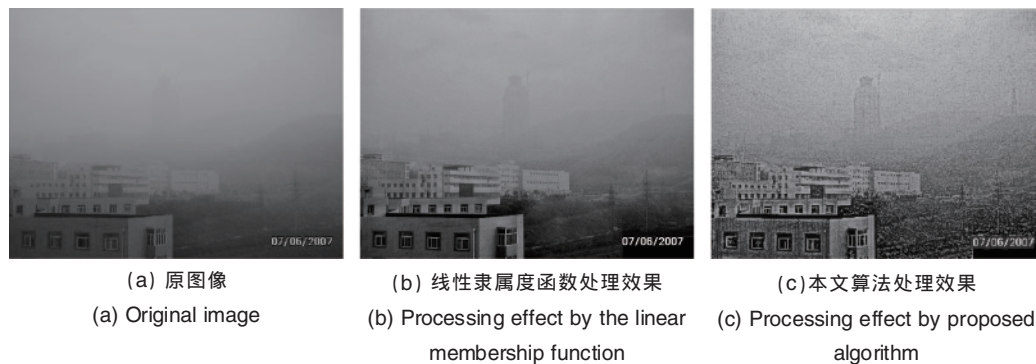


图 1 模糊对比度算法效果比较图

Fig. 1 Algorithm comparison of fuzzy contrast



图 2 本文算法处理效果比较图

Fig. 2 Processing effect by proposed algorithm

态学预增强相结合,构造了一种基于模糊理论的雾天图像增强改进算法。试验结果表明,与以往对比度增强算法^[1-3,5,8-10]相比,本算法在提高图像对比度上效果较好,模糊细节变得更为清晰,噪声也抑制的较好,并没有出现过增强现象,尤其体现在天空区域。本算法在边界保持和背景处理方面的对比度增强效果明显,视觉效果明显改善。因而本算法是一种有效的雾天图像清晰化算法。

参考文献 (References)

[1] Kam Y, Hanmandlu M. An improved fuzzy image enhancement by adaptive parameter selection [J]. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2003, 2(5-8): 2001-2006.

[2] Cheng H, Xu H. A novel fuzzy logic approach to contrast enhancement[J]. *Pattern Recognition*, 2000, 33(5): 809-819.

[3] Dhawan A P, Buelloni G, Gordon R. Enhancement of mammographic features by optimal adaptive neighborhood image processing [J]. *IEEE Transaction on Medical Imaging*, 1986, 5(1): 8-15.

[4] 刘惠燕, 何文章, 马云飞. 基于数学形态学的雾天图像增强算法[J]. *天津工程师范学院学报*, 2009, 19(3): 34-35.
Liu Huiyan, He Wenzhang, Ma Yunfei. *Journal of Tianjin University of Technology and Education*, 2009, 19(3): 34-35.

[5] 翟艺书. 雾天降质图像的清晰化技术研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2008.
Zhai Yishu. Research of fog-degraded image clearness techniques [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2008.

[6] McCartney E J. Optics of the atmosphere:scattering by molecules and

particles[M]. New York: John Wiley & Sons, 1976.

[7] Narasimhan S G, Nayar S K. Interactive (De) weathering of an image using physical models[EB/OL]. 2003, http://lear.inrialpes.fr/people/triggs/events/iccv03/cdrom/cpmev03/31_narasimhan.pdf.

[8] 李刚, 桂预风, 肖新平. 一种改进的基于模糊对比度的图像增强方法 [J]. *湖北工业大学学报*, 2008, 23(1): 76-78.
Li Gang, Gui Yufeng, Xiao Xinping. *Journal of Hubei University of Technology*, 2008, 23(1): 76-78.

[9] 马志峰, 杨水超, 赵保军, 等. 改进的快速图像模糊边缘检测算法[J]. *激光与红外*, 2005, 35(4): 300-302.
Ma Zhifeng, Yang Shuichao, Zhao Baojun, et al. *Laser & Infrared*, 2005, 35(4): 300-302.

[10] 姜庆伟. 基于模糊理论的图像增强技术研究及实现[D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
Jiang Qingwei. Theory based on fuzzy image enhancement technology research and implementation [D]. Shanghai: East China Normal University, 2009.

(责任编辑 朱宇)

《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿:www.kjdb.org。