

基于模糊理论和 CLAHE 的雾天图像自适应清晰化算法

王 红, 何小海, 杨晓敏
(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘 要: 为了解决雾天图像低对比度的问题, 提出了一种基于模糊理论和 CLAHE 的雾天图像的自适应清晰化算法. 此算法结合图像的均值和标准差, 将雾天图像从空域转换到模糊域, 采用模糊增强算法实现全局雾天图像的自适应对比度增强后再采用有约束的局部直方图算法对雾天图像的亮度分量进行处理, 在空域内进一步实现雾天图像的对比度增强. 实验结果表明, 该算法将模糊域和空间域的方法相结合, 可以提高雾天图像的亮度和对比度, 使雾天图像的视觉效果得到一定改善.

关键词: 雾天图像; 模糊理论; CLAHE; 对比度增强

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)01-0032-03

An Adaptive Foggy Image Enhancement Algorithm Based on Fuzzy Theory and CLAHE

WANG Hong, HE Xiao-hai, YANG Xiao-min

(College of Electronics and Information, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: In order to enhance the contrast of foggy images, a new self-adaptive algorithm for foggy image based on the fuzzy theory and CLAHE was proposed. The algorithm first improve the contrast of foggy images adaptively in the fuzzy region by use of the mean and standard deviation, and then improve the luminance and contrast by use of contrast-limited adaptive histogram equalization on the value of images. Experimental results demonstrate that the proposed algorithm can effectively improve the visual effect of foggy images by combining the methods of fuzzy region and spatial domain.

Key words: foggy image; fuzzy theory; CLAHE; contrast enhancement

1 引言

雾天天气下, 图像对比度低, 图像边缘模糊. 如何从降质图像中去除天气影响, 恢复雾天图像的对比度从而使图像更加清晰具有很重要的意义.

对雾天图像的清晰化处理一般有两两大类方法: 一类是从硬件角度出发, 利用多传感器融合实现信息互补; 另一类是从图像处理算法的角度来改善图像质量: (1) 基于物理模型的方法, 建立图像退化模型, 利用先验知识实现图像复原^[1]; (2) 基于图像增强的方法, 采用增加图像对比度的方法, 达到清晰化图像的目的. 目前关于雾天图像的增强算法主要是

直方图均衡相关算法.

不同于常见的全局直方图均衡化和局部直方图均衡化, CLAHE^[2] 是对这两种直方图均衡化的一种改进. 它在局部直方图均衡时同时考虑到方块周围区域的影响, 处理后的图像不仅具有局部直方图均衡化后调整不同区域灰度分布差异的优点, 还具有全局直方图均衡化后分布比较均匀的效果.

基于模糊理论的图像增强恰好符合雾天图像的模糊性, 可以在一定程度上消除雾天的模糊性, 拉伸图像的对比度, 提高图像的质量.

本文结合雾天图像的模糊特性, 从图像增强的角度提出了一种基于模糊理论和 CLAHE 的雾天

图像自适应清晰化算法,将模糊域和空间域方法相结合,更好地增强图像对比度。

2 方法

2.1 直方图均衡化

直方图均衡化是把待增强图像的直方图分布转换成均匀的直方图分布,以此来实现图像的对比度增强。令变量 r 代表待增强图像的灰度级,假设一幅图像被归一化到区间 $[0,1]$,定义变换函数

$$s = T(r), 0 \leq r \leq 1 \quad (1)$$

使其满足条件:

① $T(r)$ 在区间 $0 \leq r \leq 1$ 中为单值且单调递增

② 当 $0 \leq r \leq 1$ 时, $0 \leq T(r) \leq 1$

构造变换函数为

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} \quad (2)$$

$0 \leq r_k \leq 1, k = 0, 1, \dots, L-1$

其中, n_j 代表灰度级 r_j 的像素个数, n 代表输入图像像素点的总个数, $p_r(r_j)$ 代表输入图像中灰度级为 r_j 的概率密度函数。

式(2)表示输入图像灰度级累积分布函数。通过函数变换,信息量大、像素灰度值集中的区域被拉伸,而信息量小、像素灰度值稀疏的区域被压缩,从而使图像对比度增强^[3]。但是该算法是针对全局图像,难以反映局部的细节。

2.2 PAL 模糊增强

按照模糊集^[4]的概念,一大大小为 $M \times N$,灰度级为 L 的图像 X ,可表示成一大大小为 $M \times N$ 的模糊矩阵

$$x = \bigcup_{i=1}^M \bigcup_{j=1}^N (\mu_{ij}/x_{ij}) \quad (3)$$

矩阵中的元素 μ_{ij}/x_{ij} 表示图像中像素 (i,j) 的灰度 x_{ij} 相比某个特定的灰度级 x 的隶属度。在经典的模糊增强算法^[5]中,Pal 和 King 取用隶属函数:

$$\mu_{ij} = T(x_{ij}) = [1 + ((L-1) - x_{ij})/F_d]^{-F_e} \quad (4)$$

其中,参数 F_d , F_e 和 μ_{ij} 的形状有关,可由渡越点确定^[6],一般取 $F_e = 2$ 。

设 $x_{ij} = X_c$ 时, $T(X_c) = 0.5$,此时称 X_c 为渡越点。则

$$T(X_c) = [1 + ((L-1) - X_c)/F_d]^{-F_e} = 0.5 \quad (5)$$

$$F_d = [(L-1) - X_c]/(2^{1/F_e} - 1) \quad (6)$$

其中,参数 F_d 由 X_c 和 F_e 所决定。

得到 μ_{ij} 后,对图像进行模糊增强处理,采用如下变换:

下变换:

$$\mu'_{ij} = I_r(\mu_{ij}) = I_1(I_{r-1}(\mu_{ij})) \quad (7)$$

$$r = 1, 2, \dots$$

$$I_1(\mu_{ij}) = \begin{cases} 2(\mu_{ij})^2, & 0 \leq \mu_{ij} \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu_{ij})^2, & 0.5 < \mu_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (8)$$

式(8)的操作是为了增大(当 $\mu_{ij} > 0.5$)或减小(当 $\mu_{ij} \leq 0.5$) μ_{ij} 的值。

对 μ'_{ij} 作逆变换,得到模糊增强处理后的图像 X' , X' 中的像素 (i,j) 的灰度值 x'_{ij} 为^[6]

$$x'_{ij} = T^{-1}(\mu'_{ij}) \quad (9)$$

其中, $T^{-1}(\cdot)$ 为式(4)中 $T(\cdot)$ 的逆运算。

2.3 分块 PAL 算法

为了克服全局直方图均衡化无法克服雾天图像因景深不同造成的局部降质,采取局部分块做 PAL 算法来进行图像的增强。其基本思想是将图像的亮度分量取出,将雾天图像划分成不同的子块,将 PAL 算法应用到亮度图像的局部区域,定义一个 8×8 的移动小块,再对以每个像素点为中心的子块进行 PAL 模糊运算。但是该算法存在局部的块状效应。

2.4 本文算法

2.4.1 全局模糊逻辑增强

在雾天图像的 RGB 颜色空间中分别对 R、G、B 三个分量做 PAL 模糊增强,为了实现雾天图像的自适应增强,本文采用 X_c 作为渡越点。

$$X_c = k_1 * \text{mean2}(img) + k_2 * \text{std2}(img) \quad (10)$$

其中, img 分别代表三个分量的像素值, $\text{mean2}(img)$ 表示该分量图像的均值, $\text{std2}(img)$ 表示该分量图像的标准差^[7],可以根据不同图像的特征来调整 k_1 和 k_2 的值。本文算法中,经多次实验, k_1 取 0.8, k_2 取 -1.2 时效果最好。

2.4.2 有约束的局部直方图均衡化

除了在模糊域内实现图像的全局对比度增强外,本文还采用了空间域的局部对比度增强算法来克服全局对比度增强无法强调局部信息的缺点。依据人的视觉特性,视觉系统不仅随着相关区域的改变而改变,还受到相关区域周边环境的影响。R. Cromartie 等提出了一种有约束的局部直方图均衡方法^[2],这种有约束的局部直方图均衡不仅考虑窗口内还要考虑窗口外的直方图,即由矩形窗内的直方图和矩形窗外的直方图两部

$$h_L(r) = \alpha h_W(r) + (1 - \alpha) h_B(r) \quad (11)$$

其中, $h_W(r)$ 为窗内的归一化直方图, $h_B(r)$ 为窗外

的归一化直方图,并且有 $0 \leq \alpha \leq 1$. 设 A_W 和 A_B 代表区域 W 和区域 B 的面积. 假如 $\alpha = A_W / (A_W + A_B)$, 那么 $h_L(r) = h(r)$, 这意味着局部直方图等于全局直方图; 假如 $\alpha > A_W / (A_W + A_B)$, 那么局部直方图更强调局部信息. 因此可通过 α 调节局部直方图的方法来模拟周围环境对相关区域的影响.

将雾天图像从 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间, 取其中的 V 分量, 采用 CLAHE 对 V 分量进行处理, 算法步骤如下:

(1) 对 V 分量中任一点, 采用 3×3 窗口大小确定相关区域;

(2) 按照式(11)计算矩形窗口的大小, 其中 α 取 0.05;

(3) 对矩形窗口内的直方图作均衡, 处理窗口中心像素;

(4) 矩形窗口移动至下一个相邻像素, 从(1)开始重复上述过程, 直至处理完整幅图像.

这种方法兼顾了全局直方图均衡化和局部直方图均衡化的优点, 可以避免分块 PAL 引起的块状效应, 并较好地增强图像的亮度和对比度.

3 实验及讨论

为了验证本文的算法, 对大量雾天图像进行了增强处理, 并和已知的雾天图像增强方法, 即直方图均衡化、分块 PAL 算法做了比较.

本文选取 TenenGrad 函数、Brenner 函数、平方梯度函数、加窗梯度函数来作为评价标准^[8]. 对这些函数, 输出值越大图像越清晰, 比较结果如表 1~2 所示. 可以看出, 多数情况下本文算法的效果比直方图均衡化和分块 PAL 算法效果更好.

表 1 各种方法的比较(一)

评价标准	TenenGrad 函数	Brenner 函数	平方梯度函数	加窗梯度函数
原图	27	25	21	18
直方图均衡化	56	68	48	53
分块 PAL 算法	60	68	48	53
本文算法	81	92	84	95

表 2 各种方法的比较(二)

评价标准	TenenGrad 函数	Brenner 函数	平方梯度函数	加窗梯度函数
原图	19	15	23	20
直方图均衡化	28	34	24	28
分块 PAL 算法	69	59	75	66
本文算法	81	89	75	70

4 结束语

文中提出了一种新的基于模糊理论和 CLAHE 的雾天图像自适应清晰化算法, 对雾天图像的 R、G、B 三个分量图像做模糊增强后再对雾天图像的 V 分量做有约束的局部直方图均衡化, 在模糊增强中采用均值和标准差的线性组合作为渡越点, 实现了图像的自适应增强, 并引入 TenenGrad 函数、Brenner 函数、平方梯度函数、加窗梯度函数作为评价标准, 有效地判定了图像的清晰度. 实验证明, 该算法比常用的直方图均衡化和分块 PAL 模糊算法效果要好, 但是有关雾天图像远景部分的处理、自适应调节中的参数 k_1 、 k_2 的选取还需要进一步研究.

参考文献:

- [1] 瞿艺书. 基于模糊逻辑的雾天降质图像对比度增强算法 [J]. 计算机应用, 2008, 28(3): 662-664.
- [2] 王保平. 一种新的自适应图像模糊增强算法 [J]. 西安电子科技大学学报, 2005, 32(2): 307-313.
- [3] 詹翔. 一种基于局部方差的雾天图像增强方法 [J]. 计算机应用, 2007, 27(2): 510-512.
- [4] 瞿艺书. 雾天降质图像的清晰化技术研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2008.
- [5] 方帅. 单幅雾天图像复原 [J]. 电子学报, 2010, 38(10): 2279-2284.
- [6] 芮同林. 一种改进的图像均衡化算法的研究与应用 [J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(11): 58-59.
- [7] 郝宁波. 基于粗糙模糊集理论的医学体数据场模糊增强算法 [J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(3): 137-140.
- [8] Reza A. Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real-time image enhancement [J]. Journal of VLST Signal Processing, 2004, 38(1): 35-44.

作者简介:



王红女, (1987—), 硕士研究生. 研究方向为图像处理、网络通信.

何小海 男, (1964—), 教授, 博士生导师. 研究方向为图像处理、数字通信.

杨晓敏 女, (1980—), 讲师. 研究方向为图像处理、数字通信.