

基于暗原色先验的低照度图像增强

黄 勇, 孙兴波, 袁文林, 范云飞

(四川理工学院自动化与电子信息学院, 四川 自贡 643000)

摘 要:低照度图像亮度低、对比度低、细节信息缺失,对后续处理造成不便。针对这种情况,提出一种基于改进的暗原色先验低照度图像增强算法。采用输入图像暗通道的最大值估计大气光值,并用输入图像暗通道替代用大气光值来归一化输入图像,以其暗通道估计透射率,提高了算法效率。对输入图像取反,得到一副类似雾化的图像,用暗原色先验去雾,将结果再次取反,得到增强图像。暗原色先验会放大图像噪声,引入导向滤波实现保边去噪。实验结果表明,算法能有效增强低照度图像,提高图像亮度、对比度和突出图像细节信息。

关键词:图像增强;低照度图像;暗原色先验;去噪

中图分类号:TP391.41

文献标志码:A

引 言

在光线不足、雨、雾等环境条件下,照相机、摄像机等图像采集设备采集到的图像往往出现曝光不足、图像亮度低、对比度低、清晰度低、图像细节信息缺失等现象,严重情况下,图像模糊、难以辨认。这对后续图像分割、识别、理解等进一步分析造成严重影响,因此进行图像增强处理是必不可少的环节。对于低照度图像增强算法有很多,如伽马变换、全局或局部直方图均衡化、Retinex 增强等^[1]。随着硬件和软件技术的发展,对在雾天条件下被雾化的图像进行去雾处理已成为可能。雾天情况下,场景能见度低,图像对比度和细节信息被衰减,使得户外视频监控不能正常工作,因此需要消除雾气对视频图像的影响^[2]。图像去雾主要有两类:基于增强和基于物理模型的去雾。基于增强的去雾有直方图均衡化、曲波变换、大气调制传递函数法等;基于物理模型的去雾算法有暗原色先验法、利用辅助信息提取景深法、建立能量最优化模型法等^[3]。

针对低照度图像亮度低、对比度低、细节缺失,对后续处理造成不便,本文提出一种基于暗原色先验的图像增强算法。在透射率和大气光值的估计过程中,使用简化计算,提高算法效率。暗原色先验会放大图像噪声,因此引入具有保边去噪特性的导向滤波去噪,在去噪的同时也能保持图像边缘细节信息。

1 暗原色先验理论

He^[4]通过对户外大量清晰无雾的自然图像观察统计得到:除去天空等少数区域外,在局部区域内,RGB 三色通道至少有一个通道的像素值非常低,趋近于 0,这些像素称之为暗原色像素^[4,5]。对于清晰无雾图像 J ,暗原色先验规律用数学公式描述为:

$$J^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} (\min_{c \in \{R, G, B\}} J^c(y)) \rightarrow 0 \quad (1)$$

式中, $\Omega(x)$ 为以 x 为中心的块状局部区域, J^c 为 J 的 RGB 通道的某一通道,对于非天空清晰无雾图像 J , J^{dark} 的值非常低,趋近于 0,那么 J^{dark} 称为 J 的暗通道。

收稿日期:2015-03-03

基金项目:人工智能四川省重点实验室项目(2010RZ003,2010RY003,2011RYY02,2011RYY04,2012RYY05)

作者简介:黄 勇(1988-),男,四川资中人,硕士生,主要从事图像处理与模式识别方面的研究,(E-mail)674969398@qq.com

2 基于暗原色先验的低照度图像增强改进算法

2.1 暗原色先验低照度图像增强

对低照度图像 F 取反得到类似雾化的图像 I , 数学方程描述为:

$$I = 255 - F \quad (2)$$

其中, F 为低照度色彩图像, I 为 F 取反的图像。

大气散射模型认为, 户外景物图像的反色光线在反射进入图像采集设备前都会被空气中的介质(如灰尘、颗粒、水滴等)散射掉一部分, 造成反射光的衰减, 尤其在雾天天气条件下最为明显。雾图的形成采用大气散射模型描述:

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (3)$$

其中, $I(x)$ 为雾图, $J(x)$ 为 $I(x)$ 取反图, $t(x)$ 为透射率, 值在 0 至 1 之间, 表示为景物反射光线被空气衰减的程度, A 为全球大气光值。 $J(x)t(x)$ 描述为衰减部分, $A(1 - t(x))$ 描述为大气光的补偿部分。

对式(3)变形可得:

$$J(x) = \frac{I(x) - A(1 - t(x))}{t(x)} \quad (4)$$

式(4)即为去雾方程式, 去雾过程就是从 $I(x)$ 中恢复出 $J(x)$, 这里有两个未知参数 A 与 $t(x)$ 。

为获得透射率 $t(x)$, 假设全球大气光值 A 是已知的, 自然界中任何图像都会受到周围环境光的影响, 因此 A 不可能为 0, 再次假设在局部区域内透射率 $t(x)$ 恒定不变。用 A 对式(3)归一化, 并对三通道取最小值:

$$t(x) = 1 + t(x) \min_{c \in \{R, G, B\}} \frac{J^c(x)}{A^c} - \min_{c \in \{R, G, B\}} \frac{I^c(x)}{A^c} \quad (5)$$

对式(5)两边取最小值:

$$t(x) = 1 + t(x) \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{R, G, B\}} \frac{J^c(y)}{A^c} \right) - \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{R, G, B\}} \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \quad (6)$$

对户外无雾图像, 由暗原色先验可知

$$\min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{R, G, B\}} \frac{J^c(y)}{A^c} \right) \rightarrow 0 \quad (7)$$

带入式(6)得透射率:

$$t(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{R, G, B\}} \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \quad (8)$$

He^[4] 在全球大气光值估计时, 对暗通道像素亮度值从高到低排列, 取出前 0.1% 大的像素并标记其位置, 在这些位置中从输入图像 I 中取出亮度最大值作为 A 。

本文去雾图像是经低照度图像取反得来, 因此在估计 A 时用一种简单的方法, 用暗通道中像素亮度最大值

作为大气光值 A , 即:

$$A = \max(\max(I^{dark}(x))) \quad (9)$$

基于大气光对图像三通道影响相同, 本文对式(8)进行简化:

$$t(x) = 1 - \frac{I^{dark}(x)}{A^c} \quad (10)$$

因得到的 t 不够精细有块状, 去雾图像有光晕现象。本文使用导向滤波对 t 精细化处理。当 t 值很小, 小到趋近于 0 甚至为 0 时, $J(x)t(x)$ 也将变为 0, 因此对 t 设定一个下限, 本文取 $t_0 = 0.1$, 则最终增强图为:

$$p = 255 - \frac{I(x) - A(1 - t(x))}{\max(t(x), t_0)} \quad (11)$$

2.2 去噪

暗原色先验会放大图像噪声, 为了克服噪声降质图像, 需对图像去噪。常用的去噪方法有均值、高斯、中值、小波滤波等, 这些方法存在一个共同的特点: 去噪的同时会模糊图像边缘细节^[6]。双边滤波是一种很好的保边去噪的滤波器, 但处理速度较慢^[7-8]。导向滤波^[9]具有双边滤波同样的功能, 具有很好的保边去噪特性, 且在算法效率上优于双边滤波。本文采用导向滤波对增强图像去噪, 在噪声去除的同时边缘细节信息也得以保存。

导向滤波的关键假设是在局部区域内滤波输出与导向图成线性关系:

$$q_i = a_k g_i + b_k, \forall i \in w_k \quad (12)$$

其中, q 为滤波输出, g 为导向图, w_k 为中心在 k 像素的局部方块区域, a_k 与 b_k 为 w_k 内的常数线性系数。为求得 a_k 与 b_k , 建立滤波输出与滤波输入差异最小化代价函数:

$$E(a_k, b_k) = \sum_{i \in w_k} ((a_k g_i + b_k - p_i)^2 - \varepsilon a_k^2) \quad (13)$$

其中, p 为滤波输入图像, ε 为防止 a_k 过大的调节参数。

通过线性回归得:

$$a_k = \frac{\frac{1}{|w|} \sum_{i \in w_k} g_i p_i - u_k \bar{p}_k}{\sigma_k^2 + \varepsilon} \quad (14)$$

$$b_k = \bar{p}_k - a_k u_k \quad (15)$$

$$\bar{p}_k = \frac{1}{|w|} \sum_{i \in w_k} p_i \quad (16)$$

其中, u_k 和 σ_k 是导向图在 w_k 内的均值和方差, $|w|$ 是 w_k 内的像素个数, \bar{p}_k 为 p 在 w_k 内的亮度均值。

由于像素 i 被包含到多个窗口 w_k 内, 因此在不同窗口计算时 q_i 的值是不同的, 这里采用的策略为求多个可能的 q_i 的均值:

$$q_i = \frac{1}{|w|} \sum_{k:i \in w_k} (a_k g_i + b_k) \quad (17)$$

3 实验结果与分析

为验证算法的有效性,在操作系统 Windows xp, CPU 为 Intel(R) core(TM) 2 Duo, 主频 2.2 GHz, 内存 2 GB 的 PC 机上进行试验仿真, 程序采用 Matlab2010b 编写。采用本文算法分别对 Person 图、House 图、Hole 图进行增强处理, 效果对比如图 1 ~ 图 6 所示。实验所采用的算法参数: 暗原色去雾最小值滤波块大小为 $\Omega(x) = 15 \times 15$, 导向滤波去噪块大小为 $w_k = 5 \times 5$, 调节参数 $\varepsilon = 0.0016$ 。

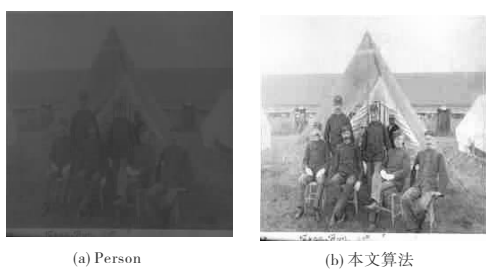


图 1 Person 效果图对比

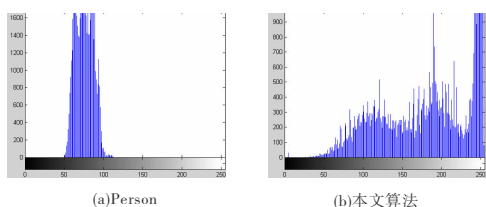


图 2 Person 直方图对比

观察图 1 ~ 图 6 可知, Person 图、House 图、Hole 图经本文算法处理后亮度、对比度和平均梯度均得到了提高。实验也使用亮度均值、对比度和平均梯度对图像进行定量分析, 见表 1。

表 1 各参数定量分析及对比

图像	均值		对比度		平均梯度	
	原图	本文算法	原图	本文算法	原图	本文算法
Person	75.67	181.34	10.97	57.39	2.126	10.14
House	36.41	83.99	48.39	52.46	6.73	10.54
Hole	21.07	102.25	15.52	53.79	3.32	13.39

观察效果图 1、图 3 与图 5 可以发现, 原始图像都较暗, 大部分图像细节都无法观察清楚, 经本文算法增强处理后, 图像的整体亮度得到了提高, 细节更容易观察。从直方图对比图可以看出, 原始图像的直方图主要集中在低像素值处, 而增强图像的直方图扩散到了整个灰度级之间。分析表 1 可知, 增强后图像的平均亮度、对比度和平均梯度大于原图。综上可得, 本文算法能有效增



图 3 House 效果图对比

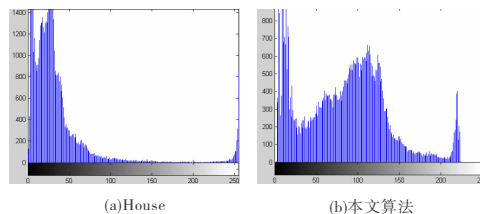


图 4 House 直方图对比



图 5 Hole 效果图对比

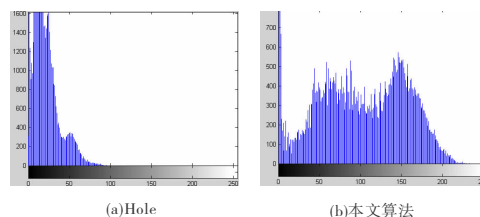


图 6 Hole 直方图对比

强低照度图像, 提高图像平均亮度、对比度和突出图像细节信息。

3 结束语

本文针对低照度图像提出了一种基于暗原色先验的图像增强算法。对噪声放大问题引入导向滤波保边去噪。实验结果表明, 算法能有效增强图像, 提高图像

亮度、对比度和突出图像细节信息。

参考文献:

- [1] 梁琳,何卫平,雷蕾,等.光照不均图像增强方法综述[J].计算机应用研究,2010,27(5):1625-1628.
- [2] 孙小明,孙俊喜,赵李荣,等.暗原色先验单幅图像去雾改进算法[J].中国图像图形学报,2014,19(3):381-385.
- [3] 郭璠,蔡自兴,谢斌,等.图像去雾技术研究综述与展望[J].计算机应用,2010,30(9):2417-2420.
- [4] He K, Sun J, Tang X. Single image haze removal using dark channel prior[C]//Proceedings of 27th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami, July 20-22, 2009:1956-1963.
- [5] 周首峰,耿楠.基于暗原色先验的单幅图像去雾方法的优化技术[J].计算机应用与软件,2013,30(7):287-289.
- [6] 方莉,张萍.经典图像去噪算法研究综述[J].工业控制计算机,2010,23(11):73-74.
- [7] Yang Q, Tan K H, Ahuja N. Real-time 0(1) bilateral filtering[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computer on Vision and Pattern Recognition, New York, June 20-25, 2009:557-564.
- [8] Zhang M, Gunturk B K. Multiresolution bilateral filtering for image denoising[J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 2008, 17(12):2324-2333.
- [9] He K, Sun J, Tang X. Guide image filtering[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(6):1-13.

Low Illumination Image Enhancement Based on Dark Channel Prior

HUANG Yong, SUN Xingbo, YUAN Wenlin, FAN Yunfei

(School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: Low illumination image has low brightness, low contrast and its detail information is missing. It has a bad influence on subsequent processing. In view of this, a novel method for low illumination image enhancement based on modified dark channel prior is proposed. Use the maximum of dark channel of input image to estimate atmospheric light, and the atmospheric light is replaced by dark channel to complete the normalization of input image, then the dark channel is used to estimate the transmittance, which improves the efficiency of algorithm. First of all, a similar atomization image is obtained through the complement of input image, then the dark channel prior is used for its haze removal, last a enhancement image is obtained by complementing the result again. Because dark channel prior can enlarge image noise, the guide filter that can denoise and preserve edge detail information is introduced. The experimental results show that the proposed algorithm can effectively enhance low illumination image, improve image brightness, contrast and highlight image detail information.

Key words: image enhancement; low illumination image; dark channel prior; denoising