

基于巴特沃斯低通滤波的直方图 均衡化去雾算法

李庆玄¹ 王丽丰² 靳济方²

1. 海南省国家密码管理局 海口市 570203

2. 北京电子科技学院 北京市 100070

摘 要: 近年来我国雾霾天气越发严重,使得室外监控系统获取的图像质量降低、图像模糊,给图像的识别带来了极大的困难,因此对雾天图像的处理非常关键。本文通过对直方图均衡化在图像增强方面的优缺点的分析,结合当前的巴特沃斯低通滤波理论,设计了一种基于巴特沃斯低通滤波的直方图均衡化的去雾算法。经实验验证,该方法对雾天图像具有较好的去雾效果,得到清晰的图片质量。

关键词: 图像增强;直方图均衡化;巴特沃斯低通滤波;图像去雾

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1672-464X(2019)3-61-07

引言

随着雾霾天气的日益严重,室外监控系统获取的图像模糊,导致图像的识别变得困难,这使得许多智能系统无法实现对目标图像的准确识别,给智能监控系统、卫星监控、遥感成像等相关领域带来非常大的挑战。

为了有效降低雾霾天气对图像质量的影响,提升雾天图像的能见度,需要采用图像增强技术。常见的图像增强方法主要分为空域法和频域法两大类。其中空域法有直方图均衡^[1]、基于 Retinex 理论^[2-4]的图像增强、灰度变换^[5]等,频域法有同态滤波^[6,7]、小波变换^[7]、低通滤波^[5]。直方图均衡是图像增强的经典方法之一,又分为全局均衡和局部均衡化,其中 Kim 等人在局部直方图的基础上提出了子块部分重叠

的直方图均衡化算法,即 POSHE 算法^[8];2006 年,罗海霞等人在直方图均衡化的基础上提出了自适应的直方图均衡化算法^[9],对景物信息多变的有雾图像有较好的去雾效果;在这之后,周卫星等人在 CLAHE 算法的基础上,提出了一种高频强调滤波和 CLAHE 算法相结合的算法^[10],实现了对低像素的图像去雾。对于文献[1]所提到的基于直方图均衡化去雾算法虽然在图像去雾方面能够增强图像对比度,使图像清晰化,但是图像细节丢失是直方图均衡化算法缺点之一。所以本文将采取分离图像低频分量与对应细节信息的高频分量,对低频分量进行直方图均衡化然后与高频分量叠加方法,能够在一定程度上保留图像细节信息。

因此,本文基于直方图均衡化的图像增强方法和巴特沃斯低通滤波的理论,将两者结合起来

* 作者简介:李庆玄(1996—),男,本科,海南省国家密码管理局干部。

形成一种新的图像增强的去雾算法,并借助于仿真验证该方法的可行性。

1 理论基础

基于巴特沃斯低通滤波的直方图均衡化算法(简称为 BHE 算法)主要是基于直方图均衡化算法和巴特沃斯理论而提出的。

1.1 直方图均衡化算法

直方图均衡化算法的思想主要是利用图像灰度点的运算对图像的直方图进行变换来提高图像的对比度,扩展图像的动态范围。通过对直方图进行非线性拉伸,重新分配像素值,使得直方图均匀分布,从而实现图像对比度的增强。其直方图表达式如下:

$$p(r_k) = \frac{n_k}{N} k \in \{0, L-1\} \quad (1)$$

且 $p(r_k)$ 满足下式:

$$\sum_{k=0}^{L-1} p(r_k) = 1 \quad (2)$$

其中 L 为总灰度级, n_k 表示灰度级为 r_k 的像素个数, N 表示像素总数, $p(r_k)$ 表示图像中灰度级为 k 的分布概率。

1.2 雾天图像物理模型

在有雾天的情况下,室外视频监控系统采集的图像通常是经过大气的吸收以及散射之后才到达采集设备。因此在雾天图像物理模型建模的过程中,需要引入大气光值以及用来描述光线经过媒介透射到采集设备中没有被散射的部分。因此,雾天图像的形成模型可以表示为:

$$R(x, y) = J(x, y) \times t(x) + A(1-t(x)) \quad (3)$$

其中 $R(x, y)$ 表示收集到的有雾图像; $J(x, y)$ 表示无雾图像, A 是大气光值; $t(x)$ 表示透射率。

1.3 巴特沃斯低通滤波器

本文算法需要进行低通滤波,因此需选用滤波效果较为理想的滤波器。与理想低通滤波器相比,巴特沃斯低通滤波器保留成分和滤除成分

之间的过渡平滑,因此不会产生如理想低通滤波器发生的振铃效应。巴特沃斯低通滤波是指通过算法滤除二维图像中的高频分量,从而得到低频分量。主要是利用传递函数与二维图像经过傅里叶变换后的结果相乘而滤除图像高频分量。巴特沃斯低通滤波器的传递函数为:

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + (D(u, v) / D_0)^{2n}} \quad (4)$$

其中 $D(u, v)$ 是频域中数据点到中心点的距离, D_0 为截止频率, n 表示的是巴特沃斯滤波器的阶数。利用上述的传递函数,即可完成巴特沃斯低通滤波。

2 算法验证

通过对直方图均衡化的优缺点分析可以得出,虽然直方图均衡化可以增强图像对比度,增大图像的动态范围,但是在均衡化的过程中,图像的灰度级数目会减少,导致一些细节的丢失。因此本文提出基于巴特沃斯低通滤波的直方图均衡化算法,首先对图像进行滤波处理,将高频分量与低频分量分开。经过滤波后得到低频分量,同时用原图减去低频分量得到高频分量。对低频分量进行直方图均衡化处理得到的结果与高频分量线性相加,即可得到去雾后的图像。这样既可以保留图像细节,又能增强图像的对比度,增大图像信息熵。提出的 BHE 算法的示意图如图 1 所示。

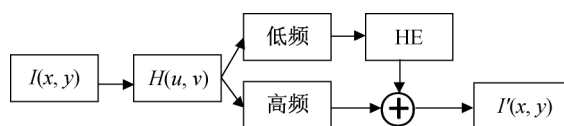


图 1 BHE 算法的示意图

BHE 算法的具体步骤为:

(1) 滤波处理,首先对雾天图像进行滤波分频。

①设置截止频率 D_0 , D_0 选取需要根据不同图像的去雾效果进行调整选定。当频率过低时,

滤波会使图像整体变得模糊不清;当频率过高时,本文算法便趋于直接对图像进行直方图均衡化。因此本文经过实验验证,选取的 D_0 的值率居中,并不断调整使滤波效果达到理想效果,最终选取的 $D_0 = 90$ 。

②求数据点到中心点距离 d ,公式如下:

$d = \sqrt{(i-n1)^2 + (j-n2)^2}$, 其中 $(n1, n2)$ 为数据中心点坐标。

③构造滤波器如下:

$$h = \frac{1}{1 + (d/D_0)^{2n}}$$
 然后对图像进行滤波运算便可得到低频分量。

(2) 分离出高频信息和低频信息,高频信息主要图像细节信息和边缘部分,低频信息灰度值变化缓慢的区域。

$$R(x, y) = I(x, y) - L(x, y) \quad (5)$$

其中, $I(x, y)$ 代表原图, $L(x, y)$ 为低频分量, $R(x, y)$ 为高频分量。

(3) 求低频分量的原始直方图;

$$p(r_k) = \frac{n_k}{N} \quad 0 \leq k \leq 255 \quad (6)$$

其中 N 为低频分量的总像素个数, n_k 表示灰度级为 r_k 的像素个数, $p(r_k)$ 表示图像灰度级为 k 的分布概率。

(4) 求新低频分量的灰度级的概率密度 (原始低频分量灰度级概率密度的累积);

$$T(r_k) = \sum_{j=0}^k P(r_j) \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$2550 \leq T(r_k) \leq 1 \quad (7)$$

其中 $T(r_k)$ 表示新灰度级为 k 的概率密度, $P(r_j)$ 表示原始灰度级为 j 的概率密度。

(5) 根据新灰度级的概率密度,采取四舍五入计算变换后的灰度值

$$S(k) = \text{int}[255 \times T(r_k) + 0.5] \quad (8)$$

其中 $S(k)$ 表示新灰度级为 k 的灰度值, int 是将一个数值向下取整为最接近的整数的函数。

(6) 确定映射关系

$$r_k \rightarrow S(k) \quad (9)$$

其中 r_k 表示原始低频分量灰度级为 K 的灰度值, $S(k)$ 表示新灰度值。

(7) 根据映射关系,计算变换后低频的灰度直方图

$$p(s_k) = \frac{n_k}{N} \quad 0 \leq k \leq 255 \quad (10)$$

其中 N 为新低频分量的总像素个数, n_k 表示新灰度级为 s_k 的像素个数, $p(s_k)$ 表示新灰度级为 k 的分布概率。

(8) 高频信息的处理过程。

将高频分量与均衡化后的低频分量进行线性相加,即可得到雾天增强图像,如下:

$$I'(x, y) = R(x, y) + L'(x, y) \quad (11)$$

其中 $I'(x, y)$ 为雾图增强后的图像, $R(x, y)$ 为高频分量, $L'(x, y)$ 为低频直方图均衡化后分量。

以上就是 BHE 算法的具体实现步骤,根据该算法过程画出其流程图,如下图 2 所示:

在 BHE 算法的流程中,首先输入图像,如果原始图是彩色图像,需要进行 RGB 分解成 3 个通道,然后对这 3 个通道进行滤波处理得到低频分量,接着用原图减去低频分量便得到图像的高频分量。并采用直方图均衡化的方法对低频进行处理,低频分量处理后的结果与原图的高频分量进行线性相加,最后将这 3 个通道的图像合并,得到所需要的增强后的雾天图像。如果原始图片是灰度图,则省略 RGB 通道分解和合并的过程,直接进行滤波和均衡化处理并输出显示结果。

3 实验结果分析

为了验证基于巴特沃斯低通滤波的直方图均衡化去雾算法的去雾效果,本文采用 MATLAB R2018b 软件分别验证直方图均衡化算法和 BHE 算法对有雾图像的去雾效果,并对增加后的图像进行比较和分析。

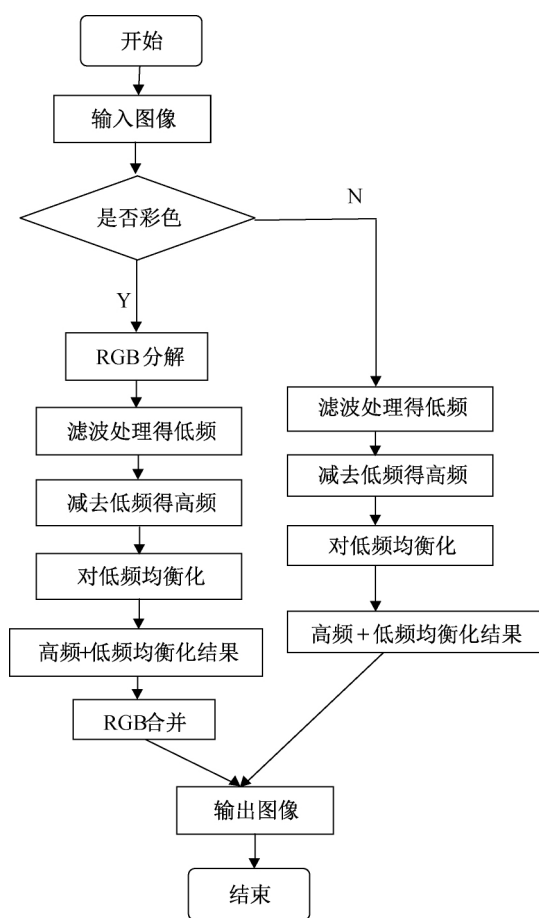


图2 BHE 算法流程图



图3 雾天火车原图



图4 采用直方图均衡化算法



图5 采用 BHE 算法

3.1 主观质量评价分析

本文采用直方图均衡化算法、BHE 算法对雾天火车图像和雾天远处建筑物图像进行增强处理,并从主观视觉上比较这两种算法的去雾效果。算法增强后的视觉效果如下,图3和图6分别是雾天火车图像原图及其直方图,图4和图7分别是采用直方图均衡化算法处理后的雾天火车图像及其直方图,图5和图8分别是 BHE 算法处理后的雾天火车图像及其直方图,图9和图12分别是雾天建筑物图像原图及其直方图,图10和图13分别是直方图均衡化处理后的雾天建筑物图像及其直方图,图11和图14分别是 BHE 算法处理后的雾天建筑物图像及其直方图。在直方图中横轴表示灰度级,纵轴表示某个灰度级的概率密度。

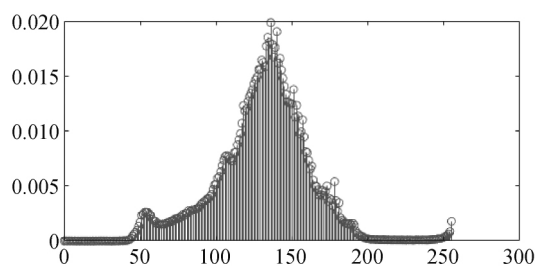


图6 雾天火车原图直方图

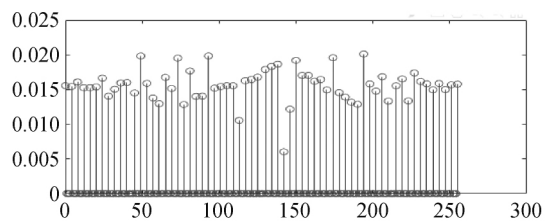


图7 雾天火车均衡化直方图

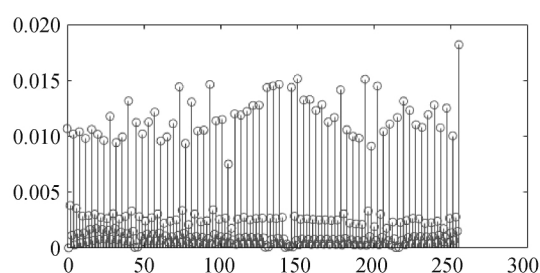


图 8 雾天火车 BHE 算法直方图



图 9 雾天建筑物原图



图 10 采用直方图均衡化算法



图 11 采用 BHE 算法

由原图可以看出,由于雾天天气的影响,图像模糊,许多细节不够清晰。经过传统的直方图均衡化处理后直方图均匀分布,大部分细节能够显示出来。但是存在一小部分细节丢失。经过本文算法处理之后,灰度级数目明显比直接对图

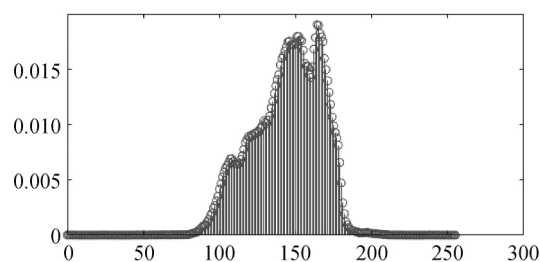


图 12 雾天建筑物原图直方图

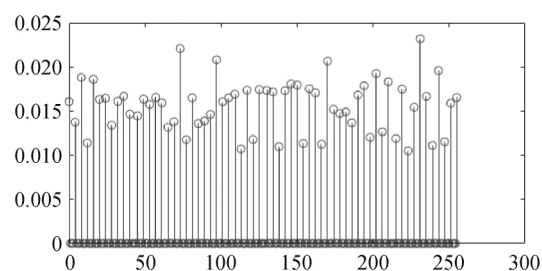


图 13 雾天建筑物直方图均衡化直方图

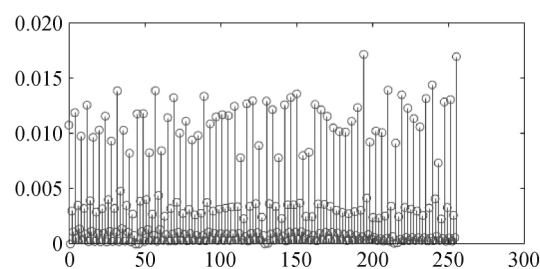


图 14 雾天建筑物 BHE 算法直方图

像进行均衡化的灰度级数目增加,证明了图像细节的增多。由于 BHE 算法主要是在保留雾天图像细节方面进行设计,对此本文给出了客观的质量评价指标。

3.2 客观质量评价分析

为了更加清晰的比较这两种不同算法的增强效果,本文选取了两种比较有代表性的客观质量评价指标:图像信息熵和峰值信噪比。通过这两个指标对图像的处理效果进行定量评价。

图像信息熵的计算公式为:

$$H(X) = - \sum p(x_i) \log(p(x_i)) \quad (12)$$

($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

其中 $p(x_i)$ 表示图像灰度为 i 的出现的概率。

峰值信噪比计算公式为:

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (13)$$

其中, MAX_I 是表示图像点颜色的最大数值, 如果每个采样点用 8 位表示, 那么就是 255。 MSE 为:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (14)$$

其中 MSE 为均方根误差, m 、 n 分别为图像的高和宽, $I(i, j)$ 为处理后的图像, $K(i, j)$ 为原图像

根据图像信息熵和峰值信噪比的计算公式, 对以上两组图像进行计算, 得到它们的信息熵和峰值信噪比。其中 BHE 算法是在低频进行直方图均衡化增大图像对比度的基础上加入高频对应的细节信息, 因此能更好的增大了图像信息熵。而直方图均衡化算法是直接对图像的高频与低频进行操作, 因此图像信息熵会有所下降。结果见下表:

表 1 雾天火车图像客观质量评价结果

	图像信息熵	峰值信噪比
原图	6.8596	
直方图均衡化算法	5.9836	19.3716
BHE 算法	7.2161	19.3379

表 2 雾天建筑物图像客观质量评价结果

	图像信息熵	峰值信噪比
原图	6.4149	
直方图均衡化算法	5.9757	17.9159
BHE 算法	7.2638	17.9225

从表中可以看出, 经过直方图均衡化处理, 图像去雾效果虽然明显, 但是信息熵值却下降了, 这就说明了图像经过直方图均衡化后, 信息量减少, 图像信息不完整。意味着图像处理未达到最佳效果; 经过 BHE 算法处理后, 效果更佳明显, 信息熵相比于原图有所增大。同时峰值信噪比也几乎和直方图处理之后的结果一样, 证明了经过 BHE 算法处理后的图像与直方图均衡化

后的图像相比没有失真。由此可见, 本文所提出的 BHE 算法在进行雾天图像增强处理时, 效果明显。

4 结语

本文通过分析直方图均衡化增强算法在去雾方面的优缺点, 将其与巴特沃斯低通滤波器理论相结合, 提出了一种基于巴特沃斯低通滤波的直方图均衡化去雾算法, 并用了 MATLAB 进行仿真实验, 对仿真结果进行主观和客观质量评价分析, 证明了该算法的可行性。

参考文献

- [1] 汪秦峰. 基于直方图均衡化和 Retinex 的图像去雾算法研究 [D]. 西安: 西北大学, 2016.
- [2] 谢娜. 基于图像增强的图像去雾算法研究 [J]. 机械设计与制造工程, 2017, 46(12): 31-33.
- [3] 赵松. 雾霾天图像增强算法研究 [D]. 天津: 天津工业大学, 2018.
- [4] 黄义明. 雾霾天气下的图像增强算法的研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [5] 周雪智. 图像增强算法研究及其在图像去雾中的应用 [D]. 长沙: 湖南师范大学, 2015.
- [6] 于萌. 图像去雾方法的研究与设计 [D]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [7] 赵春丽. 雾天图像增强算法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2018.
- [8] Kim J Y, Kim L S, Hwang S H. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization [J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology, 2001, 11(4): 475-484.
- [9] 罗海霞, 刘斌, 龙永红, 等. 同态滤波在光照补偿中的应用 [J]. 湖南工业大学学报, 2006, 22(5): 23-27.

- [10] 周卫星 廖欢.基于高频强调滤波和 CLAHE 34(7) : 38-40.
的雾天图像增强方法 [J].电视技术 ,2010 ,

A Histogram Equalization De-fogging Algorithm Based on Butterworth Low-pass Filtering

LI Qingxuan WANG Lifeng JIN Jifang

1. Hainan Provincial State Cryptography Administration , Haikou 570203 , P.R.China
2. Beijing Electronic Science and Technology Institute , Beijing 100070 , P. R. China

Abstract: In recent years , the frequent occurrence of fog and haze in China has reduced the quality of images extracted by video surveillance systems , and this brings difficulties to image recognition and making the fog images processing critical. By analyzing the merits and demerits of histogram equalization in image enhancement application and combining the current Butterworth low-pass filtering theory , a histogram equalization de-fogging algorithm based on Butterworth low-pass filtering is designed in this paper. Experimental results indicate that the algorithm has good fog removal effectiveness for foggy images and high quality pellucid images can be obtained.

Keywords: image enhancement; histogram equalization; butterworth low pass filtering; image defogging

(责任编辑: 鞠 磊)