

融合同态滤波和小波变换的图像去雾算法研究

董静薇^{1,2}, 赵春丽^{1,2}, 海 博^{1,2}

(1. 哈尔滨理工大学 测控技术与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;
2. 测控技术与仪器黑龙江省高校重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 针对雾天时图像退化严重, 对比度低的问题, 提出了一种改进算法。从时频分析的角度出发, 将同态滤波算法中的傅立叶变换用快速小波变换代替, 然后在变换域内用改进的滤波器对小波系数进行处理, 从而达到增强雾天降质图像的目的。实验结果表明, 改进算法能够有效校正雾天图像光照, 保持图像原有信息不丢失, 增强图像的对比度, 使处理后的图像更具有可视性。

关键词: 同态滤波, 小波变换, 图像增强, 对比度

DOI: 10.15938/j.jhust.2019.01.011

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1007-2683(2019)01-0066-05

Research on Image De-fog Algorithm Based on Fusion Homomorphic Filtering and Wavelet Transform

DONG Jing-wei^{1,2}, ZHAO Chun-li^{1,2}, HAI Bo^{1,2}

(1. School of Measurement and Control Technology and Communications Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;
2. Higher Educational Key Laboratory for Measuring and Control Technology and Instrumentations of Heilongjiang Province, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Aiming at the problem of severe degradation of fog weather image and low contrast, an improved algorithm is proposed. From the point of view of time-frequency analysis, the Fourier transform in the homomorphic filtering algorithm is replaced by the fast wavelet transform, and then the wavelet coefficients are processed by the improved filter in the transform domain to achieve the enhanced fog image purpose. The experimental results show that the improved algorithm can effectively correct the fog image illumination, keep the original information of the image is not lost, enhance the contrast of the image, and make the processed image more visible.

Keywords: homomorphic filtering; wavelet transform; image enhancement; contrast

0 引 言

有雾天气条件下, 通过交通和公共场所摄像头摄取的图像, 由于雾的影响, 导致图像的对比度降低, 图像的整体质量下降, 影响了对远处景物和人物

信息的观察和辨别^[1]。降质图像严重影响了户外视频及图像采集设备的应用, 这对城市交通、卫星监控等带来了安全隐患, 给相关人员的工作带来一定的阻碍。所以对雾天所获取的降质图像进行增强处理, 提高图像的可视度具有重要的现实意义。

对于图像增强去雾的算法, 国内外学者都做过

收稿日期: 2017-03-15

基金项目: 国家自然科学基金(61601149); 黑龙江省留学归国基金(LC201427)。

作者简介: 赵春丽(1988—), 女, 硕士研究生。

通信作者: 董静薇(1972—), 女, 教授, 硕士研究生导师, E-mail: djw@hrbust.edu.cn。

大量的研究,常用的方法有直方图均衡化算法,该算法简单,但是由于雾而使图像对比度降低与景物的远近并非线性关系,所以该方法的效果并不理想,有时由于将景物的灰度值增强或减弱后反而会影响图像的信息量^[2-3]。同态滤波算法,该算法可以对光照不均的图像进行校正,但由于处理是面向整幅图像的,不可避免的去一些有用信息^[6-7]。小波变换算法^[8]。Retinex 算法,自适应能力差,而且在光照突变的区域容易产生光晕^[9-11]。基于物理模型的方法,该方法对视频采集的要求过于苛刻,算法复杂度^[12-13]。

为了简化算法的复杂度,同时增强图像的对比度,提出了一种改进的算法。由于小波变换在时域和频域同时具有良好的局部特性,比傅立叶变换有明显的优势,因此本文采取小波变换代替傅立叶变换,从而达到快速去除雾对图像的影响。

1 算法的基本原理分析

1.1 同态滤波的原理

同态滤波是一种把频率过滤和灰度变换结合起来的图像处理方法,它把图像的照度反射模型作为频域处理的基础,通过对图像的灰度范围的调整,可以有效解决图像上照度不均匀及动态范围过大对图像产生影响的问题,在不损失亮区细节信息的同时,有效增强暗区的细节信息^[14]。

一般有雾天气的图像 $f(x, y)$ 由两个分量表示:

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y) \quad (1)$$

其中: $0 < i(x, y) < \infty$

其中 $i(x, y)$ 为照射分量,频谱处于低频区域, $r(x, y)$ 为反射分量,频谱处于高频区域,由于当一幅图像从物理过程产生时,它的值与照度分量成正比,因此,反射分量的取值范围为 $0 < r(x, y) < 1$,入射分量的性质取决于光照条件,而反射分量的性质取决于物体的表面特性,采用同态滤波的算法对有雾图像进行处理,抑制照射分量同时增强反射分量。由于二者的乘积是非线性的,无法对入射分量和反射分量直接进行操作,因此对该式两边取对数,将乘性问题转化为线性的加性问题,对该模型取对数公式如下:

$$\ln f(x, y) = \ln i(x, y) + \ln r(x, y) \quad (2)$$

上式表明,图形亮度值的对数等于照射分量的对数值和反射分量的对数值的线性之和,是一个高低频函数的线性的叠加。对 (2) 式进行傅立叶变换,将

图像从时域转换到频域:

$$F[\ln f(x, y)] = F[\ln i(x, y) + \ln r(x, y)] \quad (3)$$

$$F(u, v) = I(x, y) + R(x, y) \quad (4)$$

其中 $F(u, v)$ 代表 $\ln f(x, y)$ 的傅立叶变换, $I(x, y)$ 代表 $\ln i(x, y)$ 的傅立叶变换, $R(x, y)$ 代表 $\ln r(x, y)$ 的傅立叶变换。使用同态滤波传递函数 $H(u, v)$ 进行滤波处理^[15]有:

$$H(u, v) F(u, v) = H(u, v) I(x, y) + H(u, v) R(x, y) \quad (5)$$

设 $S(u, v) = H(u, v) F(u, v)$, 将滤波后的频谱 $S(u, v)$ 进行傅立叶逆变换,有:

$$F^{-1}[S(u, v)] = F^{-1}[H(u, v) F(u, v)] \quad (6)$$

可写成下式:

$$h_f(u, v) = h_i(x, y) + h_r(x, y) \quad (7)$$

左右两边取指数运算得:

$$\begin{aligned} \exp[h_f(u, v)] &= \exp[h_i(x, y) + h_r(x, y)] = \\ &= \exp[h_i(x, y)] \cdot \exp[h_r(x, y)] \end{aligned} \quad (8)$$

$$g(x, y) = i_0(x, y) \cdot r_0(x, y) \quad (9)$$

其中 $i_0(x, y)$ 为 $\exp[h_i(x, y)]$ 的值, $r_0(x, y)$ 为 $\exp[h_r(x, y)]$ 的值。

经典同态滤波的流程图如图 1 所示:

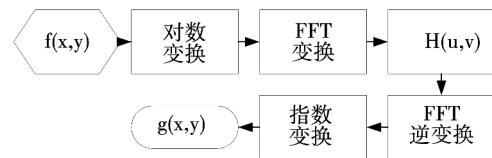


图 1 同态滤波流程图

Fig. 1 Flow chart of homomorphic filtering

1.2 小波变换的基本原理

小波变换是当前应用数学和工程学科中一个迅速发展的新领域,由于小波变换具有良好的时域局部特性,同时具有多尺度分析能力,并且可以对信号进行多分辨率的分析,所以在图像处理领域应用广泛。

由于数字图像通常用二维信号描述,因此在对图像进行分解时采用二维离散小波,根据 Mallat 快速分解算法^[16],一幅图像 $f(x, y)$ 可表示成:

$$f(x, y) = \sum_n A_{j-1} \varphi_{n,j-1}(x, y) + \sum_{j=0}^{L-1} D_{n,j} \varphi_{n,j}(x, y) \quad (10)$$

其中,设 $f(x, y) \in L^2(R^* \times R)$, $\{V_j\}$, $j \in Z$ 是 $L^2(R)$ 空间的一个多分辨率分析, $\varphi_{n,j-1}(x, y)$ 是二维

小波函数, $\varphi_{n,j}(x,y)$ 代表二维尺度函数, $\sum_n A_{j-1} \varphi_{n,j-1}(x,y)$ 是图像的低频部分(LL), $\sum_{j=0}^{L-1} D_{n,j} \varphi_{n,j}(x,y)$ 表示图像在水平(LH)、垂直(HL)和对角线(HH)方向的高频部分。 A_{j-1} 是低频系数, 又称近似系数。 $D_{n,j}$ 为高频系数, 又称细节系数。对 LL 部分, 可以继续分解^[7], 二维图像的三级分解塔形分解如图 2 所示:

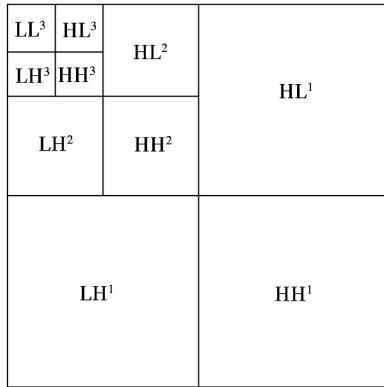


图2 二维图像的三级塔形分解示意图

Fig. 2 Three level pyramidal decomposition of 2-D image

同一维的细节系数的频率高于近似系数, 高维的细节系数的频率低于低维细节系数的频率。这是因为, 低一维的近似系数通过小波进行分解, 分解的结果为某一维的细节系数, 而高一维的小波系数又可以通过该维的小波分解得到。

2 融合小波变换的同态滤波器设计

2.1 同态滤波的滤波器的设计

一幅图像中像素达到的动态范围由照射分量来直接决定, 而对比度是由图像的反射分量决定, 表示灰度急剧变化的部分, 因此我们要选用合适的同态滤波传递函数 $H(u,v)$, 来达到对这些分量的理想控制^[8]。

因为相对图像细节信息来讲, 雾天图像的信息主要集中在低频区域, 因此, 压缩 $f(x,y)$ 的灰度范围或在频域上减弱 $I(x,y)$ 的频谱成分; 同时, $r(x,y)$ 反应图像细节, 可以用对比增强的方法增强这一分量的对比度, 即在频域上加大 $R(x,y)$ 的频谱成分。对于受到有雾天气影响的图像, 我们采用改进的二阶高通滤波函数作为同态滤波的传递函数, 其表达式如下:

$$H(u,v) = (H_H - H_L) \{1 - \exp[-c(D^2(u,v)/D_0^2)]\} + H_L \quad (11)$$

其中 H_H 和 H_L 表示为高频成分增加的倍数以及低频成分减少的倍数, 满足 $H_H > 1$ 且 $H_L < 1$; c 为锐化系数并且 $H_L < c < H_H$, D_0 为截止频率半径, 与照度函数和反射函数有关, $D(u,v)$ 为 (u,v) 到滤波中心的距离。该同态滤波函数是以 (u_0, v_0) 为中心对称的, 如图 3 所示为同态滤波函数示意图。

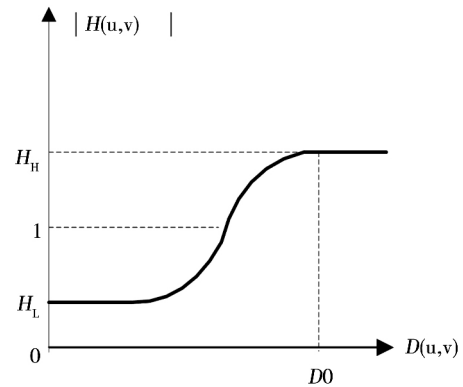


图3 同态滤波函数

Fig. 3 The function of homomorphic filtering

2.2 基于小波变换的同态滤波过程

在同态滤波的经典算法中, 图像的处理使用的是傅立叶变换, 如图 1 所示, 由于图像在频域上的滤波是面向整幅图像的, 只能反映某个频率成分包含在信号中的总强度, 不可避免的去掉一些有用的局部信息。造成这种时域局部化矛盾的原因在于: 傅立叶变换所采用的三角函数系在时域上没有任何局部性^[19]。同态滤波经典算法也经常用在消除恶劣天气对图像的影响中, 但是它在增强图像的对比度上不是很理想。与傅里叶变换相比, 具有多分辨率分析特点的小波变换是一种对于信号的时间-频率分析方法, 在时间域和频率域都能很好的表征信号的局部特征。

在有雾天气图片的处理中, 小波变换算法通过进行小波变换分解出低频系数和高频系数, 由于雾天图像的大部分能量集中在低频区域, 所以我们可以对近似系数和较高层的细节系数进行弱化处理, 这样可以弱化雾对图像的影响。处于低层的细节系数代表包含的是雾天图像细节信息, 为了使所处理的图像更加清晰, 对比度有所增强, 采取增强低层细节系数的操作, 这样可以使处理之后的图像轮廓更加的突出。Matlab 仿真实验结果表明, 该改进算法在去雾的效果上明显优于经典算法。

基于小波变换的同态滤波流程图如图 4 所示:

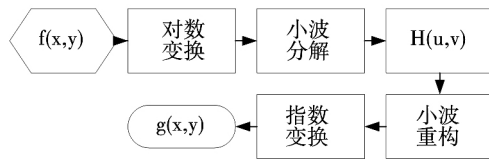


图 4 基于小波变换的同态滤波流程图

Fig. 4 Flow chart of homomorphic filtering based on Wavelet Transform

3 仿真实验结果与分析

3.1 评价指标

3.1.1 标准差

标准差是反映图像细节信息的指标,是对邻域中对比度的度量,对比度越大,图像的色彩更加的鲜明,灰度层次表现越丰富,表达式如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F(i,j) - \omega)^2}{M \cdot N}} \quad (12)$$

其中, ω 为平均值; M 为图像的总行数, N 为图像的总列数; $F(i,j)$ 为图像 i 行 j 列的像素值。

3.1.2 均值

图像的均值反映的是图像的平均灰度范围,均值越大,图像亮度越大;反之,图像的亮度越小。

3.1.3 信息熵

图像的平均信息量由信息熵来表示,信息熵是一个重要的图像的质量评价指标,对于一个随机事件 A 来说,若它出现的概率是 $P(A)$,那么它包含的信息量的公式为^[20-21]:

$$I(A) = \log \frac{1}{P(A)}$$

$$\text{即 } I(A) = -\log_2 P(A) \quad (13)$$

在信息论中信源输出是一个随机变量,所有可能符号的集合 $\{b_i\}$ 被定义为信源符号集 B , $P\{b_i\}$ 为符号 b_i 的概率,因此一幅图像的平均信息量的表达式为:

$$H = \sum_{i=1}^L P(b_i) I(P_i) \quad (14)$$

将 $I(P_i)$ 带入其中得:

$$H = -\sum_{i=1}^L P(b_i) \log_2 P(b_i) \quad (15)$$

当同概率分布时,信息熵最大,即当 $P(b_0) = P(b_1) = \dots = P(b_{255})$ 时,信息熵取最大值,根据熵理论,图像的信息熵越大,它所含的信息量就越大,图像的细节信息也就越丰富。

3.2 结果与分析

本实验在 Intel(R) Core(TM) 2.2 GHz CPU,内存 4GB,操作系统为 Windows 7 旗舰版,采用 Matlab2012 仿真实现。本文选取的雾天原图来源于网络,图 5 所示为雾天图像原图,图 6 为经过同态滤波算法处理后的图像,图 7 为经过改进算法处理之后的图像。采取主客观相结合的方法对处理后的图像进行评价。



图 5 原图

Fig. 5 Original drawing



图 6 同态滤波

Fig. 6 The homomorphic filtering



图 7 改进算法

Fig. 7 The algorithm of improved

如上图所示,雾天图像原图 5 整张图片被雾所覆盖,画面模糊不清,对比度不强,不利于观察;经过

同态滤波算法处理后的图像6,图像表面的雾得到了一定的去除,图像的整体效果得到增强,图像的光照得到校正,但图像偏暗,细节信息有一定程度的丢失;经过改进算法处理之后的图像7,色彩更加的自然,图像的边缘和轮廓信息更加明显,对比度明显增强,车辆和路况信息相对更加清晰。

下面通过具体数据对图像的处理效果进行客观的分析,表1为原图和处理后图像的数据统计分析表(数据保留到小数点后两位)。

表1 图像数据统计分析
Tab. 1 Statistical analysis of image data

图像	原图	同态滤波	改进算法
均值	177.33	139.67	143.92
标准差	19.88	25.91	33.12
信息熵	5.84	6.22	6.35

通过表1可知,就均值而言,同态滤波算法与改进算法的均值都低于原图像的值,这是由于雾在成像过程中所呈现的像素值较高,去雾处理后图像均值一般都会有所下降;改进算法的标准差要高于原图,说明图像的对比度有所提高,图像更具有可视性;并且改进算法的信息熵要略高于原图及同态滤波算法,说明改进后的算法处理的图像含有更多的信息量,细节信息也更加丰富。

4 结 论

本文针对有雾天气对图像的影响,提出了融合同态滤波和小波变换的图像去雾算法。将傅立叶变换替换成快速小波变换,利用小波变换在时域和频域都具有良好的局部特性特点,避免了傅立叶变换的不足。从主观图像的视觉效果及客观的性能指标分析可知,改进算法增强了雾天图像的对比度,使图像具有更好的可视性,从均值、标准差、信息熵的综合评价的分析中可以看出,改进算法具有一定的优势。

参 考 文 献:

- [1] 陈俊君,徐冰. 雾霾天气条件下的机器视觉图像清晰化研究[J]. 计算机工程,2017;43(2):280.
- [2] AEDLA R, DWARAKISH G S, REDDY D V. Satellite Image

- Contrast Enhancement Algorithm Based on Plateau Histogram Equalization [J]. //2014 IEEE Region 10 Symposium. 2014:213.
- [3] SMITHA M L, SHEKAR B H. Illumination Invariant Text Recognition System Based On Contrast Limit Adaptive Histogram Equalization in Viseos /Images [J]. // Proceedings of the Third International Symposium on Women in Computing and Informatics. ACM, 2015;22(2):174.
- [4] 杨玲,甄志明,刘国红. 基于多尺度边缘提取的薄雾图像处理方法[J]. 哈尔滨理工大学学报,2014,19(5):94.
- [5] 姜柏军,钟明霞. 改进的直方图均衡化算法在图像增强中的应用[J]. 激光与红外,2014,44(6):702.
- [6] JEAN-PHILIPPE Tarel, NICOLAS Hautiere, LAUENT Caraffa, et al. Vision Enhancement in Homogeneous and Heterogeneous Fog [J]. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2012,4(2):6.
- [7] 范有臣,李迎春,韩意,等. 提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用[J]. 中国图象图形学报,2012,17(5):635.
- [8] 周树道,王敏,黄峰,等. 基于亮度小波变换和颜色改善的彩色图像去雾研究[J]. 哈尔滨理工大学学报,2011,16(4):59.
- [9] 张雪峰,赵莉. 基于改进 Retinex 的图像增强算法[J]. 南京理工大学学报,2016,40(1):24.
- [10] 侯天峰,程和生,张燕. 基于 Retinex 的视频自适应增强算法[J]. 现代电子技术,2015,38(17):68.
- [11] 汪东芳,巨筱. 基于改进 Retinex 的雾天图像增强研究[J]. 激光杂志,2016,37(4):58.
- [12] 刘海波,杨杰,吴正平,等. 基于暗通道先验和 Retinex 理论的快速单幅图像去雾方法[J]. 自动化学报,2015,41(7):1064.
- [13] 李校林,王屈桥,燕历科. 基于改进暗通道先验模型的遥感图像去雾算法[J]. 电视技术,2017,41(1):14.
- [14] ZENG F, WU Q, DU J. Foggy Image Enhancement Based on Filter Variable Multi-Scale Retinex [J]. Applied Mechanics & Materials,2014,505/506:1041.
- [15] 陶泽明,裴玉龙,杜文刚. 基于 MATLAB 的车辆图像滤波[J]. 哈尔滨理工大学学报,2008,13(1):18.
- [16] MALLAT S. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1989;11(7):674.
- [17] 何立晖,张健沛,王强. 基于小波变换复合混沌系统的数字图像水印算法[J]. 哈尔滨理工大学学报,2010,15(3):15.
- [18] 孙慧贤,罗飞路,张玉华. 基于小波变换和同态滤波的内窥镜图像增强算法[J]. 探测与控制学报,2008,30(5):69.
- [19] 黄静静,陈文静,苏显渝,等. 小波变换在调制度测量轮廓术中的应用[J]. 光学学报,2016,36(7):77.
- [20] 金佩芬,秦富贞. 基于改进 Retinex 算法的红外图像增强处理[J]. 激光杂志,2016,37(7):43.
- [21] 穆为磊,高建民,王昭,等. 考虑人眼视觉特性的射线检测数字图像质量评价方法[J]. 西安交通大学学报,2013(7):91.

(编辑:关毅)