

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **5**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年5月 第17卷 第5期(总第193期)

目次

综述

- 中国图像工程:2011 章毓晋(603)
- 植物叶片表面质感建模与真实感绘制研究进展 田原,赵春江,陆声链,郭新宇(613)

图像处理和编码

- 高位有效位概率算术解码的图像密写改进算法 马丽红,吕先明,高小满(621)
- 滑动平均和改进权重函数的快速非局部平均图像去噪算法 熊波,尹周平(628)
- 提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用 范有臣,李迎春,韩意,张来线(635)

图像分析和识别

- 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法 张桂梅,周明明,马珂(641)
- 均衡化特征匹配的非刚体细胞形态跟踪 陈莹,艾春璐(648)
- 图像斑状特征位置与尺寸的自动检测 王志衡,刘红敏(656)
- 改进极化白化滤波的边缘检测 邓少平,张继贤,李平湘,黄国满(665)
- 联合特征在行人检测中的应用 杨阳,杨静宇(671)
- Gabor 相位特征的人脸光照不变量提取 范春年,张福炎(676)

图像理解和计算机视觉

- 保持几何特征的自适应弹性二次曲线模型 蒋建国,郝世杰,郭艳蓉,詹曙,李鸿(682)
- 局部颜色映射的彩色夜视算法 钱小燕,张天慈,王帮峰,黄圣国(689)
- 结合分支定界法和线性规划的摄像机位姿估计 马文娟(694)

金字塔评分改进主方向模板匹配的实时目标检索 洪朝群,朱建科,李娜,卜佳俊,陈纯(700)

计算机图形学

类曲率在曲线相似性判定中的应用 于昊,赵乃良,陈小雕(707)

虚拟现实与增强现实

人机系统中视域评估的可视化 李倩,吉晓民,林文周(715)

遥感图像处理

小波方向子带偏微分方程遥感图像去噪 王相海,李放,王爽(721)

遥感图像理想均衡化及图像质量定量评价 孟天佑,汪云甲(729)

地理信息技术

点要素扇形缓冲区的设计与应用 侯景伟,孔云峰,张迪,吕可文(740)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996年创刊)

第17卷 第5期

2012年5月16日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京9718信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa.ac.cn

电话:010-68407995 010-82614429

网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第0346号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京399信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,

CAS China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational

Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board

of Journal of Image and Graphics

(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)

E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers

and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation

(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZITXFZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 5 May 2012

Contents

Review

- Image engineering in China: 2011 Zhang Yujin (603)
- Advances in appearance modeling and photorealistic rendering of plant leaves
..... Tian Yuan, Zhao Chunjiang, Lu Shenglian, Guo Xinyu (613)

Image Processing and Coding

- Most significant bits probability arithmetic decoding for improved image steganography
..... Ma Lihong, Lv Xianming, Gao Xiaoman (621)
- Fast non-local means for image de-noising on moving average and modified weight function Xiong Bo, Yin Zhouping (628)
- Weakening of smoke for homomorphic filtering Fan Youchen, Li Yingchun, Han Yi, Zhang Laixian (635)

Image Analysis and Recognition

- Image segmentation algorithm for reconstruction labeling watershed in color space Zhang Guimei, Zhou Mingming, Ma Ke (641)
- Non-rigid cell contour tracking method for balanced feature matching Chen Ying, Ai Chunlu (648)
- Automatically detecting position and size of blob features in images Wang Zhiheng, Liu Hongmin (656)
- Improved polarimetric whitening filter for edge detection Deng Shaoping, Zhang Jixian, Li Pingxiang, Huang Guoman (665)
- Pedestrian detection based on compound feature Yang Yang, Yang Jingyu (671)
- Illumination invariant extraction on Gabor phase Fan Chunnian, Zhang Fuyan (676)

Image Understanding and Computer Vision

- Adaptive geometrical-feature-preserving elastic quadratic wire model
..... Jiang Jianguo, Hao Shijie, Guo Yanrong, Zhan Shu, Li Hong (682)
- Color night vision algorithm based on local color mapping ... Qian Xiaoyan, Zhang Tianci, Wang Bangfeng, Huang Shengguo (689)
- Camera pose estimation using branch and bound method with linear programming Ma Wenjuan (694)
- Real-time object retrieval with dominant orientation template matching improved by pyramid scoring
..... Hong Chaoqun, Zhu Jianke, Li Na, Bu Jiajun, Chen Chun (700)

Computer Graphics

- Quasi-curvature and its application in similarity measurement of curves
..... Yu Hao, Zhao Nailiang, Chen Xiaodiao (707)

Virtual Reality and Augmented Reality

- Visualization of the visual range assessment in man-machine system Li Qian, Ji Xiaomin, Lin Wenzhou (715)

Remote Sensing Image Processing

- Remote sensing image de-noising on partial differential equation in wavelet directional subband
..... Wang Xianghai, Li Fang, Wang Shuang (721)
- Ideal equalization of remote sensing images and quantitative assessment of image quality Meng Tianyou, Wang Yunjia (729)

Geoinformatics

- Design and applications of sector buffers for point feature
..... Hou Jingwei, Kong Yunfeng, Zhang Di, Lv Kewen (740)

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)05-0635-06

论文引用格式: 范有臣, 李迎春, 韩意, 张来线. 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): 635-640

提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用

范有臣¹, 李迎春², 韩意¹, 张来线¹

1. 解放军装备指挥技术学院研究生院, 北京 101416;
2. 解放军装备指挥技术学院光电装备系, 北京 101416

摘要: 针对烟雾引起的图像质量下降问题, 提出采用基于提升小波的同态滤波算法对图像进行增强。首先研究了基于照明反射模型的同态滤波方法, 给出了适用的滤波模型和表达式, 然后将提升小波变换引入同态滤波, 采用高通滤波对小波变换系数进行处理, 旨在对烟雾有效弱化的同时, 提高处理速度。最后采用6种不同的客观评价参数对处理后的图像进行评价。结果表明, 提出的算法比传统同态滤波具有更好的增强效果, 与传统小波同态滤波效果相当, 且运算速度比传统小波同态滤波更快。

关键词: 提升小波变换; 同态滤波; 频域滤波; 烟雾弱化

Weakening of smoke for homomorphic filtering

Fan Youchen¹, Li Yingchun², Han Yi¹, Zhang Laixian¹

1. The institute of graduate student, Academy of Equipment Command and Technology, Beijing 101416, China;
2. Department of Photoelectric Equipment, Academy of Equipment Command and Technology, Beijing 101416, China

Abstract: To improve images degraded by smoke, a homomorphic filter algorithm based on lift-wavelet transform is used to enhance the contrast of an image. In this paper, we use a homomorphic filter algorithm based on lighting reflection models and develop an applicable filtering model and expression. Secondl, we take lift-wavelet transform into the homomorphic filtering and process the wavelet transform coefficient by using high-pass filtering, aiming to improve the processing speed. Finally, six different objective evaluation parameters are used to evaluate the disposed images. The results reveal that the algorithm is move effective than homomorphic filtering and equal with wavelet homomorphic filtering, which is slower than our proposed algorithm.

Key words: lift-wavelet transform; homomorphic filtering; filter in frequency; smoke weakening

0 引言

在对导弹或火箭发射初始阶段的垂直上升位移进行成像测量时, 发动机点火产生大量烟雾对获取的图像产生强烈的干扰。因此, 对图像进行增强, 弱化烟雾的影响是测量的前提。导弹或火箭发射时, 底部烟雾浓度很大, 因此, 选取烟雾呈稀薄状态的目标顶部作为测量区域。在烟雾弱化

方面, 常见处理方法有图像融合法和同态滤波法^[1]。其中图像融合法的优点是具有较强的处理能力, 缺点是需要有目标区无烟雾图像支持, 而同态滤波方法仅利用待去烟雾图像本身即可实现烟雾弱化。乔闹生等人^[2]对直方图均衡后的映射图像进行融合。采用直方图均衡化图像增强算法, 可使图像灰度分布均匀, 增大图像反差, 达到增强的目的。但是直方图均衡对灰度呈现两端分布, 在图像的低灰度区域有较多像素点进行处理后,

收稿日期: 2011-05-07; 修回日期: 2011-10-10

第一作者简介: 范有臣(1987—), 男, 装备指挥技术学院获光学工程专业博士, 主要研究方向为光电信息处理, 光电信息对抗等方面的研究。E-mail: love193777@sina.com

会使处理后图像的亮度过度地提升,达不到满意的增强效果,整幅图像的动态范围并没有得到提升,无法突出图像细节信息。杨飒等人^[3]提出了一种多小波变换的融合方法。多小波变换可以将图像的去噪、增强和融合三者结合在一起,达到抑制噪声、增强边缘的目的,最终得到的融合图像综合了各个图像的有用信息。但是多小波变换的算法复杂度高,较少应用于实时处理。沈文水等人^[4]在传统同态滤波的基础上,引入空域滤波去除高频突变云区。该算法将云区分为高频区域和低频区域,仅对突变云区进行了处理,在应用中有一定的局限性。张金泉等人^[5]根据小波变换兼顾空-频域和多分辨率分析的特性提出了加权小波系数的烟雾弱化方法。加权小波在选择处理参数时较多地依赖主观经验,实现效果受主观干预影响较大。

从频域滤波的角度讨论了实验图像的烟雾弱化方法,针对烟雾的频域特征,并基于算法处理速度的考虑,将提升小波变换引入同态滤波,替代传统 Mallat 小波变换,提出了基于提升小波的同态滤波算法,探讨基于提升小波的同态滤波算法的有效性和快速性。

1 同态滤波

同态滤波是一种在频域中将图像动态范围进行压缩并将图像对比度进行增强的方法。当用 $f(x, y)$ 2 维函数形式表示空间域图像时,可以由两个分量来表征:入射的光源总量 $i(x, y)$ 和物体反射光的总量 $r(x, y)$,即

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

一幅图像的照明分量一般是在空间缓慢变化的,而反射分量在不同物体的交界处是急剧变化的。研究表明,烟雾在空间上变化缓慢,在频率域上呈现低频特征^[6],可以视为 $i(x, y)$ 。这样,适当降低光源入射量函数 $i(x, y)$ 的影响,同时增强地面反射率函数 $r(x, y)$ 的频谱成分,就可以降低烟雾的

影响。设计一个对高频和低频分量影响不同的高通滤波器 $H(u, v)$ 就可以达到这样的效果。因此, $H(u, v)$ 的选择如下:低频部分的 $H(u, v) < 1$;高频部分的 $H(u, v) > 1$,从而使占据低频成分的烟雾成分从图像信息中剔除或抑制。同态滤波的整个流程如图 1 所示。

当滤波器为理想滤波器时,其脉冲响应呈振荡特征,进行滤波时,会产生振铃效应,为了减少或消除振铃效应,滤波器频率响应应该具有光滑、缓慢特性,因此选用改进的二阶巴特沃思滤波器^[4-7]。采用该滤波器滤波时,图像的边缘模糊度大大减小,没有振铃效应产生。滤波器设计为

$$H\left(\frac{\rho}{\rho_c}\right) = r_1 - r_2 \left[\frac{1}{1 + 2.415 \left(\frac{\rho}{\rho_c}\right)^4} \right] \quad (2)$$

式中, $\rho = [(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2]^{\frac{1}{2}}$ 是频率 (u, v) 到滤波器中心 (u_0, v_0) 的距离。当 $(u_0, v_0) = (0, 0)$ 时, $\rho = [u^2 + v^2]^{\frac{1}{2}}$, ρ_c 是截止频率, r_1, r_2 为修改因子, r_H 代表高频增益, r_L 代表低频增益。当 $\frac{\rho}{\rho_c} \gg 1$ 时,有 $r_H = r_1$; 当 $\frac{\rho}{\rho_c} \ll 1$ 时,有 $r_L = r_1 - r_2$ 。

2 提升小波

在传统同态滤波中,图像的频率特征由傅里叶变换得到,但傅里叶变换并不具有时间局部化能力,无法同时得到图像的时域和频域特性。与傅里叶变换相比,小波变换因其能够在时域和频域有良好的局部性能,可以通过伸缩和平移等运算功能对信号进行多分辨率分析,因而被广泛应用于同态滤波。但是传统小波变换是建立在傅里叶变换基础上的,在进行运算时,滤波器的系数往往是浮点数,且卷积运算过程由大量的乘加运算构成,浮点数的乘法运算耗时较多,会影响系统的实时处理性能。

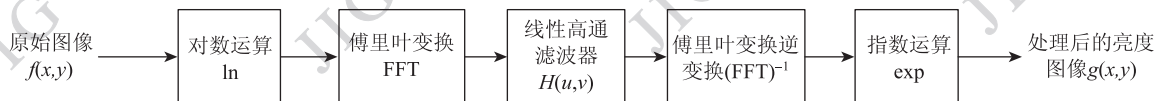


图 1 同态滤波流程图

Fig. 1 Flow chart of Homomorphic filtering

1996年,Sweldens等学者^[8]提出一种新的不依赖于傅里叶变换的小波构造方法——提升方案(Lifting-Scheme),也称第二代小波变换(SGWT)。由Sweldens的提升方法,我们很容易构造出整数到整数的小波变换,这样就可以避免了对信号作傅里叶变换,避免了对信号的卷积运算。计算速度更快。Daubechies^[9]已经证明,任何离散小波变换或者具有有限长滤波器的两阶滤波变换都可以被分解成一系列简单的提升步骤,即所有可以用Mallat算法实现的小波变换都可以同样用提升小波变换实现,并且比传统的Mallat算法减少至少一半的运算量。

提升小波把传统小波变换过程分为以下3个阶段:

1)分解 分解是将原始信号分为两个互不相交的子集和。每个子集的长度是原子集一半。通常是将一个数列分为偶数序列 e_{j-1} 和奇数序列 o_{j-1} ,即

$$Split(s_j) = \{e_{j-1}, o_{j-1}\} \quad (3)$$

2)预测 预测是利用偶数序列和奇数序列之间的相关性,由其中一个序列预测另一个序列。实际值 o_{j-1} 与预测值 $p(e_{j-1})$ 的差值 d_{j-1} 反映了两者之间的逼近程度,称为细节系数,对应原信号的高频部

分。预测过程如下:

$$d_{j-1} = o_{j-1} - p(e_{j-1}) \quad (4)$$

式中,预测算子 p 可用预测函数 p_k 表示,函数 p_k 可取为 e_{j-1} 中的对应数据本身: $p_k(e_{j-1,k}) = e_{j-1,k} = s_{j,2k}$ 或其他更复杂的函数。

3)更新 经过分裂步骤产生子集的某些整体特征可能与原始数据并不一致,为了保持原始数据的这些整体特征,需要一个更新的过程。将更新过程用算子 u 来表示,其过程为

$$s_{j-1} = e_{j-1} + u(d_{j-1}) \quad (5)$$

式中, s_{j-1} 即为 s_j 的低频部分。

小波提升是一个完全可逆的过程,具有与正向变换相同的复杂性。其反变换为

$$\begin{aligned} e_{j-1} &= s_{j-1} - u(d_{j-1}) \\ o_{j-1} &= d_{j-1} + p(e_{j-1}) \\ s_j &= Merge(e_{j-1}, o_{j-1}) \end{aligned} \quad (6)$$

图2为1维提升小波分解与重构的示意图,图3为2维提升小波分解与重构的示意图。

图中 $f(x,y)$ 是原始图像,HH, HL, LH, LL为分解后的图像,分别为行高频列高频、行高频列低频、行低频列高频、行低频列低频分量。

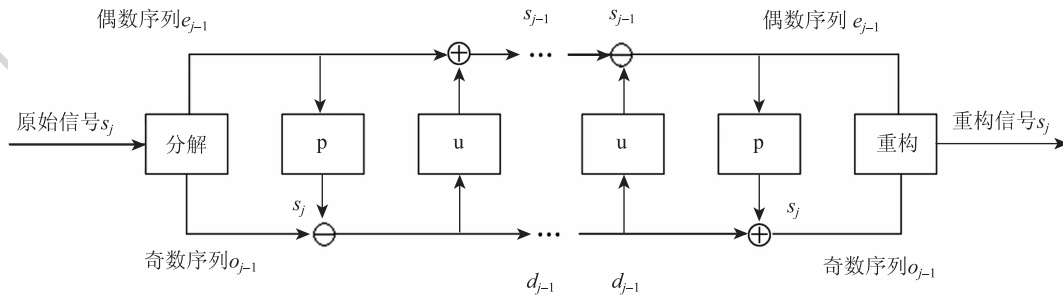


图2 1维提升小波分解与重构

Fig. 2 Decomposition and reconstruction of one-dimensional lifting wavelet

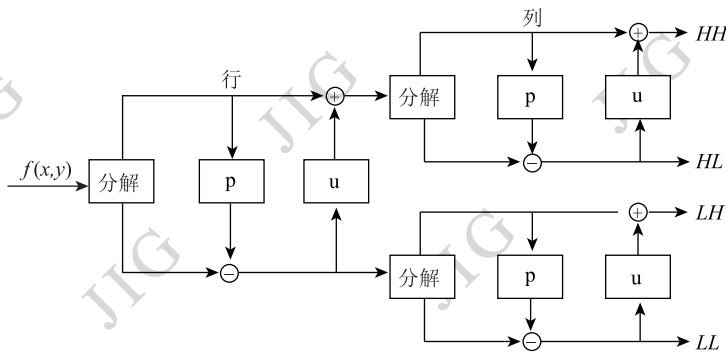


图3 2维提升小波分解示意图

Fig. 3 Decomposition and reconstruction of two-dimensional lifting wavelet

3 基于提升小波的同态滤波算法

从频谱分析的角度分析,小波变换的结果是原始信号在频带上划分为多个高频系数和一个低频系数。设图像经过 n 级小波分解,得到 $LH_j, HL_j, HH_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 和 LL_n , 其中 LL_n 反映了图像各主要空域范围的亮度分布和基本面貌。因为烟雾在频率域上呈现低频特征,因此对不同分辨率下的小波分解系数进行高通滤波处理,就可以衰减低频信息,增强高频信息,达到弱化烟雾的目的^[10]。

针对高频系数,为了适合对小波系数的滤波处理,令 $\frac{\rho}{\rho_c} = [w_h^2 + w_v^2]^{1/2} / 2^j k_c$ 。此处 j 代表分解层数; 2^j 表示相应的分辨率; k_c 称为截止系数; w_h 和 w_v 分别是水平权值和垂直权值系数。对于 LH_j , $w_h = 0, w_v = 1$; 对于 HL_j , $w_h = 1, w_v = 0$; 对于 HH_j , $w_h = 1, w_v = 1$; 对于 LL_n , $w_h = 0, w_v = 0, (j = 1, 2, \dots, n)$ 。这种改进满足各级小波系数的频域倍频特征,同时保证了高通滤波器中滤波特性与滤波器参数间的关系。

针对低频系数 LL_n , 式(2)简化为 $r_1 - r_2$ 。可以根据图像的特点对其系数进行线性或非线性调整,采用线性调整方式,用式(7)中的 H_{LL_n} 作为增强后的 LL_n 层小波系数。

$$H_{LL_n} = (r_1 - r_2)(k(x - m) + m) \quad (7)$$

式中, $k(x - m) + m$ 完成对 LL_n 系数的线性均衡, x 为小波系数, m 为小波系数的平均值,对比度调节因子 k 满足 $0 \leq k \leq 1$ 。

算法的整个流程如图 4 所示。

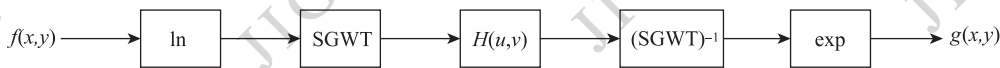


图 4 本文算法流程图

Fig. 4 Flow chart of algorithm in this paper

4 实验结果与分析

采用 MATLAB 7.0 实现算法,测试环境为 Intel 2.49 G、1.00 GB 内存的普通 PC,使用平台为 Windows XP 操作系统。利用上述方法对拍摄的两组实验图像进行烟雾弱化处理,算法中选取滤波器参数修改因子为 $r_1 = 4, r_2 = 2$,截止系数 $k_c = 1/8$,对比度调节因子 $k = 1$,选用 sym3 小波对原图像进行 3 层提升小波分解,实验结果如图 5 所示。图 5(b)为传统同态滤波处理后的图像,选取的截止频率为 0.8, 巴特沃思滤波器的阶数为 2,称为方法 1; 图 5(c)为基于传统小波的同态滤波处理后的图像,参数选择与提升小波相同,称为方法 2; 图 5(d)为基于提升小波的同态滤波处理后的图像,称为方法 3。观察两组实验结果,可以发现采用同态滤波都达到了烟雾弱化的效果。

从视觉效果上看,3 种方法对烟雾弱化处理都有一定的效果,方法 2 与方法 3 要明显好于方法 1,由于视觉评价图像处理结果有一定的主观性,本文采用均值、标准差、信息熵、平均梯度、边缘强度、运行时间等 6 种方法客观的评价图像处理效果。标准差是图像对比度的度量,反映细节信息。该值越大,渐变层次就越多,细节表现越丰富。熵是信息量的度量,图像的熵越大,信息量越大,图像细节越丰富。平均梯度反映了图像中的微小细节反差与纹理变化特征,同时也反映了图像的清晰度。平均梯度越大,图像层次越多,表示图像越清晰。边缘强度反映了图像特征的强度,该值越大,图像特征越明显。

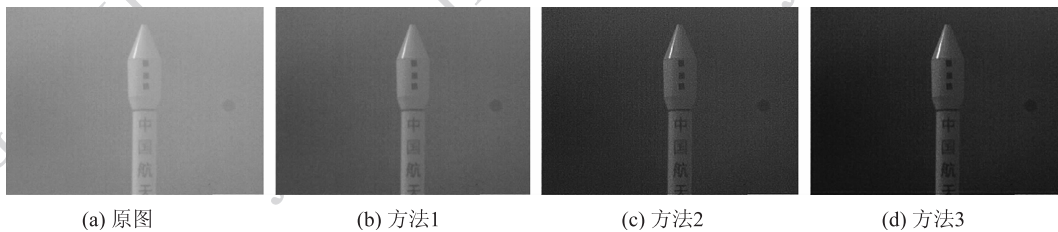


图 5 烟雾图像及处理后的图像

Fig. 5 Original image and result of image with various algorithms

$$\text{均值 } m = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N g(x,y)$$

$$\text{标准差 } std = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (g(x,y) - \hat{\mu})^2}$$

$$\text{信息熵 } I[g(x,y)] = - \sum_{i=0}^{A-1} p_i \cdot \log_2(p_i)$$

平均梯度

$$g = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \sqrt{\frac{(\frac{\partial g(x,y)}{\partial x})^2 + (\frac{\partial g(x,y)}{\partial y})^2}{2}}$$

边缘强度

$$ei = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \sqrt{g_a(x,y)^2 + g_b(x,y)^2}$$

式中, $g(x,y)$ 表示处理后的图像, M,N 分别为图像的行数和列数, p_i 表示像素值为*i*的像素出现的概率, $A = M \times N$ 为图像总像素个数。 $g_a(x,y)^2$ 和 $g_b(x,y)^2$ 是 $g(x,y)$ 经过 Sobel 算子边缘检测后得到的检测图像。经计算后的结果如表 1 所示。

表 1 各图客观评价结果

	原图	方法 1	方法 2	方法 3
均值	175.535 9	121.291 8	87.313 9	93.195 6
标准差	113.781 0	223.470 4	380.514 5	388.707 6
信息熵	5.397 4	5.667 5	6.170 2	6.133 8
平均梯度	2.564 6	3.554 6	7.178 9	6.817 6
边缘强度	20.859 9	28.873 0	57.582 6	56.958 9
时间/s		1.117 5	0.698 1	0.531 0

从表 1 可以看出,处理后的平均灰度都比原图小,在统计意义上达到了烟雾弱化的效果;处理后图像的标准差都比原图大,说明处理后的图像有更多的细节信息,达到了烟雾弱化的目的;信息熵与原图相比也有一定提高,说明有用信息恢复的较多;在平均梯度与边缘强度方面,处理后的值都比原图的值大,说明图像清晰度和边缘清晰度得到了很大的改善。方法 2 与方法 3 的各个参数要明显优于传统的同态滤波,方法 3 取得的效果与方法 2 基本相近,但是时间有明显的降低,方法 3 与方法 2 相比节省时间 20%,与方法 1 相比节省 53%。

为了验证本文算法的通用性,随机在网上下载一幅烟雾图片,这里给出了另一幅图的处理结果,参数选择同上,处理结果的比较如图 6,数据结果如表 2。可见本文算法具有明显优越性。

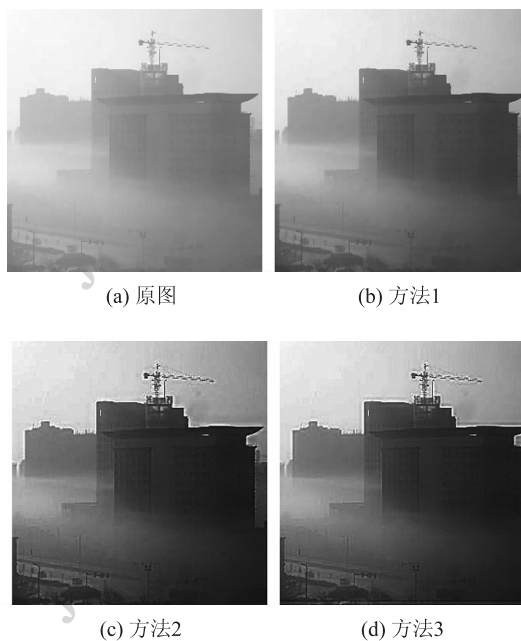


图 6 烟雾图像及处理后的图像

Fig. 6 Original image and result of image with various algorithms

表 2 各图客观评价结果

	原图	方法 1	方法 2	方法 3
均值	196.801 4	163.783 5	130.523 6	130.560 9
标准差	128.845	275.783 9	425.138 8	422.140 0
信息熵	6.750 5	6.775 6	7.520 4	7.528 1
平均梯度	0.914 4	1.306 9	2.798 2	3.035 7
边缘强度	9.443 2	13.460 5	28.001 8	30.066 1
时间/s		0.415 6	0.428 6	0.250 3

5 结 论

本文为了提高烟雾弱化的实时性,在同态滤波的基础上引进了提升小波,先在理论上分析了该算法的可行性,提升的小波变换功能与 Mallat 算法相同,并且小波构造完全在时域进行,避免了对信号的卷积运算,运算过程更适宜硬件实现,而后依据六个客观参数对实验结果进行评价。结合各项数据及处理后的图像可以看出,基于提升小波的同态滤波能够有效地弱化烟雾,与基于传统小波的同态滤波具有十分相近的效果,但相对于基于传统小波的同态滤波处理时间更短,为图像增强处理的实时实现提供了一个借鉴方向。

参考文献 (References)

- [1] Zhang P Q, Yu X C, Han L. Remote sensing image enhancement using filtering methods with thin cloud cover [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2008, 28(2): 13-16. [张鹏强, 余旭初, 韩丽. 遥感图像薄云滤波增强[J]. 海洋测绘, 2008, 28(2): 13-16.]
- [2] Qiao N S, Ye Y T, Huang Y L, et al. An algorithm of image enhancement for fusion based on gray redundancy [J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(5): 1288-1292. [乔闹生, 叶玉堂, 黄永林, 等. 一种基于灰度冗余的融合的图像增强算法[J]. 光子学报, 2009, 38(5): 1288-1292.]
- [3] Wang X, Yu X, Sui Y X, et al. Application of multiwavelet based image processing to corona detection [J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(4): 714-719. [王欣, 于晓, 隋永新, 等. 基于多小波的图像处理在电晕检测中的应用[J]. 光学精密工程, 2006, 14(4): 714-719.]
- [4] Shen W S, Zhou X Z. Algorithm for removing thin cloud from remote sensing digital images based on homomorphic filtering [J]. High Power Laser and Particles, 2010, 1: 45-48. [沈文水, 周新志. 基于同态滤波的遥感薄云去除算法[J]. 强激光与粒子束, 2010, 1: 45-48.]
- [5] Zhang J Q, Yang J H, Wang X K. Research on the weakening of smoke in images [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(12): 1733-1737. [张金泉, 杨进华, 王晓坤. 图像烟雾弱化方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(12): 1733-1737.]
- [6] Zhu X F, Wu F, Tao C K. A new algorithm of cloud removing for optical images based on wavelet threshold theory [J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(12): 3312-3317. [朱锡芳, 吴峰, 陶纯堪. 基于小波阈值理论的光学图像去云处理新算法[J]. 光子学报, 2009, 38(12): 3312-3317.]
- [7] Voicu L I, Myler H R, Weeks A R. Practical considerations on color image enhancement using homomorphic filtering [J]. Journal of Electronic Imaging, 1997, 6(1): 108-113.
- [8] Sweldens W. The lifting scheme: A construction of second generation wavelets [J]. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 1998, 29(2): 511-546.
- [9] Sweldens W. The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets. [J]. Application Computer Harmonic Analysis, 1996, 3(2): 186-200.
- [10] Zheng D M, Shi J S, Song X H, et al. ICT image enhancement by wavelet based homomorphic filtering method [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2007, 30(3): 44-46. [郑东梅, 石俊生, 宋晓辉, 等. 基于小波的同态滤波算法在 ICT 图像增强中的应用[J]. 长春理工大学学报, 2007, 30(3): 44-46.]