

【本文信息】林笑君,梁凤梅. 基于 Retinex 的一种图像去雾算法[J]. 电视技术 2013 37(17).

# 基于 Retinex 的一种图像去雾算法

林笑君 梁凤梅

(太原理工大学 信息工程学院 山西 太原 030024)

**【摘要】**由于中心环绕 Retinex 图像增强算法尺度的选择有限,不能在有雾天气下采集的图像进行有效去雾的同时增强其细节,提出一种基于 Retinex 算法的曲波变换图像增强算法。首先,根据 Retinex 算法,先用高斯函数估计出图像的入射分量,再通过 Retinex 算法将图像的反射分量得出,然后利用曲波变换的多尺度特性将反射分量进行子带分解,对高频子带采用自动变换阈值处理,对低频子带采用线性拉伸,增强其对比度,最后将曲波系数进行合成,得出处理后的图像。实验结果表明,用该方法对雾天图像处理后,图像的纹理细节更清晰,信噪比和信息熵明显提高,视觉效果改善,失真度显著减小。

**【关键词】**Retinex 算法;曲波变换;USFFT 算法;图像去雾

**【中图分类号】**TN911.73;TP391.4

**【文献标志码】**A

## Method of Foggy Image Removing Algorithm Based on Retinex Theory

LIN Xiaojun, LIANG Fengmei

(College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**【Abstract】**A new curvelet transform image enhancement algorithm based on the Retinex is proposed to improve the center surround Retinex algorithm whose choices is limited about the scale. The proposed algorithm can remove fog effectively while enhance details in the applications of foggy images enhancement. Firstly, the algorithm decomposes the original image into the incidence image and the reflectance image using the Gaussian function. Secondly, the curvelet transform is used to decompose the reflectance into high frequency coefficient and low frequency coefficient. The high frequency coefficient is disposed by auto-commutation threshold. The low frequency coefficient is disposed. At last the curvelet coefficients are reconstructed to obtain the enhancement image. The experimental results show that the proposed method can improve the details, the PSNR, the information entropy and the visual effects. It can decrease the image distortion.

**【Key words】**Retinex algorithm; curvelet transform; USFFT algorithm; foggy image removing

目前,随着空气中的污染物越来越多,经常出现雾天,使能见度大大减小,给室外监视系统的拍摄、导航、检测、跟踪带来了不小的困难,使成像设备采集的图像严重退化,很大程度上限制了露天监视系统的功能。因此,一个稳定的室外监视系统应该有在任何天气下工作的能力,为了解决这一问题,图像去雾问题的研究由此产生。当前,使雾天图像清晰化的方法主要有两种:第一种是基于大气退化的模型<sup>[1-2]</sup>,这种方法必须提前获得图像的景物距离等信息,通过景物距离信息和设备取得的图像来建立模型,进而求得模型的参数,然后把模型参数带入到公式中求解出处理后的图像。虽然这种方法的效果比较好,但是常常需要先从图像中获得景物距离信息,该信息需要其他的采集设备来辅助获得,难度较大;第二种是基于图像增强方法,用图像处理来增强雾天图像。直方图变化法是图像去雾处理的常用方法,该方法对景物深度变化小的图像处理效果较好,此方法虽然可以使图像的对比度得到提高,但同时也存在在灰度变化缓慢的区域产生了块状效应。

Retinex 理论<sup>[3]</sup>是由 Edwin. H. Land 提出的,主要思

想是:先通过某种数学方法将设备采集到的图像分解为入射信息和反射信息;之后通过适当的处理去掉入射信息,得到的反射信息即为处理后的图像。目前,很多学者对 Retinex 算法进行了改进,常见的有 McCann's 99 Retinex<sup>[4]</sup>,多尺度 Retinex(Multi-Scale Retinex, MSR)<sup>[5]</sup>,可变框架模型 Retinex<sup>[6]</sup>等。这些算法都存在一定的局限性,McCann's 99 Retinex 采用迭代算法,复杂度高;MSR 的模板通常较大,且易产生光晕伪影,可变框架模型 Retinex 算法需要利用偏微分方程,计算复杂。在国内也有用 Retinex 做图像去雾处理的研究成果,汪荣贵、杨万挺等人研究了小波域信息融合的 MSR 算法及滤波器可变的 Retinex 算法<sup>[6-7]</sup>,并用雾天图像对算法做了验证,效果较为明显。马云飞提出了一种基于小波变换的阈值化雾天图像处理<sup>[8]</sup>,能较好地改善图像的对比度,但是对天空区域的处理效果不是很明显。王晶提出一种基于神经网络的雾天图像清晰化处理<sup>[9]</sup>,该方法能消除雾天对图像质量的影响,但是需要训练,有一定的复杂性。

基金项目:山西省科技产业化环境建设项目(2010061023)

目前已经提出的图像去雾方法在各向异性的奇异性对象上,特别是图像边界部分,去雾的效果不是很好。所以,本文在 Retinex 理论的基础上,提出一种基于曲波变换的阈值去噪图像去雾方法。由于曲波变换具有良好的边缘奇异性特点<sup>[10]</sup>,所以该方法可以有效提高雾天图像边缘处理的效果。实验证明,本文方法不但能较好地抑制雾天图像边缘的模糊,而且能在提高图像对比度的同时有效地提高图像的信噪比。

## 1 Retinex 算法

根据 Retinex 理论,一幅图像可以假设由入射光分量和反射光分量两部分组成,如式(1)所示

$$C(x, y) = In(x, y) \cdot Out(x, y) \quad (1)$$

式中:  $C(x, y)$  表示设备采集的图像;  $In(x, y)$  表示入射分量;  $Out(x, y)$  表示反射分量。对式(1)取对数,得到

$$\log C(x, y) = \log In(x, y) + \log Out(x, y) \quad (2)$$

Retinex 理论认为,入射分量即照度分量,只影响一幅图像能达到的动态范围,真正决定图像结构和性质的是图像的反射分量,所以 Retinex 算法所做的工作就是从原始图像中估计出入射分量,再通过相减取指数得到反射分量。通过高斯函数对设备采集到的图像做卷积,可得到入射分量  $In(x, y)$  的估计值,如式(3)所示

$$In(x, y) = G(x, y) * C(x, y) \quad (3)$$

式中:  $*$  为卷积操作;  $G(x, y)$  为高斯函数,  $G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$ 。

所以,对数域的反射分量为

$$\log Out(x, y) = \log C(x, y) - \log In(x, y) \quad (4)$$

最后对  $\log Out(x, y)$  求指数得到增强后的图像  $Out(x, y)$ ,该算法中使用的高斯函数的标准差是可调节的。当  $\sigma$  的取值偏大时,如图 1a 所示,高斯滤波函数相对平坦,卷积后的结果较光滑,颜色自然;当  $\sigma$  的取值偏小时,如图 1b 所示,高斯滤波函数相对陡峭,得出的滤波分量相对锐化,细节增强效果明显。

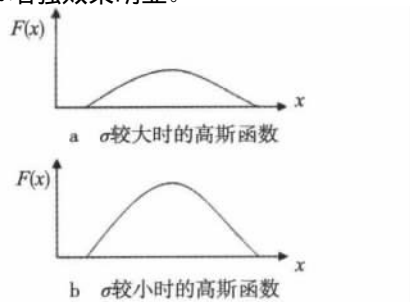


图1 高斯滤波函数

由于单尺度的 Retinex 不能在突出细节的同时兼顾颜色自然的问题,所以有人将单尺度的 Retinex 进行加权组合,提出多尺度的 Retinex (MSR) 算法,可在增强细节的同时调节颜色使其保真自然,如式(5)所示

$$\log Out(x, y) = \sum_{a=1}^n W_a (\log C(x, y) - \log (C(x, y) * F_a(x, y))) \quad (5)$$

式中:  $W_a$  为各个权值,  $\sum_{a=1}^n W_a = 1$ ;  $F_a(x, y)$  为对应权重  $W_a$  的高斯滤波函数;若  $n=3$ ,则 MSR 是由 3 个单尺度的 Retinex 合成,可通过选择不同的权值来调整合成的侧重。

## 2 第二代曲波 (Curvelet) 变换

户外系统采集的图像含有较多纹理信息,尤其是边缘奇异性明显,小波变换并不能足以体现出图像的这种特征,为此,1998 年 Candes 提出了脊波变换理论<sup>[11]</sup>,但它不能很好地表达图像的曲线边缘。因此,1999 年, Candes 和 Donoho 共同提出了曲波 (Curvelet) 变换理论并且构造了曲波变换的紧框架<sup>[12]</sup>,随后在 2002 年提出了新的曲波变换框架体系,称为第二代曲波变换。2005 年他们又提出了两种基于第二代曲波变换理论快速离散曲波变换<sup>[13]</sup>实现方法,基于非均匀采样的快速傅里叶变换算法 (US-FFT 算法) 和基于封装的变换算法 (Wrap 算法)<sup>[14]</sup>,使算法更简单、快速。

### 2.1 离散曲波变换

以笛卡尔坐标系下的  $f[t_1, t_2]$  ( $0 \leq t_1, t_2 < n$ ) 为输入,离散曲波变换表达式为

$$c^D(j, l, k) = \sum_{0 \leq t_1, t_2 < n} f[t_1, t_2] \overline{\varphi_{j,l,k}^D[t_1, t_2]} \quad (6)$$

$$\text{采用一带通函数 } \psi(\omega_1) = \sqrt{\varphi(\omega_1/2)^2 - \varphi(\omega_1)^2} \quad (7)$$

用该函数对目标进行尺度划分,对每一个  $\omega = (\omega_1, \omega_2)$ ,  $\omega_1 > 0$ ,有

$$V_j(S_{\theta_l}\omega) = V(2^{j/2}\omega_2/\omega_1 - l) \quad (8)$$

式中:  $S_{\theta_l}$  是一个矩阵,它表示为  $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\tan\theta_l & 1 \end{pmatrix}$ 。分割出的

条形区域边界线的斜率是等间距增加的。图 2 显示的为尺度  $j=6$ ,角度  $l=8$  时离散曲波变换的示意图。定义

$$\widehat{U}_j(\omega) = \psi_j(\omega_1) V_j(\omega) \quad (9)$$

针对于每一个  $\theta_l \in [-\pi/4, \pi/4]$ ,有

$$\widehat{U}_{j,l}(\omega) = \psi_j(\omega_1) V_j(S_{\theta_l}\omega) = \widehat{U}_j(S_{\theta_l}\omega) \quad (10)$$

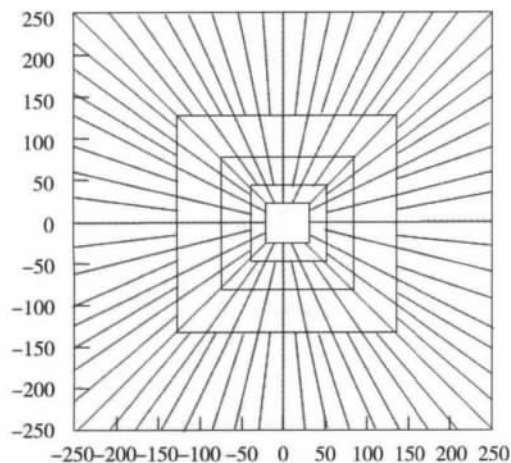


图2 离散曲波变换尺度为6、角度为8时的分割示意图

## 2.2 快速离散曲波变换的去雾算法

由于快速离散曲波变换(Curvelet)的简单快速的特点,本文把该算法用到图像去雾中。又根据快速离散曲波变换的理论,变换后的曲波系数靠近最大值的对应图像较强的边界,靠近最小值的对应图像的模糊干扰。因此,在曲波系数阈值方法的应用中,可以重点变换比阈值大的系数,适当舍去比阈值小的系数或者对曲波系数进行重新调整来实现图像的去雾。对于曲波系数,本文采用自动调整的阈值方法来处理。算法如下

$$c^D(j, l, k) = \begin{cases} \frac{|c_0^D(j, l, k) - a|}{thr} c_0^D(j, l, k), & c_0^D(j, l, k) < thr \\ c_0^D(j, l, k), & c_0^D(j, l, k) \geq thr \end{cases} \quad (12)$$

式中:  $c_0^D(j, l, k)$  为阈值处理前的曲波系数;  $a$  为常量;  $c^D(j, l, k)$  为阈值处理后的曲波系数;  $thr$  为曲波系数的阈值。

假设外部设备取得的图像为  $C(x, y)$ , 高斯滤波函数为  $G(x, y)$ , 其标准差为  $\sigma$ , 算法进行如下步骤:

- 1) 将图像进行 Retinex 算法模型的对数变换, 分解为入射分量  $In(x, y)$  和反射分量  $Out(x, y)$ 。
- 2) 用高斯函数  $G(x, y)$  和图像  $C(x, y)$  卷积, 估计出入射分量  $In(x, y)$ 。
- 3) 通过对数域的相减, 之后再取指数, 得到反射分量  $Out(x, y)$ 。
- 4) 将得到的  $Out(x, y)$  进行曲波变换, 得到变换系数  $c_0^D(j, l, k)$ , 用式(12)对变换系数做自动变换处理, 实现了系数的自动调整。
- 5) 将处理后的曲波变换系数  $c^D(j, l, k)$  进行反变换, 恢复出所求的图像。

## 3 实验结果及分析

为了检验本文提出方法的优越性, 选取  $180 \times 180$  大小的雾天图像进行实验, 采用基于 Retinex 算法的曲波变换算法去雾, 对比了4种方法的去雾效果: 直方图变换(方法1)、Retinex 算法(方法2)、基于小波变换的雾天图像增强方法(文献[8]方法, 方法3)、小波基采用 sym4 母小波, 对图像进行四层小波处理, 基于神经网络的雾天图像清晰化处理方法(文献[9]方法, 方法4)。本文对处理后图像的评价分为主观评价和客观评价, 视觉效果作为其主观评价因素, 峰值信噪比(PSNR)和图像信息熵作为其客观评价因素。

PSNR 定义为

$$PSNR = 10 \lg \left( \frac{255^2}{MSE} \right) \quad (13)$$

$$MSE = \frac{1}{m \times n} [X(i, j) - Y(i, j)]^2 \quad (14)$$

式中:  $MSE$  为均方误差;  $X(i, j)$  为输出设备采集的原始图像;  $Y(i, j)$  为本文方法处理后的图像。

图像信息熵的定义

$$H(X) = - \sum_{i,j=1}^n p(i, j) \times \log p(i, j) \quad (15)$$

式中:  $p(i, j)$  为图像像素出现的概率。

图3是设备采集到的原始图像经过各种去雾方法后的效果比较图。从图3看出, 与传统的直方图方法、Retinex 算法和基于小波变换的雾天图像增强方法的去雾效果相比, 基于神经网络的雾天图像清晰化处理方法和本文提出的方法在去雾效果上有很大的提高。本文方法能够利用曲波变换的高度各向异性, 能保证在较低误差的基础上, 达到较为理想的图像数据精简性与精确性的统一, 使得去雾图像的边缘信息和图像特性更好地体现, 提高了视觉上的效果。

表1是不同图像去雾方法评价指标的比较。从表1可以看到, 与传统的直方图去雾方法和 Retinex 去雾方法相比, 文献[8]方法、文献[9]方法以及本文方法处理结果的信息熵有很大提高, 说明本文方法在视觉上的改善较明显, 损失的信息最少。相比前几种方法, 本文方法处理结果的峰值信噪比有了很大的提高, 说明本文方法较前几种去雾方法能更好地抑制噪声, 去雾效果更明显。

从各个算法的运行时间上来看, 直方图变换为 0.78 s, Retinex 算法为 2.03 s, 基于小波变换的雾天图像增强方法为 2.94 s, 本文方法为 3.849 s。虽然直方图变换算法用时最短, 算法复杂度低, 但是其信噪比和信息熵均

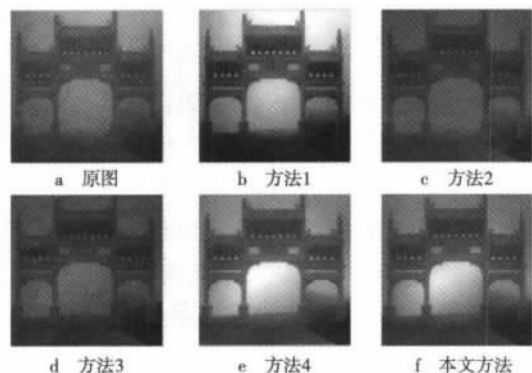


图3 雾天图像各种去雾方法的比较

表1 不同图像去雾方法评价指标对比

图像去雾方法	标准差	信噪比	信息熵
直方图变换	$1.266\ 9 \times 10^3$	17.103 5	5.960 9
Retinex 算法	$1.495\ 8 \times 10^3$	16.382 1	6.527 5
文献[8]方法	$1.297\ 4 \times 10^3$	17.000 0	6.788 2
文献[9]方法	$0.958\ 7 \times 10^3$	18.313 8	6.900 0
本文方法	$0.600\ 7 \times 10^3$	20.343 9	7.323 9

低于后几种算法,效果较差;而基于小波变换的雾天图像增强方法和本文方法在用时上相差不多,但在处理效果和图像的信噪比方面本文算法均优于其他算法。而由于基于神经网络的雾天图像清晰化处理方法虽然效果较好,但需要一定的样本训练时间,而且精度越高,需要的时间越长,故有一定的算法复杂度。所以本文算法在复杂度不是很高的情况下,使去雾效果更好。

## 4 结论

本文采用基于 Retinex 的曲波变换自动阈值算法来处理图像,利用曲波变换在恢复边缘和微弱线性及曲线结构上的优势,进一步提高了图像的可视效果和峰值信噪比。实验证明,该方法与直方图变换,Retinex 算法去雾及基于小波变换的雾天图像增强方法和基于神经网络的雾天图像清晰化处理方法去雾效果相比,处理后的图像边缘和纹理更加清晰,能够凸显图像中的目标区域,视觉效果良好,图像得到了整体增强。

## 参考文献:

- [1] 周卫星,廖欢.基于高频强调滤波和 CLAHE 的雾天图像增强方法[J].电视技术,2010,34(7):38-40.
- [2] 朱瑜辉,方滨,张会清.基于物理模型的雾霾天道路图像清晰化[J].计算机应用,2010,30(S1):156-158.
- [3] LAND E H. The Retinex theory of color vision[J]. Scientific American, 1977(237):108-128.
- [4] FUNT B, CIUREA F, MCCANN J. Retinex in Matlab[C]//Proc IS&T/SID English Color Imaging Conference. Scotland: IEEE Press, 2000: 112-121.
- [5] KIMMEL R, ELAD M, SHAKED D, et al. A variational framework for Retinex[J]. International Journal Computer Vision, 2003, 52(1):7-23.
- [6] 杨万挺.滤波器可变的 Retinex 雾天图像增强算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2010,22(6):965-971.
- [7] 汪荣贵,杨万挺.基于小波域信息融合的 MSR 改进算法[J].中国图象图形学报,2010,15(7):1091-1097.
- [8] 马云飞,何文章.基于小波变换的雾天图像增强方法[J].计算方法应用与软件,2011,28(2):71-72.
- [9] 王晶,郭蓉,孙兴波.基于神经网络的雾天图像清晰化处理[J].电视技术,2012,36(19):44-46.
- [10] 李春华,秦志英.图像的超小波稀疏表示[J].电视技术,2012,36(13):44-47.
- [11] CANDE S E J, DONOHO D L. Ridgelets: a key to higher-dimensional intermittency[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A, 1999, 357(1760):2495-2509.
- [12] CANDES E J, DONOHO D L. Recovering edges in ill-posed inverse problems optimality of curvelet frames[J]. Ann. Statist., 2002(30):840-842.
- [13] CAND S E J, DEMANET L, DONOHO D L, et al. Fast discrete curvelet transforms[J]. Multiscale Modeling and Simulation, 2005, 5(3):861-899.
- [14] 闫敬文,屈小波.超小波分析及应用[M].北京:国防工业出版社,2008:21-32.

## 作者简介:

林笑君(1988—),硕士生,主研图像处理;

梁凤梅(1969—),硕士生导师,主要研究方向为图像处理、图像通信、信号与系统等。

责任编辑:任健男

收稿日期:2013-03-26

(上接第154页)

- [12] REDDY B, CHATTERJI B N. An FFT-Based technique for translation, rotation, and scale-Invariant image registration[J]. IEEE Transactions on Image Processing and Remote Sensing, 1996, 5(8):1266-1271.
- [13] LUO J, OUBONG G. A comparison of SIFT, PCA-SIFT and SURF[J]. International Journal of Image Processing, 2009, 3(4):143-152.
- [14] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant key points[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.

## 作者简介:

梁玉敏(1988—),女,硕士生,主研数字图像处理、计算机视觉;

蔡晓东(1972—),硕士生导师,主要研究方向为数字图像处理、计算机视觉、模式识别;

张学敏(1987—),硕士生,主研模式识别、数字图像处理。

责任编辑:任健男

收稿日期:2013-03-25