

基于多尺度边缘提取的薄雾图像处理方法

杨 玲, 甄志明, 刘国红, 林德洋

(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)

摘 要: 雾天获取的图像, 掩盖了部分需要的真实信息. 针对这类图像, 给出了应用强化边缘的方法进行处理, 主要采用多尺度边缘提取方法获得图像边缘; 用小波阈值去噪法对图像进行消噪处理; 为了避免传统方法产生的块状现象, 最后用三次样条插值对图像进行平滑处理.

关键词: 边缘提取; 多尺度分析; 小波阈值去噪; 三次样条插值; 直方图均衡化

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2014)05-0094-05

Mist Image Processing Method of Basing on Multi-scale Edge Extraction

YANG Ling, ZHEN Zhi-ming, LIU Guo-hong, LIN De-yang

(School of Measurement-control Technology and Communications Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China)

Abstract: The real information needed in the mist image has been covered. The method of reinforced the edges has been used for processing the mist image. The image edge is obtained mainly by using the multi-scale edge extraction method, using wavelet threshold denoising method for the image; finally using 3-spline interpolation to smooth and remove possible lump phenomena in order to avoid creating massive phenomenon by the traditional method.

Key words: edge extraction; multi-scale wavelet analysis; threshold denoising; 3-spline interpolation; histogram equalization

0 引 言

薄雾图像是指图像由烟、尘等悬浮微粒散射太阳光而形成的浑浊图像. 烟、尘等悬浮微粒构成了霾, 这是一种非常常见的天气现象, 只要距离足够远, 在任何季节都会出现霾. 因此, 想要得到远处的清晰景物图像, 需要研究去除薄雾的技术. 薄雾图像对于人类生活有着很大的影响, 在军事上的影响更是不容忽视. 在军事上主要应用人造视觉系统(syn-

thetic vision systems, SVS)^[1-2]来处理雾天的浑浊图像, 以获得较为清晰的图像. 但是这种系统非常复杂. 对雾霾天气获得的模糊图像的处理方式一般采用滤掉图像噪点的方法, 但是对图像噪点的滤除会把图像的有用部分也去掉了, 还会导致图像模糊. 为了能将图像中的真值保留最多, 需要选择适当的方法对图像的真值进行增强.

对于雾霾天气下获得的图像的处理, 一般采用的方法分为物理模型法^[3]和图像增强法. 物理模型法以大气对成像退化的机理为基础, 利用复原技术

收稿日期: 2014-03-21

作者简介: 杨 玲(1962—), 女, 副教授, 硕士研究生导师, E-mail: lindaleg9@126.com;

甄志明(1983—), 男, 硕士研究生;

刘国红(1988—), 男, 硕士研究生.

对图像进行复原实现图像的去雾并将图像还原. 而图像增强法则是以图像对比度为核心, 通过增强图像的对比度来实现去除雾影响, 如直方图均衡化^[4], Retinex 理论^[5-6]. 多尺度边缘提取是一种有效的边缘检测方法, 根据梯度在边缘处的响应及不同尺度的梯度的有机结合得到一种新的边缘特征定义^[7-10]. 针对薄雾图像存在大量噪声成分, 使图像清晰度和对比度下降的问题, 本文给出了一种新的处理方法, 即应用多尺度边缘提取法对薄雾图像进行边缘检测; 再用小波阈值去噪法对图像进行消噪处理; 为了避免传统方法产生的块状现象, 最后用三次样条插值对图像进行平滑处理, 实现薄雾图像的清晰化.

1 基本原理

1.1 图像边缘提取

图像的多尺度边缘提取法^[11-13]是: 首先, 对原图像进行多尺度平滑, 然后求解处理图像的一阶和二阶导数, 最后通过导数特征检测突变点

设 $\theta(x)$ 满足:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \theta(x) dx = 1, \lim_{x \rightarrow \infty} \theta(x) = 0 \quad (1)$$

则称 $\theta(x)$ 为平滑函数. 一般这里选用高斯核函数.

由于平滑函数低频权重高, 具有低通滤波作用, 原信号的高频成分在与平滑函数卷积时被抑制, 因此实现了信号平滑.

如果

$$\psi^1 = \frac{d\theta(x)}{dx} \quad \psi^2 = \frac{d^2\theta(x)}{dx^2} \quad (2)$$

令

$$W^1 f(s, x) = f^* \psi_s^1(x) \quad W^2 f(s, x) = f^* \psi_s^2(x) \quad (3)$$

$$\text{那么 } W^1 f(s, x) = f^* \left(s \frac{d\theta_s}{dx} \right) (x) = s \frac{d}{dx} (f^* \theta_s) (x)$$

$$W^2 f(s, x) = f^* \left(s^2 \frac{d^2\theta_s}{dx^2} \right) (x) = s^2 \frac{d^2}{dx^2} (f^* \theta_s) (x) \quad (4)$$

$f(x)$ 经 $\theta_s(x)$ 平滑后的一阶导数与小波变换 $W^1 f(s, x)$ 函数成正比, 函数 $f(x)$ 经 $\theta_s(x)$ 平滑后的二阶导数与 $W^2 f(s, x)$ 成正比. 理论上, 函数 $f(x)$ 拐点位置的一阶, 二阶导为 0, 三阶导不为 0 的同时, 二阶导 0 点左右两侧导数异号. 为了检测到大结构处的信号, 就取大一些的尺度 s , 并让 $f(x)$ 与 $\theta(x)$ 做卷积, 消除掉微小的信号波动. 对小波变换后的图像

进行最大值检测得到的局部极值点就是图像中的边缘点.

在这个过程中, 在小波函数作用后, 相当于对平滑函数进行一阶求导. 然后利用小波多尺度变换后信息来确定边缘点, 这种每个尺度做小波变换的方法叫做多尺度边缘检测.

假设图像 M 具有 $N \times N$ 个像素, 即 $M = \{d_{m,n}\}_{1 \leq m, n \leq N}$, 在 $J = \log_2 N + 1$ 个尺度上对图像 M 进行分解, 也就是取尺度 $s = 2^j, 1 \leq j \leq J$. 选择 $\theta(x, y)$ 为高斯函数, 则 $\theta(x, y)$ 二阶可导

$$\varphi^1(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x}; \varphi^2(x, y) = \frac{\partial^2 \theta(x, y)}{\partial y^2} \quad (5)$$

$\varphi^1(x, y)$ 与 $\varphi^2(x, y)$ 为二维小波函数, 要得到以下的二进小波函数需要分别对 $\varphi^1(x, y), \varphi^2(x, y)$ 进行 2^j 离散化

$$\psi_{2^j}^1(x, y) = \frac{1}{2^j} \varphi^1\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \quad \psi_{2^j}^2(x, y) = \frac{1}{2^j} \varphi^2\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \quad (6)$$

取尺度为 2^j , 可以得到离散二进小波变换, 根据二维离散小波变换的快速算法可得

$$W_{2^j}^1 f(x, y) = f^* \psi_{2^j}^1(x, y) \quad W_{2^j}^2 f(x, y) = f^* \psi_{2^j}^2(x, y) \quad (7)$$

同时, 梯度向量为

$$\begin{bmatrix} W_{2^j}^1 f(x, y) \\ W_{2^j}^2 f(x, y) \end{bmatrix} = s \vec{\nabla} (f^* \theta)(x, y) \quad (8)$$

$W_{2^j}^1 f(x, y)$ 表示图像 x 方向的偏导, $W_{2^j}^2 f(x, y)$ 便是图像 y 方向的偏导.

小波变换在尺度 2^j 的模为

$$M_{2^j} f(x, y) = \sqrt{|W_{2^j}^1 f(x, y)|^2 + |W_{2^j}^2 f(x, y)|^2} \quad (9)$$

其幅角为

$$A_{2^j} f(x, y) = \arctan \frac{W_{2^j}^1 f(x, y)}{W_{2^j}^2 f(x, y)} \quad (10)$$

梯度向量 $s \vec{\nabla} (f^* \theta)(x, y)$ 的模和小波变换 $M_{2^j} f(x, y)$ 是正比关系, 小波变换的幅角 $A_{2^j} f(x, y)$ 是 $s \vec{\nabla} (f^* \theta)(x, y)$ 与水平方向之间的夹角, 由于图像边缘的方向就是幅角的方向, 图像的边缘, 可以通过梯度向量 $s \vec{\nabla} (f^* \theta)(x, y)$ 的模的局部极大值确定. 原信号的突变点被定义为小波变换模的局部极大值点, 该突变点所在的位置即为图像边缘. 因此, 图像边缘的检测实际上是二进小波变换模的局部极大值的检测, 要检测的图像的边缘点就是 $M_{2^j} f(x, y)$ 在沿着幅角 $A_{2^j} f(x, y)$ 方向的局部极大值 $P_{2^j}(x, y)$

$$P_{2^j}(x, y) = \max_{x, y} |M_{2^j} f(x, y)| \quad (11)$$

边缘图为二值图像,其中非边缘部分为0.

对于图像边缘的提取,采用多尺度边缘检测法.对边缘检测的结果起着决定因素的是适当尺度的选择.选择小尺度,定位精准些,但是对于噪声,小尺度敏感;选择太大尺度,抑制噪声相对比小尺度要好的多,但是定位准确性不够好,会得不到图像边缘的细节,为了既能有效的抑制噪声,又能对大结构弱边界达到较好的检测效果,本文在尺度的选择上采用适当的大尺度.然而在实际过程中,要想达到既很好的抑制噪声,又提高定位的精度,且对弱边界具有增强效果,只使用单一的边缘检测算子是远远不够的.因此,本文采用将多个分辨率的边缘检测算子进行组合的方法来对源图像进行卷积,采用这种方法的优点是既能减少噪声对图像影响,又能提高边缘检测的定位精度.在时频两个空间中,小波分析以其较强的多尺度分析能力、较优的灵活应用性而得到广泛的应用,因此本文首先采用小波变换多尺度分析的方法构造边缘检测算子,然后在边缘检测基础上利用多尺度边缘融合技术获取边缘信息,具体步骤如下:

1) 设定边缘检测的尺度.首先,通过小波变换对图像进行处理,生成噪声逐渐减少,边缘逐渐增强的多尺度图像.然后确定多尺度的最大和最小尺度.在图像中,噪声对应高频信息,而边缘也是图像中的高频信息.如果在最小尺度图像中,噪声信息与边缘信息重合,此时最小尺度无效,需重新选取.在最大尺度图像中,由于尺度较大,图像中的噪声基本上被去除,若在去除噪声的同时,图像中边缘信息也被去除,即边缘信息存在失真,则此时最大尺度也是无效的,也需重新选取.

2) 边缘检测.为了提高边缘检测的准确度,本文首先将小波变换模的局部极大值点与图像边缘的待选点进行一一对应.然后对边缘的相关系数进行正则化处理,若该点的梯度向量的模小于边缘相关系数,则该点为边缘信息点.否则,不是边缘信息点.

3) 多尺度边缘融合.根据多尺度边缘特性,本文首先确定具有稳定边缘的大尺度图像边缘点,然后在大尺度边缘点周围寻找小尺度边缘,最后,将关联的变换进行融合形成大尺度边缘.

1.2 小波阈值去噪

滤波的方法消除噪声有很多种,非常有效的一种去噪方法是小波阈值去噪^[4].图像的噪声表现为不平滑,且在灰度间存在明显突变现象.在雾天的图像中,噪声现象尤其明显.因此,在薄雾图像处理中

非常重要的一个环节就是噪声处理.现有的噪声去除方法主要可以分为空域和时域两大类.在空域中比较常见的有均值滤波、极值滤波和中值滤波等.这类方法主要是通过一个卷积核来对图像进行平滑操作.这类方法的优点是速度快,缺点是在滤除噪声的同时,也滤除了图像中的边缘信息.而基于频域的去噪方法主要是选择一个低通滤波器来对图像的高频信息进行滤除.小波去噪的方法与上述两种方法不同,该方法是首先对图像进行小波变换变换到小波域,然后在小波域设置一个阈值来对图像进行萎缩处理,最后再将图像逆变换到空域从而获取去噪后的图像.该方法的优点是:在图像处理的过程中,利用小波变换本身具有的一些性质对去噪过程进行优化,使图像达到更好的效果.根据小波变换的特点,选择小波方法去噪.

在薄雾图像处理中,边缘点与其邻域内的点有很强的相关性,而噪声点基本上是孤立的奇异点.在多尺度空间中,小尺度图像中边缘点的定位精确度较高,随着尺度的增大,在去除噪声的同时,边缘点的定位精确度也随之下降.只有在多尺度下,边缘的幅度才能大于噪声的幅度,且边缘的多尺度分析向量梯度方向才能与模的极大值方向相一致.相邻的边缘点才能构成边缘线,而噪声则成为孤立的奇异点,这就为小波阈值去噪提供了很好的理论依据^[5,16-17].

小波阈值去噪法分为以下几步:

1) 将设定的阈值和小波分解后的各层系数的模进行比较,然后对这些系数进行处理.

2) 通过处理后的小波系数还原出去噪后的图像.由小波分析的相关原理可知,高斯噪声在经过小波变换后,其在相空间是均匀分布.而对于实际的薄雾图像而言,由于其本身所具有的局限性,其在相空间的分布是局域化的.

小波阈值去噪的核心和关键是阈值的选取以及阈值的调整,即如何在小波域上选取合适的阈值,以及如何根据条件的变化适当的调整阈值.在小波阈值去噪中,阈值选取的精准与否将直接决定算法的效果和去噪后图像的质量.式(12)为一种比较常用的阈值估计方法^[18-19].

$$th = \sqrt{2\sigma \log N} \quad (12)$$

式中: σ 和 N 分别表示噪声方差和图像的像素点个数; th 为阈值.

确定图像噪声量值是本文方法的重要一步,但由于噪声量值未知,需要对其进行估算.式(13)提

出了一种噪声方差的估计方法.

$$\hat{\sigma} = \frac{MAD}{0.6475} \quad (13)$$

其中 MAD 为精细尺度上小波系数的中值, 对应的阈值为

$$\hat{t}_n = \gamma_1 \hat{\sigma} \sqrt{2 \log N} \quad (14)$$

这里给出一种新的噪声量级估计方法, 即利用小波第一级分解中的对角细节的小波系数标准差为判据, 计算图像中噪声中的标准差. 相关实验研究表明当 $\hat{\sigma} = 3$ 时, 该方法效果较好, 既保留了较多的边缘细节又较好的去除了噪声.

1.3 三次样条插值

三次样条插值(简称 Spline 插值)是通过一系列形值点的一条光滑曲线.

函数 $S(x) \in C_2[a, b]$, 且在每个小区间 $[x_j, x_{j+1}]$ 上是三次多项式, 其中 $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n$ 是给定节点, 则称 $S(x)$ 是节点 $x_0, x_1, \dots, x_n$ 上的三次样条函数. 若在节点 x_j 上给定函数值 $y_j = f(x_j)$ ($j = 0, 1, \dots, n$), 并成立 $S(x_j) = y_j$ ($j = 0, 1, \dots, n$), 则称 $S(x)$ 为三次样条插值函数^[24].

通过三次样条插值, 可对像素分布进行扩大的同时, 由于三次样条插值函数采用低阶多项式拟合数据, 最大限度的避免了通过高阶多项式拟合时所引入的误差.

2 基于多尺度边缘提取的薄雾图像处理方法的基本流程

本文给出的基于多尺度边缘提取的薄雾图像处理的流程如图 1 所示. 主要操作步骤为

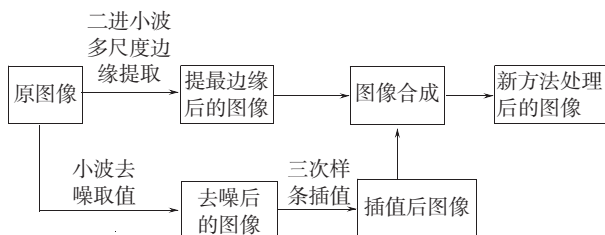


图 1 基于多尺度边缘提取的薄雾图像处理方法流程图

1) 将源图像 I 进行二进小波多尺度边缘提取, 获得提取的边缘图像 I_1 .

2) 对源图像进行小波阈值去噪, 尽量去除图像中薄雾的噪点, 得到图像 I_2 .

3) 进行三次样条插值, 以平滑图像, 避免图像中产生块状现象, 得到图像 I_3 .

4) 将 I_1 和 I_3 进行图像融合操作, 调整对比度, 获得最终处理结果 I_4 .

3 实验结果

图 2 为原始薄雾图像, 图 3 为传统的直方图均衡化方法对图像处理的结果, 图 4 为本文给出的基于多尺度边缘提取的薄雾图像处理的结果.



图 2 原始薄雾图像



图 3 直方图均衡化方法结果



图 4 基于多尺度边缘提取的薄雾图像处理结果

从主观上判断图像的处理的效果, 可以看出处理后的图像图 3 与图 4 与原始薄雾图像图 2 相比清晰度提高了, 而且图 4 效果明显要好于图 3, 在图像中可以明显的看到图 4 的远处景物, 可以看到窗户的轮廓, 而且楼上面的字体清晰, 而图 3 中远处的窗户看不清. 很显然本文采用的基于多尺度边缘提取的薄雾图像处理的方法要优于直方图均衡化的方法.

4 图像质量客观评价

从视觉上感知图 4 的质量比较满意, 下面用客观评价方法来对图像进行评价. 客观评价图像质量

的方法有很多,这里给出峰值信噪比(peak signal-noise ratio) PSNR 和信息熵(SNR) 法对图像质量进行评价的结果,如表 1 和表 2 所示.

表 1 峰值信噪比结果

	PSNR/dB
小波去噪后	65.368 7
直方图均衡化	70.206 9
本文方法	81.729 0

表 2 信息熵(SNR) 结果

	信息熵/bit
源图像	5.356 5
小波去噪后	5.562 7
直方图均衡化	4.952 2
本文方法	5.937 6

利用本文提出方法计算处理的结果与直方图均衡化处理的结果相比,峰值信噪比提高 16.41%.

图像处理,直方图均衡化处理的结果与原图像相比,信息熵降低 7.55%,而利用本文方法得到的图像与原图像比较,信息熵提高 10.85%,而本文给出的方法得到的图像处理结果与直方图均衡化的图像处理结果相比,信息熵提高 19.90%.

5 结 语

采用多尺度边缘提取法对薄雾图像进行处理的优点在于对图像边缘的提取既有效抑制了噪声又实现了边缘的精确定位,使用小波阈值去噪方法以及采用三次样条插值对图像进行平滑处理,恢复了一些在去噪的过程中失去的边缘点,图像的清晰程度得以增强,并避免了直方图均衡化的块状现象的出现.从直观视觉上和客观评价上可以看出,采用多尺度边缘提取法对薄雾图像进行处理,能够提高处理图像的清晰度,且所处理的图像没有明显块状现象.

参 考 文 献:

- [1] BURGESS M A, HAYES R D. Synthetic Vision-a view in the fog [J]. Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, 1993, 8(3): 6-13.
- [2] 林小青. 合成视景中地形仿真与实现 [J]. 现代电子技术, 2012, 35(7): 164-169.
- [3] 黄黎红. 退化图像的去雾方法 [J]. 红外与激光工程, 2010, 39(5): 985-988.
- [4] 吴强,王新赛,贺明,等. 一种结合小波分析与直方图的红外图像增强方法 [J]. 应用光学, 2011, 32(3): 464-467.
- [5] JIAO Jichao, ZHAO Baojun. A New Space Image Enhancement Approach Based on Image Registration [C] //International Conference on Signal Processing Proceedings, 2010: 789-792.
- [6] 储昭辉,汪荣贵,方帅. 基于 Retinex 理论的小波域雾天图像增强方法 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(15): 175-179.
- [7] 何胡军,王秋语,程会明. 多尺度边缘检测技术的分类及比较 [J]. 计算机工程与科学, 1998, 25(3): 11-15.
- [8] 袁修贵,龚正,孟正中. 基于边缘方向性的小波边缘检测算法 [J]. 计算机工程与科学, 2010, 32(3): 49-51.
- [9] 王华华,朱冰莲,易向阳,等. 基于图像抽取和小波变换的压缩方法 [J]. 计算机仿真, 2008, 56(1): 82-87.
- [10] 杨泽仟,刘广琪,吴永国,等. 基于小波变换的图像边缘检测匹配算法 [J]. 微计算机信息, 2010, 26(4-1): 117-119.
- [11] WU Guifang, HE Yong Source. Application of Wavelet Threshold Denoising Model to Infrared Spectral Signal Processing [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(12): 3246-3249.
- [12] VAMOS Calin, CRACIUN Maria. Separation of Components from a Scale Mixture of Gaussian White Noises [J]. Physical Review E-Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics, 2010, 81(5): 93-97.
- [13] 潘建平,明飞雄,左志进. 一种改进的小波变换图像融合方法 [J]. 测绘, 2009, 25(2): 65-71.
- [14] KILEIN Randall W, TEMPLE Michael A, MENDENHALL Michael J. Application of Wavelet Denoising to Improve OFDM-based Signal Detection and Classification [J]. Security and Communication Networks, 2010, 3(1): 71-82.
- [15] 陈鲁宁,丁宁. 小波分析与信号的奇异性检验 [C] // 2004 中国控制与决策学术年会论文集, 2004: 156-162.
- [16] 迟健男,张闯,张朝晖,等. 基于反对称双正交小波重构的图像增强方法 [J]. 自动化学报, 2010, 27(4): 15-19.
- [17] XU Xin, TIAN Fengchun, JI Yanli, et al. Noise Variance Estimation Based on Inter-scale Correlation of Image Coefficient of Wavelet Transform [J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(10): 2674-2677.
- [18] 唐娅琴. 几种图像平滑去噪方法的比较 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, 31(11): 125-128.
- [19] ZHENG hong-huang, LI Xia. Image Denoising for Adaptive Threshold Function Based on the Dyadic Wavelet Transform [C] //2009 International Conference on Electronic Computer Technology, 2009: 147-150.
- [20] FAN Jianhua, PETERS Jörg. Smooth Bi-3 Spline Surfaces with Fewest knots [J]. CAD Computer Aided Design, 2011, 43(2): 180-187.

(编辑: 温泽宇)