

基于自适应均值的图像滤波算法

魏彦

(深圳职业技术学院, 深圳 518055)

摘要: **目的** 为了提高激光三维成像系统中的图像质量, 有效滤除图像中噪声, 提出一种自适应均值漂移的图像滤波算法。**方法** 在传统算法基础上对均值漂移滤波算法进行改进, 选取领域内像素的均方差为控制参量对带宽矩阵 h 大小进行自适应调控。根据带宽矩阵 h 的大小, 选择合适的像元值参与到计算均值过程中, 以提高结果的计算精度。**结果** 实验结果表明改进后的算法能够有效滤除图像中的噪声, 提高图像清晰度。**结论** 该算法具有良好的保边去噪特性。

关键词: 激光三维成像系统; 噪声; 自适应均值漂移

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)13-0204-04

Image Filtering Algorithm Based on an Adaptive Mean

WEI Yan

(Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

ABSTRACT: The work aims to enhance the image quality of the laser three-dimensional imaging system, effectively filter out noise in the image, and propose a filtering algorithm for adaptive mean shift. The mean shift filtering algorithm was improved based on the traditional algorithm. The mean square error of pixels within the area was selected as the control parameter for adaptive control of the size of bandwidth matrix h . According to the size of the bandwidth matrix h , the appropriate pixel element value was selected to participate in the process of calculating the mean, so as to improve the computational accuracy of results. The experimental results showed that the improved algorithm could effectively filter out noise in the image and improve the image clarity. The proposed algorithm has good edge-preserving and denoising characteristics.

KEY WORDS: three-dimensional laser imaging system; noise; adaptive mean shift

激光三维成像系统因其具有高帧频、体积小、稳定性高等优点, 从而在激光成像中得到了广泛应用^[1-3]。在激光三维成像系统存在着各种噪声, 导致图像不可避免地受多种噪声信号干扰, 从而严重影响了激光三维成像系统的距离像精度^[4-7]。为了取得更高的距离像精度, 可以对激光三维成像系统中的一些参数进行适当调整, 从而提高距离像精度, 提高图像质量^[8-12]。这些参数受到 CCD 的动态范围、高压调制电路带宽等因素的限制, 不能随意进行调整, 因此在信噪比较低时, 获得的图像虽然能够看清, 但图像由于受到噪声的影响清晰度大打折扣。在无法通过调整成像系统的参数来提高图像质量的情况下, 尝试通过图像噪声滤波算法进行处理, 其中小波变换法、多小波变换以及轮廓波等变换域方法被有效应用到图

像去噪中^[13-15]。激光成像系统中图像噪声空间并不是均匀分布的, 上述这些算法对于空间并没有自适应性。

Comaniciu 等^[16]提出了一种均值漂移图像滤波方法, 该方法不需要任何先验知识, 完全采用特征空间中的样本点进行分析。文中在此基础上提出一种自适应均值漂移的图像滤波算法。根据带宽矩阵 h 的大小, 选择合适的像元值参与到计算均值的过程中, 以提高结果的计算精度, 最后通过仿真实验验证该方法的有效性。

1 激光三维成像系统以及噪声的产生

激光器发射光功率为 P , 脉冲宽度为 τ , 束散角

收稿日期: 2017-02-17

作者简介: 魏彦 (1977—), 女, 硕士, 深圳职业技术学院讲师, 主要研究方向为计算机图形图像处理、嵌入式系统设计。

为 θ , 反射率为 ρ 。聚焦到像平面的回波光功率密度为:

$$p_r = \frac{P\gamma_e\gamma^2\gamma_r\rho D^2}{8\pi f^2 R^2 \theta^2} \quad (1)$$

式中: γ 为大气透过率, $\gamma = \exp\left[-\int_0^R \sigma(r)dr\right]$, 其中 $\sigma(r)$ 为大气消光系数; γ_e 为发射光学系统效率; γ_r 为接收光学系统效率; D 为孔径; f 为焦距; R 为目标接收机之间的距离。

设阴极上和 CCD 一个像元对应的面积为 $\Delta x\Delta y$, 则光电子个数为:

$$n_e = \frac{p_r \tau \Delta x \Delta y \eta_e}{h\nu} = \frac{P\tau\gamma_e\gamma^2\gamma_r\rho D^2 \Delta x \Delta y \eta_e}{8\pi f^2 R^2 \theta^2 h\nu} \quad (2)$$

式中: ν 为激光平均频率; $h\nu$ 为光子能量; η_e 为光电阴极量子效率。

光电阴极上光电子数涨落噪声为:

$$N_e = \sqrt{n_e} = \sqrt{\frac{P\tau\gamma_e\gamma^2\gamma_r\rho D^2 \Delta x \Delta y \eta_e}{8\pi f^2 R^2 \theta^2 h\nu}} \quad (3)$$

因此可以得到输入信号光电子数的信噪比为:

$$SNR_m = \frac{n_e}{N_e} = \sqrt{\frac{P\tau\gamma_e\gamma^2\gamma_r\rho D^2 \Delta x \Delta y \eta_e}{8\pi f^2 R^2 \theta^2 h\nu}} \quad (4)$$

由此可得光电子散粒噪声为:

$$N_{\text{shot}} = \eta_m \eta_p \eta_c K \alpha \sqrt{F n_e} \quad (5)$$

式中: η_m 为量子检测效率; η_p 为量子转换效率; η_c 为 CCD 的量子效率。

2 自适应均值漂移图像滤波算法

均值漂移算法通过对空间样本点中密度较大的区域不断地进行搜索^[17], 见图 1。搜索方向沿着样本密度增加方向移动, 最终移动到局部密度最大的点上。

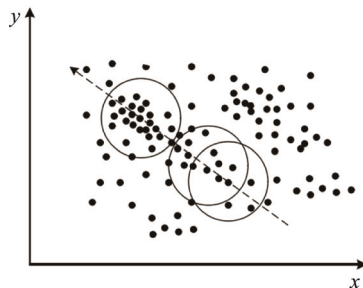


图 1 均值漂移算法原理
Fig.1 Mean shift algorithm

x 的模为 $\|x\|^2 = x^T x$, R 为实数域。如果一个函数 $K: R_d \rightarrow R$ 存在一个轮廓函数 $k: [0, \infty] \rightarrow R$, 即:

$$K(x) = c_k k(\|x\|^2) \quad (6)$$

式中: c_k 为大于 0 的常数; $k(x)$ 满足 $\int k(x)dx < 0$ 。

$K(x)$ 为核函数, 则密度函数的核密度估计式为:

$$f(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_H(x - x_i) \quad (7)$$

$$K_H(x) = |H|^{-1/2} K(H^{-1/2}x) \quad (8)$$

令 $H = h^2 I$, 则可将密度函数进行简化:

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right) \quad (9)$$

$$f(x) = \frac{c_k}{nh^d} \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right) \quad (10)$$

对上述密度函数进行梯度化处理可得:

$$\nabla f(x) = \frac{2c_k}{nh^{d+2}} \sum_{i=1}^n (x - x_i) k'\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right) \quad (11)$$

设 $g(x) = -k'(x)$, $G(x) = c_k g(\|x\|^2)$, $G(x)$ 为 $K(x)$ 的阴影函数。

$$\begin{aligned} \nabla f(x) &= \frac{2c_k}{nh^{d+2}} \sum_{i=1}^n (x - x_i) g\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right) = \\ &= \frac{2c_k}{nh^{d+2}} \left[\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right) \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right)} - x \right] \right] \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{式中: } M_h(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right)} - x \text{ 为均值漂移向}$$

$$\text{量; } m_h(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right)} \text{ 为采样点的加权平均值。}$$

均值漂移算法的具体步骤见图 2。

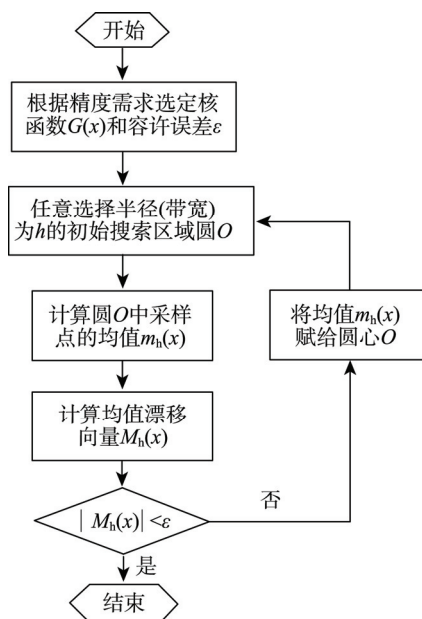


图 2 均值漂移算法流程
Fig.2 Flow chart of mean shift algorithm

激光三维距离像中噪声的分布随着空间分布的变化而变化,为此将上述算法再进行改进,以提高该算法的自适应性。文中采用渐进积分均方差 (AMISE) 来获取带宽矩阵 $\mathbf{h}$, 具体公式如下:

$$\mathbf{h} = \left(\frac{4}{p+2} \right)^{\frac{1}{p+4}} m^{\frac{-1}{p+4}} \sigma_j \quad (13)$$

式中: p 为特征空间的纬数; m 为数据量; σ_j 为标准差, $\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (u_i - u)^2}$, $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ 为图像各像素的颜色数值; u 为其平均值。当邻域方差较大时,则表明噪声很大,此时将 $\mathbf{h}$ 增大,使更多的像素参入到均值计算中,从而大大提高计算精度。当邻域方差较小时,则表明噪声很小,此时适当减小 $\mathbf{h}$, 此时选择少量的像元值参与到均值计算中,从而可以提

高算法的运算速度。

3 实验与分析

为了验证该方法在激光三维图像中的去噪效果,将文中方法与几种传统的图像滤波算法 (均值滤波、中值滤波、小波滤波算法) 进行仿真对比,仿真结果见图 3。由图 3 能够看出均值滤波以及中值滤波算法虽然能够在一定程度上滤除图像中的噪声,但图像中的细节和边缘也被平滑掉了,图像整体看起来比较模糊。小波算法虽然能够较好地保留图像的细节和边缘信息,但图中噪声处理不完整。相比其他几种方法自适应均值滤波方法下的图像去噪效果更好,图像中的噪声基本被完全滤除,此外原图像中的细节和边缘也能够很好地被保留。

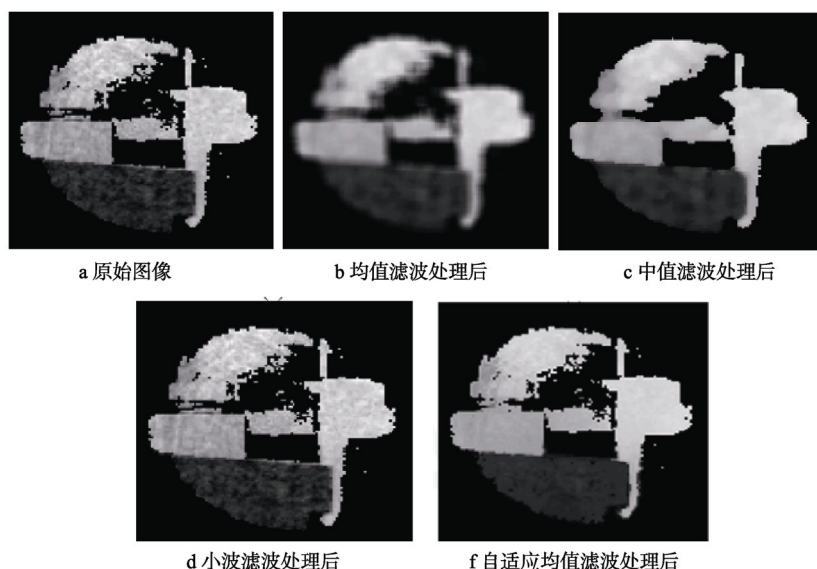


图 3 不同方法下激光三维图像去噪结果

Fig.3 Laser three dimensional image denoising results under different methods

为了进一步说明文中方法的有效性,通过计算图 3 中不同区域经过不同滤波算法处理后的均方根,由该参数比较不同算法在处理图像中的能力,计算结果见表 1。由表 1 可知,文中提出的滤波算法的图像去噪效果最好。

表 1 不同区域均方根
Tab.1 Root mean square

区域	均值滤波	中值滤波	小波滤波	文中滤波
I	0.22	0.21	0.76	0.14
II	0.33	0.34	0.87	0.13
III	0.47	0.41	1.21	0.23
IV	0.56	0.54	1.20	0.44

4 结语

为了有效滤除激光三维图像中的噪声,提高图像

清晰度,提出了一种具有自适应性的均值漂移滤波算法。对邻域内的像素的均方差作为控制参量对带宽矩阵 $\mathbf{h}$ 大小进行了自适应调控。根据带宽矩阵 $\mathbf{h}$ 的大小,选择合适的像元值参与到均值计算过程中,从而提高了滤波算法的准确性。对比实验说明,文中所提出的自适应均值漂移滤波算法相比传统的几种图像滤波算法,能够更有效地滤除图像中的噪声,同时能够很好地保留原始图像的细节和边缘。

参考文献:

- [1] 赵远, 蔡喜平, 陈锺贤, 等. 成像激光雷达技术概述[J]. 激光与红外, 2000, 30(6): 328—330.
ZHAO Yuan, CAI Xi-ping, CHEN Zhong-xian, et al. Overview of Imaging Laser Radar Technique[J]. Laser & Infrared, 2000, 30(6): 328—330.

- [2] 徐效文, 郭劲, 于前洋, 等. 激光距离选通成像关键技术[J]. 激光技术, 2003, 27(6): 603—605.
XU Xiao-wen, GUO Jin, YU Qian-yang, et al. Key Technique of Laser Range Gated Imaging[J]. Laser Technology, 2003, 27(6): 603—605.
- [3] ZHANG X, YAN H, JIANG Y. Pulse-shape-free Method for Long-Range Three Dimensional Active Imaging with High Linear Accuracy[J]. Opt Lett, 2008, 33(11): 1219—1221.
- [4] 赵远, 许元男, 靳辰飞, 等. 无扫描脉冲成像激光雷达灵敏度方程[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(1): 62—65.
ZHAO Yuan, XU Yuan-nan, JIN Chen-fei, et al. Sensitivity Equation of Scannerless Pulse Imaging Lidar[J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(1): 62—65.
- [5] 李琦, 王永珍, 王骥, 等. 相干激光雷达距离像的噪声抑制算法研究[J]. 光学学报, 2005, 25(5): 581—584.
LI Qi, WANG Yong-zhen, WANG Qi, et al. Noise Suppression Algorithm of Coherent Ladar Range Image[J]. Acta Optica Sinica, 2005, 25(5): 581—584.
- [6] FASHING M, TOMASI C. Mean Shift Is a Bound Optimization[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(3): 471—474.
- [7] DONG Y Q, XU S F. A New Directional Weighted Median Filter for Removal of Random-Valued Impulse Noise[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2007, 14(3): 193—196.
- [8] BUADES A, COLL B, MOREL J M. A Non-Local Algorithm for Image Denoising[J]. Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005: 60—65.
- [9] DUSSAULT D, HOESS P. Noise Performance Comparison of ICCD with CCD and EMCCD Cameras[J]. Proc SPIE, 2004, 5563: 195—204.
- [10] CHEN Qiang, ZHENG Yu-hui, SUN Quan-sen, et al. Patch Similarity Based Anisotropic Diffusion for Image Denoising[J]. Journal of Computer Research and Development, 2010, 47(1): 33—42.
- [11] YANG Na, CHEN Hou-jin, LI Yan-feng, et al. Coupled Parameter Optimization of Pcn Model and Vehicle Image Segmentation[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2012, 12(1): 48—54.
- [12] DENVER D J, CONROY E. Electron Multiplying CCD Technology: The New ICCD[J]. Proc SPIE 2003, 4796: 164—174.
- [13] SUN Wei-feng, PENG Yu-hua. An Improved Non-Local Means De-Noising Approach[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(4): 923—928.
- [14] 刘金梅, 杨力, 罗迟星. 基于数学形态学和小波融合的红外图像去噪[J]. 弹箭与制导学报, 2010, 30(5): 73—75.
LIU Jin-mei, YANG Li, LUO Chi-xing. Infrared Image De-noising Based on Mathematical Morphology and Wavelet Fusion[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2010, 30(5): 73—75.
- [15] WANG Bo, PAN Quan. Soft-threshold Histogram Weighted Filtering with Correlativity for High Density Salt-pepper Noise Images[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(7): 1347—1351.
- [16] CHENG Y. Mean Shift Mode Seeking and Clustering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790—799.
- [17] WANG Zhi-ming, ZHANG Li. An Adaptive Fast Non Local Image Denoising Algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(4): 669—657.