

文章编号: 1001-3806(2015)05-0697-05

一种高分辨率 3 维图像的自适应降噪算法

向志聪, 张程潇, 白玉磊, 赖文敬, 王钦若, 周延周*

(广东工业大学 自动化学院, 广州 510006)

摘要: 为了获得高保真 3 维图像, 采用了一种针对高分辨率 3 维图像的自适应均值降噪算法。首先使用一种由激光器、高分辨率 3 维相机、直线电机和计算机等设备组成的线激光高精度 3 维测量实验系统对自然纹理皮革进行测量。然后针对系统测量所得的高分辨率 3 维自然纹理图像(每英寸点数大于 1000), 进行了理论分析和实验验证, 取得了降噪后的高保真 3 维图像数据, 并与传统的均值滤波、小波变换滤波的降噪效果进行对比。结果表明, 该算法能自动选取最优的降噪窗口, 有效地去除 3 维图像的噪声信息, 并保留高分辨率图像丰富的边缘、细节信息, 最终得到高保真的高分辨率 3 维自然纹理图像。该实验结果对于高分辨率图像的降噪问题是十分有帮助的。

关键词: 图像处理; 高保真 3 维图像; 自适应均值降噪; 高分辨率; 线激光; 3 维测量

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2015.05.024

Adaptive filtering algorithm for high resolution 3-D images

XIANG Zhicong, ZHANG Chengxiao, BAI Yulei, LAI Wenjing, WANG Qinruo, ZHOU Yanzhou

(Department of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In order to obtain high-fidelity 3-D images, an adaptive mean filtering algorithm for high resolution 3-D images was proposed. Firstly, a high-precision 3-D linear laser measuring system consisting of a laser, two high-resolution 3-D cameras, two linear motors and a computer was established to measure the texture of leather. After theoretical analysis and experimental verification of the high-resolution 3-D texture images (dots per inch > 1000) collected by the measuring system, the data of high-fidelity three dimensional images after filtering were gotten. The effect of the adaptive mean filtering algorithm was compared with the effects of mean filtering method and wavelet threshold filtering method. The results show that the adaptive mean filtering algorithm can remove noise of 3-D images effectively, select the appropriate filtering window automatically, and also keep details and edge information of high resolution images. Finally, the high resolution 3-D texture images with high fidelity would be obtained. The experimental results are very helpful for denoising processing of high resolution images.

Key words: image processing; high-fidelity 3-D image; adaptive mean filtering; high resolution; line laser; 3-D measurement

引 言

随着激光机器视觉技术在工业生产中的迅速发展, 在 3 维自然纹理^[1-2] 立体印刷方面, 物体表面 3 维轮廓测量技术应用广泛。所谓 3 维自然纹理主要指各种木材纹理、皮革纹理、甚至是人工的油画纹理。将这些 3 维纹理高保真地印刷在壁纸、墙纸、家具贴纸、瓷砖和纺织服装制品上, 就是立体印刷。作为平面印刷的升级产业, 立体印刷的市场需求大, 产业利润高, 是现代化的高精尖产业。由于立体印刷对丰富的细节要

求更为严格, 一般要求 x, y 方向的测量分辨率高(每英寸点数(dots per inch, DPI)大于 1000)和 z 方向的测量精度高(小于 $\pm 5\mu\text{m}$), 本实验中系统采用的高精度相机镜头, 并减少镜头视场范围至 23mm, x 和 y 方向的测量分辨率可高达 1700DPI。因此本文中实验系统的 3 维数据采集精度很高, 进行 3 维数据采集时, 难免会存在一些噪声信息, 这时就需要对 3 维图像进行滤波处理。传统的滤波方法有很多, 如中值滤波、均值滤波、小波变换降噪等^[3-4], 虽然这些方法也能有效地去除噪点, 但是往往也会去除有用的 3 维图像细节信息, 使得 3 维图像失真。

3 维图像表示图像中每个像素点都包含空间里 3 个维度的信息, 而 3 维图像则表示每个像素点只包含空间里两个维度的信息。以 3 维灰度图像和 2 维灰度图像为例, 普遍意义下, 图像中都包含 x 和 y 方向的信息, 主要的区别在于 3 维灰度图像中像素点的灰度值

基金项目: 广东省创新应用示范专项资金资助项目 (2012B011300025)

作者简介: 向志聪(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事激光 3 维轮廓及变形测量的研究。

* 通讯联系人。E-mail: zhouyanzhou_optics@gmail.com

收稿日期: 2014-07-09; 收到修改稿日期: 2014-11-17

则表示被测点 z 方向的信息,而 2 维灰度图像中像素点的灰度值不表示被测点 z 方向的信息,因此 3 维灰度图像和 2 维灰度图像存在一定差异,图像降噪方法也有所差异。

近年来,传统的滤波算法也有较大的改进,出现了如自适应小波变换降噪^[5]、非局部均值降噪^[6-7]等滤波算法,但这些算法运用到立体印刷行业上也难以满足印刷精度的需求。针对立体印刷行业高分辨率 3 维图像的滤波问题,本文中提出一种基于空间域的高保真自适应降噪算法,该算法既能保留高分辨率图像的边缘、细节等信息^[8-9],也能有效去除 3 维图像的噪点。因为 3 维灰度图像和 2 维灰度图像中的边缘信息和噪声信息的空间域表现形式大致相同,所以本文中降噪算法可通用。因此,本文中提出的高保真自适应降噪算法在自然纹理样品的扫描方面具有广阔的应用前景。

1 实验系统

本文中所使用的线激光实验系统构成如下:线宽为 $10\mu\text{m}$ 的线激光激光器、SICK 公司的 Ranger Studio D50 3 维相机(连续拍摄速度为 1000 次/s)、直线步进电机(行程 $0\text{mm} \sim 450\text{mm}$,重复定位精度 $5\mu\text{m}$)、计算机、运动控制器组成。该线激光实验系统采集的高分辨率 3 维图像具有 x 和 y 方向像素点阵分辨率高,3 维测量的 z 方向测量精度高,3 维图像细节丰富等优点。实验系统结构如图 1 所示。其中相机为互补金属氧化物半导体(complementary metal-oxide semiconductor, CMOS)相机。

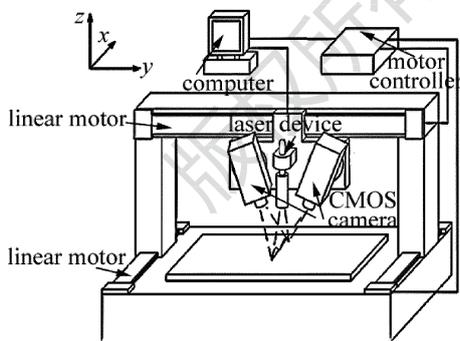


Fig. 1 System configuration

实验中系统所采用的是基于线激光与 3 维相机组成的三角测量高度方法^[10-11]。三角法测量高度原理就是当一束激光投射在被测样品表面,原来平直的线激光被物体表面轮廓高低所改变,最终在 3 维相机的像平面上的成像也发生相应的位移。通过计算 3 维相机成像位移的大小,可以得出物体表面的实际高度信息,激光器和 3 维相机组成的测量结构如图 2 所示。

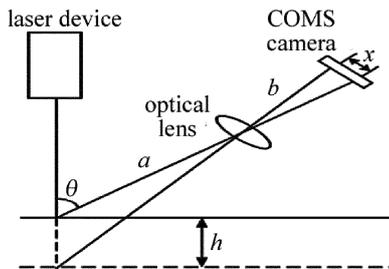


Fig. 2 Triangulation measurement of laser

假设线激光中某一光点在 CMOS 相机像平面上的成像位移为 x ,由下式可计算出被测样品表面上该点的实际高度差:

$$h = \frac{ax}{b\sin\theta - x\cos\theta} \quad (1)$$

式中, a 为 3 维相机物距; b 为 3 维相机像距; θ 为激光器中轴与相机中轴之间的夹角。

2 自适应降噪算法

2.1 噪点的形成

在现实工业生产中,因受到成像装置和外部环境的干扰,如 3 维相机曝光时间、光照强度等因素影响,3 维图像会含有一定的噪声信息。这些噪声干扰信息会造成 3 维图像的成像质量下降,影响人们对 3 维图像的观察和应用。因此,需要把噪声信息从 3 维图像有效图像信息中分离出来,这就称为图像降噪。图像降噪的主要目的在于尽可能多地检测图像的细节、边缘,保留原始图像的细节、边缘等具体信息的同时,去除图像中的噪声信息,还原物体的真实面貌。本文中以花草自然纹理皮革材料为被测物,实物图如图 3 所示。实验中测量皮革材料的表面轮廓数据所得的部分噪点图像,如图 4 所示。

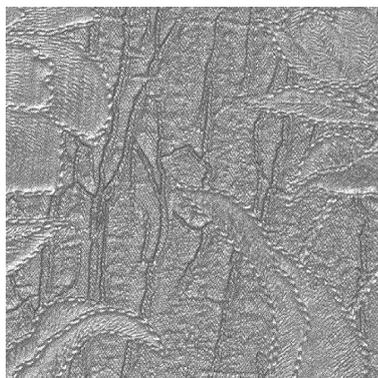


Fig. 3 Natural texture of leather material of flowers

在完成高分辨率的 3 维图像数据采集后,必须在保存 3 维图像边缘、细节部分的条件下,去除 3 维图像中的噪声信息。实验中得到 3 维图像是灰度图像, Z 表示 z 方向的灰度大小,3 维图像的灰度从黑到白分

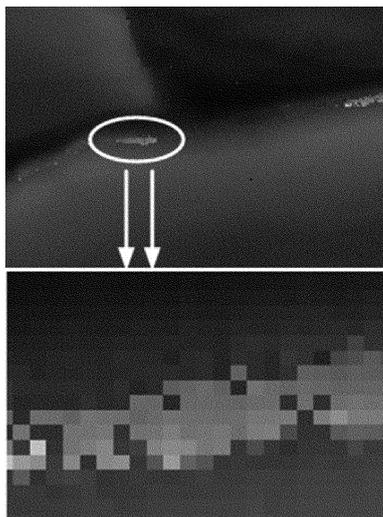


Fig. 4 Noisy point

为 0 ~ 255, 即当灰度值为 0 时, 在图像中呈黑色, 表示 z 方向最小值, 当灰度值为 255 时, 在图像中呈白色, 表示 z 方向最大值。

一般情况下, 在 3 维测量过程中容易产生两种噪点: 一种是 Z 值极大的点, 在图像上呈白色, 产生的原因是相机曝光时间过大, 使 COMS 相机由于内部电路产生的噪声点显现出来; 另一种是 Z 值极小的点, 在图像上呈深黑色, 产生的原因是曝光时间不足或者光路被物体所遮盖所致。

2.2 搜索噪声

搜索噪声主要采用循环的动态阈值比较法, 即噪声搜索窗口循环调整窗口阶数, 并对噪声进行搜索。本文中 3 维图像以像素点为考察对象, 不同的灰度值对应着不同的 z 方向数值, 即表示该点高度值。首先对 3 维图像预处理, 去除毛刺噪声, 可建立一个与 3 维图像矩阵大小一致的零矩阵, 记为 M , 用于记录噪点的位置。然后求取 3 维图像 z 方向数据的平均值 Z_m , 若像素点的 Z 值减去这个均值 Z_m 后, 所得结果的绝对值大于设定的阈值 V , 则将对应像素点判定为坏点, M 矩阵相应的位置的元素置 1。

3 维图像预处理后, 循环使用不同阶数的搜索窗口对 3 维图像的各像素点进行噪点判断搜索, 搜索 3 维图像的噪点位置, 噪点判断的方法是根据不同阶数搜索窗口的动态阈值^[12-13], 若某一像素点的灰度值与搜索窗口内均值的差值大于该动态阈值, 则将该像素点判断为噪点, 则在 M 矩阵相应的位置的元素置 1, M 矩阵已置 1 的像素点则不进行上述处理。

在本文实验中, 所测量的样本为 3 维自然纹理的皮革材料, 假设 3 维皮革图片的灰度值标准差为 σ , 则 3 维图像预处理的毛刺噪声阈值 V 设定为 3σ 。扫描整幅 3 维图片, 若某一像素的灰度值与图像灰度均值

的差值大于此阈值 V , 则判定此点为噪点, M 矩阵相应的位置的元素置 1, 预处理的噪点判定公式如下:

$$\begin{cases} |Z(x_i, y_j) - Z_m| > V \\ M(x_i, y_j) = 1 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $Z(x_i, y_j)$ 表示某一像素点的灰度值, Z_m 表示图像灰度均值。

完成上述步骤后, 此时 m 阶动态窗口由 3×3 变化到 15×15 , 对 3 维图像循环使用不同阶数的窗口进行噪点搜索。搜索窗口搜索噪点的方法是使用搜索窗口中心点的值与窗口里其它点的值进行比较, 若比较值大于某一阈值, 则将该点判定为 R 点, 否则为 S 点, 设窗口内除去中心点后的标准差为 σ , 则此搜索窗口的动态阈值 V_b 为 3σ , 则 R 点判定由下式可得:

$$|Z(x_i, y_j) - Z(x_{(m+1)/2}, y_{(m+1)/2})| > V_b, \quad (i, j \in 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

若 R 点数量大于 S 点数量, 则将此搜索窗口的中心点判定为噪点, M 矩阵相应的位置的元素置 1, 对 M 矩阵已置 1 的像素点不进行上述处理。

假设边缘点 R 的数量 N_R , 边缘点 S 的数量 N_S , 以 3 阶搜索窗口为例, 如图 5 所示。

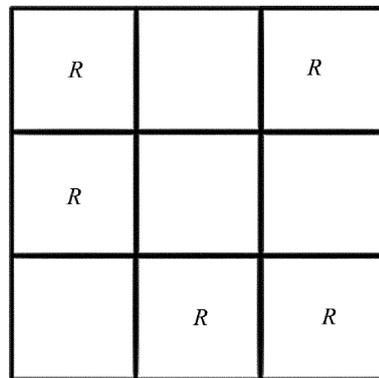


Fig. 5 Third-order search window

由图 5 可得, 3 阶窗口边缘点 R 的数量 $N_R = 5$, 边缘点 S 的数量 $N_S = 3$, 则窗口中心点 A 的噪声判定可由下式可得:

$$\begin{cases} N_R > N_S \\ M(x_{(m+1)/2}, y_{(m+1)/2}) = 1 \end{cases} \quad (4)$$

单次 m 阶动态搜索窗口循环搜索后, 搜索窗口由左至右, 由上至下逐步移动, 每次移动一列(行)像素, 移动后继续进行上述比较, 继续进行上述噪声比较, M 矩阵已置 1 的像素点不进行上述处理。最后可得到 M 矩阵, M 矩阵中置 1 元素则对应着 3 维图像的噪声位置。

2.3 对噪声滤波

传统滤波方法中, 以空间域的均值滤波、中值滤波最为经典, 但是空间域滤波方法对窗口的选用存在很

大的依赖性,若滤波窗口较小,则窗口内噪点较多,不利于滤波处理,若滤波窗口较大,滤波处理后的值与噪声真实值存在较大差异。

作者提出的噪声滤波方法是一种自适应的均值滤波方法,即滤波窗口可自动调整窗口阶数大小,并对采用最佳的滤波窗口对窗口内的中心噪声进行均值滤波处理。具体的噪声滤波方法是:得到 M 矩阵后, M 矩阵中置 1 元素则对应着 3 维图像的噪声位置,然后 m 阶动态滤波窗口由 3×3 变化到 15×15 ,若搜索窗口内的正常像素数量大于噪点像素数量时,则使用该滤波窗口对该窗口的中心噪点进行均值滤波处理,否则滤波窗口阶数增加,再进行上述判断,直至窗口内的正常像素数量大于噪点像素数量,再使用该滤波窗口对该窗口的中心噪点进行均值滤波处理。以 3 阶滤波处理为例,如图 6 所示。

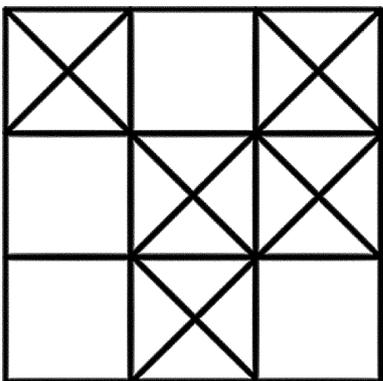


Fig. 6 Third-order filter window

在图 6 中,在以噪点为中心的 3×3 滤波窗口内,在边缘的 8 个像素点中,标记的像素点为噪点,其数量 $N_n = 4$,未标记的像素点为正常像素点,其数量 $N_a = 4$ 。因为窗口内的正常像素数量不大于噪点像素数量,所以不能使用 3×3 滤波窗口对该窗口的中心噪点进行滤波处理。此时,滤波窗口阶数增加,变为 5×5 滤波窗口,如图 7 所示。

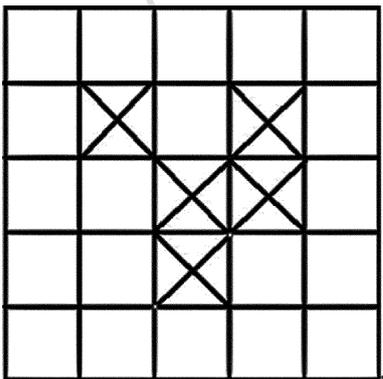


Fig. 7 Fifth-order filter window

在图 7 中,在以噪点为中心的 5×5 滤波窗口内,在边缘的 24 个像素点中,标记的像素点为噪点,其数量 $N_n = 4$,未标记的像素点为正常像素点,其数量 $N_a = 20$,因为窗口内的正常像素数量大于噪点像素数量,所以能使用 5×5 滤波窗口对该窗口的中心噪点进行滤波处理。对滤波窗口边缘的正常像素点的灰度求均值,然后将所求得值替代中心的噪点值,正常值不变,如果边缘点也有噪点,则将此噪点的灰度值取零,滤波后的噪点灰度值为:

$$Z'(x_{(m+1)/2}, y_{(m+1)/2}) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Z(x_i, y_j) - Z(x_{(m+1)/2}, y_{(m+1)/2})}{m \cdot m - N_n - 1} \quad (5)$$

式中, m 为滤波窗口阶数, N_n 为边缘噪点数。本例中 $m = 5, N_n = 4, Z(x_{(m+1)/2}, y_{(m+1)/2})$ 为噪点的高度值。

因此,作者提出的自适应均值降噪算法,能循环变化噪点搜索窗口的阶数,并采用动态阈值法对噪声搜索,也能自动调整滤波窗口阶数,并采用最佳的滤波窗口对窗口中心噪声点进行均值滤波。对比传统的均值滤波,本文中提出的自适应降噪算法克服了对窗口阶数的依赖,是一种较好的滤波方法。

3 实验结果

在实验中,以 3 维纹理的皮革材料为被测物体,通过拍摄测量两组皮革材料不同部位的表面轮廓数据,以作者提出的高保真自适应降噪算法对实验所得的高分辨率图片(大于 1700DPI)进行滤波处理,并与传统的均值降噪、小波变换降噪的降噪效果进行对比,得到如图 8 所示的实验效果图,其中图 8a ~ 图 8d 为第 1 组,图 8e ~ 图 8h 为第 2 组。

通过本文中的降噪算法与均值降噪算法、小波降噪算法进行对比。图 8 中区域 A 表示 3 维图像噪点区域,可明显看出,均值降噪(见图 8b 和图 8f)和本文中自适应降噪(见图 8d 和图 8h)的区域 A 中,降噪效果相当,平滑效果较好;小波降噪效果(见图 8c 和图 8g)次之,仍存在部分噪声。区域 B 表示 3 维图像边缘区域。均值降噪效果图中(见图 8b 和图 8f),由于均值滤波造成图像边缘钝化,细节模糊不清;小波降噪效果图中(见图 8c 和图 8g),图像细节得以保存,边缘效果较好;自适应降噪效果图中(见图 8d 和图 8h),更多图像细节部分得以保存,边缘效果最好。从实验结果来看,本文中提出的自适应降噪算法降噪效果比较好,对噪点滤波明显,平滑效果较好,也能较好保留图像的边缘、细节等信息,能满足立体印刷精度的要求。

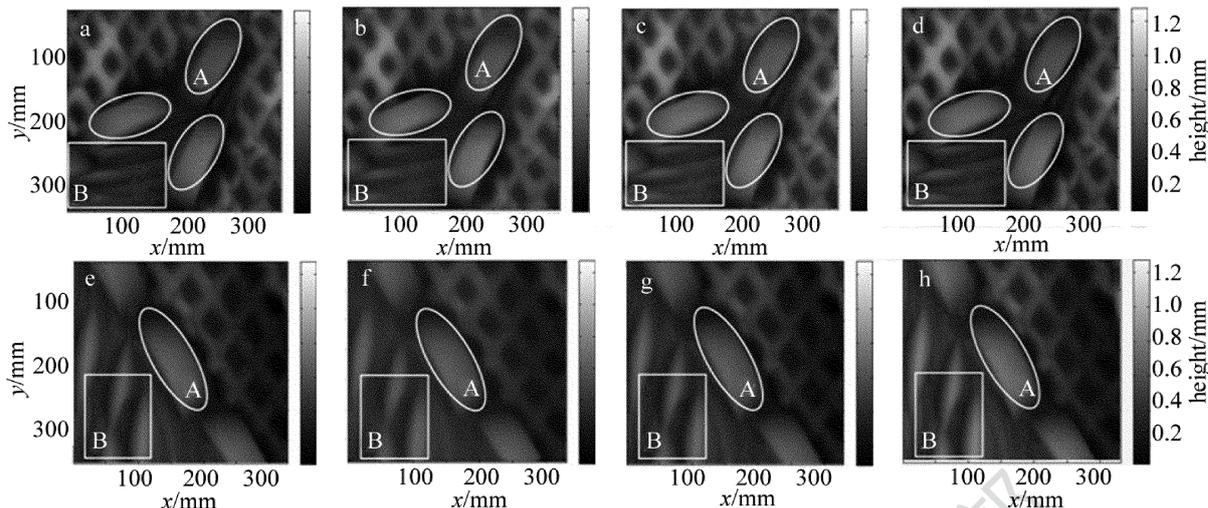


Fig. 8 Partial denoising effect of natural texture of flowers leather

a, e—original image b, f—mean denoised image c, g—wavelet denoised image d, h—adaptive denoised image

4 结 论

提出了一种针对高分辨率 3 维图像的自适应滤波方法。该方法利用动态搜索窗口,根据该动态搜索窗口的阈值,寻找图像中的噪点,并自动选择最佳的滤波窗口对噪点进行均值滤波。最后对该滤波方法进行检验,并将本文中提出的降噪算法的降噪效果与均值降噪算法、小波降噪算法的降噪效果进行对比,对比结果中发现,本文中提出的降噪算法既可保存图像的边缘、细节部分信息,也可在噪点处实现平滑处理,对图像的降噪效果较好,高分辨率图像不失真,从而很好解决了立体印刷行业对 3 维立体扫描数据的高精度要求这一大难题。

参 考 文 献

- [1] OJALA T, PIETIKAINEN M. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns[J]. IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(7): 971-987.
- [2] HE F Q, WANG W, CHEN Z C. Automatic visual inspection for leather manufacture [J]. Key Engineering Materials, 2006, 326/328: 469-472.
- [3] GUPTA G. Algorithm for image processing using improved median filter and comparison of mean, median and improved median filter[J]. International Journal of Soft Computing and Engineering, 2011, 1(5): 2231-2307.
- [4] BULTHEEL A. Empirical Bayes approach to improve wavelet thresholding for image noise reduction[J]. Journal of the American Statistical Association, 2001, 96(454): 629-639.
- [5] CHANG S G, YU B, VETTERLI M. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression [J]. IEEE Image Processing, 2000, 9(9): 1532-1546.
- [6] LIU Y L, WANG J, CHEN X, et al. A robust and fast non-local means algorithm for image denoising[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2008, 23(2): 270-279.
- [7] SALMON J. Two parameters for denoising with non-local means[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(3): 269-272.
- [8] RAGHAVAN U N, ALBERT R, KUMARA S. Near linear time algorithm to detect community structures in large-scale networks [J]. Physical Review, 2007, E76(3): 036106.
- [9] MARTIN D R, FOWLKES C C, MALIK J. Learning to detect natural image boundaries using local brightness, color, and texture cues[J]. IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(5): 530-549.
- [10] WANG Ch, ZHAO B. Research of thin plate thickness measurement based on single lens laser triangulation [J]. Laser Technology, 2013, 37(1): 6-10 (in Chinese).
- [11] ZHANG H X. Study on building modeling based on 3-D laser scanning technology [J]. Laser Technology, 2014, 38(3): 431-434 (in Chinese).
- [12] GAL Y, MEHNERT A J H, BRADLEY A P, et al. Denoising of dynamic contrast-enhanced MR images using dynamic nonlocal means[J]. IEEE Medical Imaging, 2010, 29(2): 302-310.
- [13] CAI T, ZHU J. Adaptive selection of optimal decomposition level in threshold de-noising algorithm based on wavelet [J]. Control and Decision, 2006, 21(2): 217.