

泡罩药品包装视觉检测系统图像滤波算法

金世国¹, 张巧利¹, 徐东方²

(1. 郑州信息科技职业学院, 郑州 450046; 2. 河南职业技术学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 有效滤除泡罩药品包装视觉检测系统中的图像噪声, 以保证后续泡罩包装药品的图像分割、特征提取等任务顺利开展。**方法** 分析引导滤波的数学模型, 并在此基础上对其进行改进, 提出一种自适应高斯引导的新型泡罩药品包装图像滤波算法。采用更加理性的参数优化算法, 且用高斯窗口来代替传统的盒窗口。**结果** 自适应高斯引导滤波算法能够有效滤除图像中的噪声, 同时最大程度地保留原始图像中的边缘和细节等信息。**结论** 该算法对后期泡罩药品包装的图像处理和分析有一定的指导意义。

关键词: 泡罩药品包装; 图像噪声; 视觉检测; 自适应高斯引导; 参数优化

中图分类号: TB489 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)13-0141-05

Image Filtering Algorithm for Visual Inspection System of Bubble Cap Drug Packaging

JIN Shi-guo¹, ZHANG Qiao-li¹, XU Dong-fang²

(1. Zhengzhou Vocational University of Information and Technology, Zhengzhou 450046, China;

2. Henan Polytechnic, Zhengzhou 450046, China)

ABSTRACT: The work aims to effectively filter out the image noise in the visual inspection system of bubble cap drug package, to ensure that such tasks as image segmentation and feature extraction of subsequent drugs with bubble cap package are smoothly carried out. The mathematic model of guidance filtering was analyzed and improved based on such analysis. A new adaptive Gaussian-guided image filtering algorithm for bubble cap drug package was proposed. A more rational parameter optimization algorithm was adopted and the Gauss window was used to replace the traditional box window. The simulation results showed that the adaptive Gauss-guided filtering algorithm could effectively remove the noise in the image, while preserving the edge and details, etc. of the original image to the maximum extent. The proposed algorithm has certain guidance significance for the image processing and analysis of bubble cap drug package at later stage.

KEY WORDS: bubble cap drug package; image noise; visual inspection; adaptive Gauss guidance; parameter optimization

随着药品市场的持续发展, 人们对药品包装质量的要求越来越高, 特别是在中国加入国际贸易组织后, 国际上更多的药品公司进入中国市场, 使中国药品行业竞争日趋激烈^[1-2]。目前, 药品包装主要有瓶装、袋装、铝塑泡罩包装3种包装方式, 其中铝塑泡罩包装是目前最为流行的药品包装形式之一, 该包装具有安全、成本低、便于携带、生产速度快等优点, 因此受到越来越多的药品包装企业以及消费者的青睐^[3-4]。

铝塑泡罩包装药品的生产过程中, 由于需要经过搅拌、填充、封合、切割等一系列复杂工序作业, 因

此在包装过程中极易出现漏装、药品损坏、加入杂质等问题, 产生大量的缺陷药片, 当缺陷药片流入市场后会对消费者生命健康产生一定影响。目前通常基于图像处理算法, 利用机器视觉技术对药品的缺陷进行检测, 该自动化检测方法不仅提高了药品包装的检测效率, 而且保证了药品包装的质量^[5-8]。在泡罩药品包装视觉检测系统中, 图像的采集和传输过程不可避免地遭受到各种干扰, 使原始图像出现模糊部分, 严重影响图像质量, 从而干扰缺陷药品的正确检测^[9-11]。图像中的噪声在一定程度上破坏了原始图像的视觉

收稿日期: 2016-12-02

基金项目: 国家自然科学基金(61203050)

作者简介: 金世国(1982—), 男, 硕士, 郑州信息科技职业学院讲师, 主要研究方向为图论与组合最优化。

清晰度,噪声滤除效果对后续泡罩药品图像分割、特征提取等算法的实现具有直接影响。传统的图像滤波算法主要包括时域去噪、平滑滤波、窗口滤波等,但这几种滤波算法在去除噪声的同时模糊了图像的边缘,丢失了大量的图像细节^[12-13]。边界保护、细节增强的平滑滤波器主要有高斯滤波器、引导滤波器、三维块匹配滤波器等^[13-15]。文中在引导滤波器的基础上提出一种自适应高斯引导的新型图像滤波算法,对参数进行更加理性的优化。

1 视觉检测系统的工作原理

视觉检测系统主要由图像处理、计算机系统以及控制输出三大部分构成。通过图像采集系统对泡罩药

品包装图像进行采集,并将图像特征信息输入计算机系统中进行处理,最后通过控制输出单元将控制信号输出。视觉检测系统框架结构见图1。

药片被填充到泡罩后,泡罩在封合前,通过视觉检测系统的CCD摄像机将泡罩药品包装转变成图像信息,并将图像信号传送到图像处理系统,图像处理系统将信号进行各种运算并提取图像的具体特征,最终实现泡罩药品包装的自动识别检测。

2 传统的引导滤波算法

引导滤波是一种局部的多点式滤波器,能够有效滤除噪声并可保护图像边缘等信息。此外,引导滤波器在图像去雾、细节转移等方面具有很大优势,因此该算法作为一种高效算法,被广泛应用在图像噪声处理中。

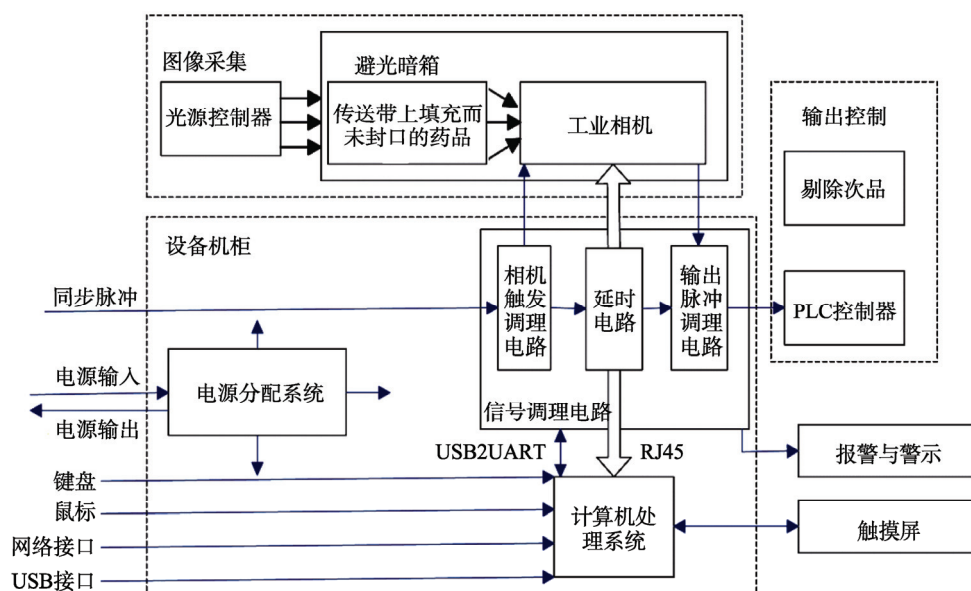


图1 视觉检测系统框架结构

Fig.1 Frame structure of visual inspection system

引导滤波定义为:

$$f_i^{\text{GF}} = a_k G_i + b_k, \forall i \in \Omega_k \quad (1)$$

式中: G_i 为引导图像; f_i^{GF} 为输出图像; 参数 a_k 和 b_k 为引导图像以像素点 k 为中心、以一定长度为半径的局部窗口 Ω_k 内的线性系数。由式(1)可以看出引导滤波器是一个线性的模型,代价函数为:

$$E = \min_{a_k \in \mathbb{R}, b_k \in \mathbb{R}} \left(\sum_{i \in \Omega_k} ((a_k G_i + b_k - f_i)^2 + \zeta a_k^2) \right) \quad (2)$$

将 f_i 假设为输入图像, ζ 为调节参数,为了防止 a_k 过大,这里用线性回归模型估计参数 a_k 和 b_k 的大小:

$$a_k = \frac{\frac{1}{|w|} \sum_{i \in \Omega_k} G_i f_i - \mu_k \bar{f}_k^w}{\sigma_k^2 + \zeta} \quad (3)$$

$$b_k = \bar{f}_k^w - a_k \mu_k \quad (4)$$

式中: μ_k 和 σ_k^2 为引导图像在窗口的平均值和方

差; $|w|$ 为像素个数; $\bar{f}_k^w$ 为输入图像在窗口 w 中的平均值。由线性模型可得线性参数,由式(2)可得滤波器的输出。

参数 a_k 和 b_k 决定了图像中某一区域是进行平滑处理还是保留处理,因此这2个参数对于引导滤波器非常重要。在确定每一个局部窗口参数后,由于窗口在每个位置的叠加,参数被平均处理,平均法将误差最小化,并且使算法具有强鲁棒性。引导滤波的滤波核的权值定义为:

$$W(G) = \frac{1}{|N|^2} \sum_{i \in \Omega_k, j \in \Omega_k} \left(1 + \frac{(G_i - \mu_k)(G_j - \mu_k)}{\sigma_k^2 + \zeta} \right) \quad (5)$$

式中: N 为窗口中像素总个数。在滤波器中引入一个自适应参数,此时滤波核的权值为:

$$W(G) = \frac{1}{|N|^2} \sum_{i \in \Omega_k, j \in \Omega_k} \left(1 + \frac{((G_i + \eta_i) - \mu_k)(G_j - \mu_k)}{\sigma_k^2 + \zeta} \right) \quad (6)$$

式中： η_i 为自适应参数。 η_i 的计算为：

$$\eta_i = \begin{cases} \max(\Omega_k) - G_i, & \gamma_i > \max(\Omega_k) \\ \min(\Omega_k) - G_i, & \gamma_i < \min(\Omega_k) \\ \xi_i & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

式中： $\gamma_i = G_i + \xi_i$ ， ξ_i 可直接从自适应双边滤波器中得到。该方法中的参数没有进行优化处理，经过处理的图像极有可能出现过度锐化的情况，从而严重影响图像的质量。

3 自适应高斯引导滤波器

针对传统引导滤波器存在的不足，提出一种自适应高斯引导图像滤波算法(AGGF)，笔者在引导滤波器的基础上采用一个更加理性的参数优化算法，且用高斯窗口来代替传统的盒窗口。

3.1 算法

假设 G_i 为引导图像， f_i^{AGGF} 为输出图像， a_i 和 b_i 为滤波器的线性参数，在 AGGF 中采用自适应引导滤波的核权值和线性转换模型，AGGF 可表示为：

$$f_i^{\text{AGGF}} = \bar{a}_i^w (G_i + \eta_i) + \bar{b}_i^w, \forall i \in \Omega_k \quad (8)$$

式中： $\bar{a}_i^w$ 和 $\bar{b}_i^w$ 均为重叠窗口 Ω_k 高斯的权值， $\bar{a}_i^w = \sum_k w_{ik} a_k$ ， $\bar{b}_i^w = \sum_k w_{ik} b_k$ 。其中 w_{ik} 为高斯滤波器核， $w_{ik} = \frac{1}{K_i} \exp(-\|x_i - x_k\|^2 / 2\sigma_g^2)$ ， K_i 为归一化参数 $K_i = \sum_k \exp(-\|x_i - x_k\|^2 / 2\sigma_g^2)$ ， x_i 和 x_k 为以 Ω_k 为窗口的当前像素点的坐标， σ_g 为确定中心点邻近区域的大小。 a_k 和 b_k 的计算与传统引导滤波中的计算相同。由线性回归模型，可以得到参数值为：

$$a_k = \frac{\sum_{i \in \Omega_k} w_{ik} G_i f_i - \mu_k \bar{f}_k^w}{\sigma_k^2 + \xi} \quad (9)$$

$$b_k = \bar{f}_k^w - a_k \mu_k \quad (10)$$

式中： $\bar{f}_k^w = \sum_{i \in \Omega_k} w_{ik} f_i$ 。

AGGF 中滤波核通过计算 f_i^{AGGF} 对 f_i 的偏导数，可将滤波器改写为对输入图像权值和的形式：

$$f_i^{\text{AGGF}} = \sum_j W_{ij}(G) f_j \quad (11)$$

式中： $W_{ij}(G)$ 为输入图像权值。将式(4)中的 b_k 由式(10)替换，则偏导数可表示为：

$$\frac{\partial f_i^{\text{AGGF}}}{\partial f_i} = \sum_{k \in \Omega_k} w_{ik} \left[\frac{\partial a_k}{\partial f_i} ((G_i + \eta_i) - \mu_k) + \frac{\partial \bar{f}_k^w}{\partial f_j} \right] \quad (12)$$

可以得到：

$$\frac{\partial a_k}{\partial f_i} = \frac{1}{\sigma_k^2 + \xi} \left(\sum_i w_{ik} \frac{\partial f_i}{\partial f_j} G_i - \mu_k \frac{\partial \bar{f}_k^w}{\partial f_j} \right) \quad (13)$$

$$\frac{\partial \bar{f}_k^w}{\partial f_i} = \sum_i w_{ik} \delta_{j \in \Omega_k} = \sum_i w_{ik} \delta_{k \in \Omega_j} \quad (14)$$

如果 $\delta_{j \in \Omega_k}$ 在窗口中时记为 1，其他情况均记为 0。

将式(14)代入式(13)得：

$$\frac{\partial a_k}{\partial f_i} = \frac{1}{\sigma_k^2 + \xi} \left(\sum_i w_{ik} (G_i - \mu_k) \delta_{k \in \Omega_j} \right) \quad (15)$$

将式(14)——(15)代入式(12)中，可得最终的滤波核函数为：

$$\frac{\partial f_i^{\text{AGGF}}}{\partial f_i} = \sum_k w_{ik}^2 \left[1 + \frac{((G_i + \eta_i) - \mu_k)(G_j - \mu_k)}{\sigma_k^2 + \xi} \right] \quad (16)$$

由算法的滤波核函数可以看出 AGGF 能够去噪，同时还能保留图像的边界等信息。理想的一维信号边界见图 2，但当像素点在同一侧时， $[(G_i + \eta_i) - \mu_k]$ 与 $G_j - \mu_k$ 的符号相反，说明一个更加锐化的图像在引导输出，因此图像边界周围中的细节都被增强。

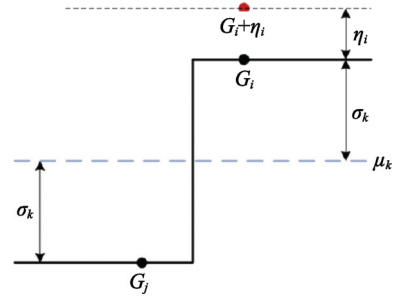


图 2 理想的一维边界

Fig.2 Ideal one dimensional boundary

3.2 参数优化

在上述滤波器中，参数 η_i 对于图像中细节增强非常重要。对参数 η_i 进行优化，使得参数 η_i 在算法中具有自适应性，这里提出一种最优模糊掩膜的方法。该方法主要利用最小均方误差和像素分类，像素分类是基于高斯引导滤波和一阶高斯滤波，滤波核为：

$$G(x) = -\frac{x}{\sqrt{2\pi}\sigma_g^3} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_g^2}\right) \quad (17)$$

首先用高斯引导滤波器对噪声图像进行去噪处理，随后将图像与高斯滤波器的一阶方向导数求卷积，从而对图像中的边缘进行提取。由 $\sigma=1$ 的一阶高斯滤波器得到输出图像 $G_d(m,n)$ ，之后将图像进行分类：

$$G_0(m,n) = \begin{cases} |G_d(m,n)| & 5 \leq |G_d(m,n)| \leq 60 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (18)$$

参数最优可以表述为：

$$\eta_i = \arg \min_s \|f_i^{\text{AGGF}} - f_i\|_s^2 \quad (19)$$

式中： s 为这个期间所有像素点的目录。

将式(8)代入式(19)中可得：

$$\eta_i = \arg \min_s \|\bar{a}_i^w (G_i + \eta_i) + \bar{b}_i^w - f_i\|_s^2 \quad (20)$$

将式(20)改写为：

$$\eta_i = [(\bar{a}_i^w G_i + \bar{b}_i^w - f_i) + \eta_i \bar{a}_i^w] \times [(\bar{a}_i^w G_i + \bar{b}_i^w - f_i) + \eta_i \bar{a}_i^w] \quad (21)$$

4 仿真和分析

为了验证文中方法在泡罩药品视觉检测系统中的图像去噪效果,将文中方法与几种传统的图像滤波算法(双边滤波、变换域滤波、引导滤波、自适应引导滤波)进行仿真对比。仿真结果见图3,可以看出双边滤波和变换域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处理,图像整体看起来比较模糊。引导滤波算法虽然能够较好保留图像的细节和边缘信息,但噪声处理不完

整。相比其他几种方法,经自适应高斯引导滤波算法处理后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被很好地保留。

在对自适应高斯引导滤波算法的数值量化评价中,使用峰值信噪比对不同算法进行比较,经双边滤波、变换域滤波、引导滤波、自适应引导滤波、自适应高斯引导滤波处理后的峰值信噪比分别为21.44, 25.59, 24.23, 27.14, 29.76 dB,由此可以看出,自适应高斯引导滤波器对泡罩药品包装图像中噪声的处理效果更好。

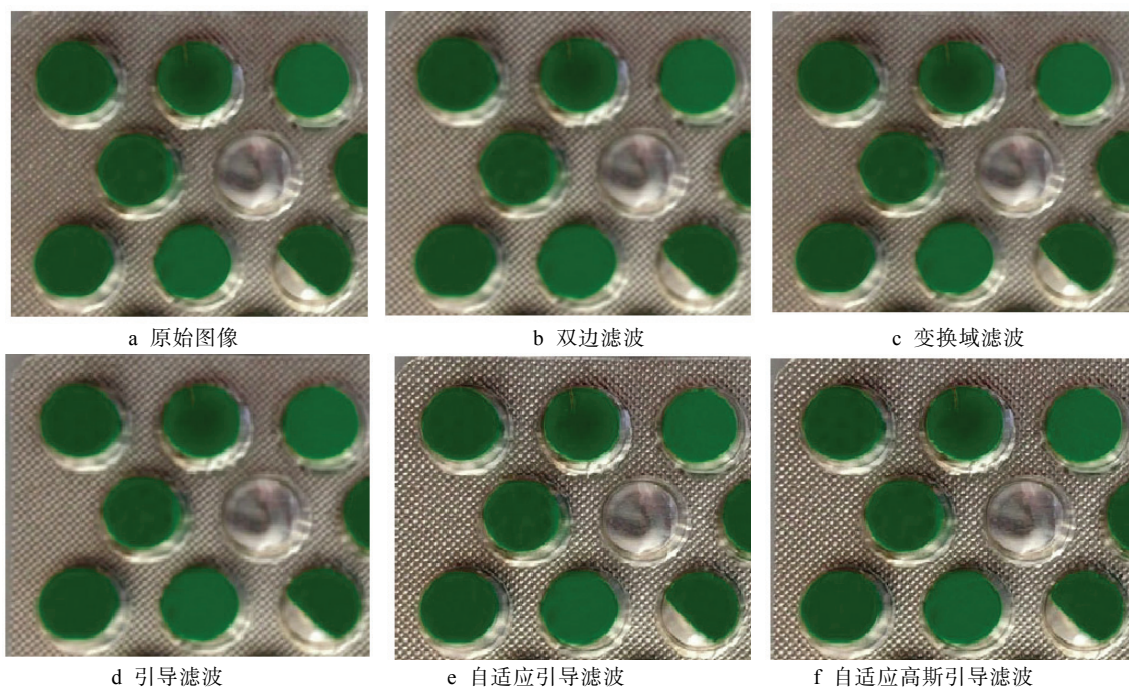


图3 不同方法滤波仿真结果

Fig.3 Simulation results with different filtering methods

5 结语

为了有效滤除泡罩药品包装图像中的噪声,提高图像清晰度,提升缺陷药品检测效率,提出了一种自适应高斯引导的新型图像滤波方法。介绍了视觉检测系统的工作原理,并在传统引导滤波的基础上对其进行了改进,采用了一个更加理性的参数优化算法,且用高斯窗口来代替传统的盒窗口。通过仿真研究可知,文中的滤波方法在保留原始图像边缘和细节的基础上,可有效滤出图像中的噪声,有利于后期泡罩药品包装图像的分割、特征提取等处理工作的顺利开展。

参考文献:

- [1] 刘莉,薛凡.包装标准化影响因素实证分析:以长株潭地区包装企业为例[J].包装学报,2012,4(4):50—54.
LIU Li, XUE Fan. Empirical Study of Influencing

Factors on Packaging Standardization: Taking Packaging Firms in Chang-Zhu-Tan District as an Example[J]. Packaging Journal, 2012, 4(4): 50—54.

- [2] 赵丹,丁金华,孙秋花,等.基于计算机图像处理的印刷品缺陷检测[J].包装工程,2008,29(12):1—2.
ZHAO Dan, DING Jin-hua, SUN Qiu-hua, et al. Print Defect Detection Based on Computer Image Processing[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(12): 1—2.
- [3] 薛利军,张虎,李自田.采用机器视觉的药品包装实时在线检测系统的研究[J].包装工程,2005,26(2):2—3.
XUE Li-jun, ZHANG Hu, LI Zi-tian. Study on Pharmaceutical Packaging Real-time Online Detection System Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(2): 2—3.
- [4] 刘圣晓.基于图像处理的药片实时检测及处理系统的研究及其应用[J].计算机与现代化,2013(5):66—69.

- LIU Sheng-xiao. Study on Real-time Tablets Image Detection and Processing System Based on Image Processing and Its Application[J]. Computer and Modernization, 2013(5): 66—69.
- [5] 马赛, 曹春平, 孙宇. 基于 CCD 的金属薄板印刷墨层厚度在线检测研究[J]. 包装工程, 2014, 35(23): 120—125.
- MA Sai, CAO Chun-ping, SUN Yu. Online Detection of the Ink Film Thickness of Metal Sheet Printing Based on CCD Method[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 120—125.
- [6] 肖杨波. 基于 Lifting Scheme 小波的图像自适应去噪研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007.
- XIAO Yang-bo. Adaptive Image Denoising Based on Lifting Scheme Wavelet[D]. Nanchang: Nanchang University, 2007.
- [7] 刘祝华. 图像去噪方法的研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2005.
- LIU Zhu-hua. Research on Image De-noising Methods[D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2005.
- [8] 黄果, 蒲亦非, 陈庆利. 基于分数阶积分的图像去噪[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(4): 925—932.
- HUANG Guo, PU Yi-fei, CHEN Qing-li. Research on Image Denoising Based on Fractional Order Integral[J]. Systems Engineering and Electronics, 2011, 33(4): 925—932.
- [9] 赵艳明, 全子一. 一种有效的小波-Wiener 滤波去噪算法[J]. 北京邮电大学学报, 2004, 27(4): 41—45.
- ZHAO Yan-ming, QUAN Zi-yi. An Efficient Wavelet-Wiener Denoising Algorithm[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2004, 27(4): 41—45.
- [10] ANDRIA G, ATTIVISSIMO F, CAVONE G, et al. Linear Filtering of 2-D Wavelet Coefficients for Denoising Ultrasound Medical Images[J]. Measurement, 2012(7): 1792—1800.
- [11] SCHULTE S, WITTE V, NACHTEGAEL M, et al. Fuzzy Two-Step Filter for Impulse Noise Reduction from Color Images[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2006, 15(11): 3568—3579.
- [12] NG P E, MA K K. A Switching Median Filter with Boundary Criminative Noise Detection for Extremely Corrupted Images[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2006, 15(6): 1510—1516.
- [13] SIEGEL R, DESANTIS C, JEMAL A. Colorectal Cancer Statistics[J]. Cancer Journal for Clinicians, 2014, 64(2): 104—117.
- [14] 杨友良, 王新宇, 马翠红. 自适应维纳滤波在钢水红外图像去噪中的应用[J]. 红外技术, 2015, 37(9): 733—735.
- YANG You-liang, WANG Xin-yu, MA Cui-hong. Adaptive Wiener Filtering Noise Reduction in the Molten Steel Infrared Image[J]. Infrared Technology, 2015, 37(9): 733—735.
- [15] 刘苏阳, 唐万有. 图像去噪在印刷品质量检测上的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(15): 83—86.
- LIU Su-yang, TANG Wan-you. Application of Image Denoising in Print Quality Detection[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(15): 83—86.