

文章编号:1007-2780(2016)11-1085-07

## 基于小波钝化的嵌入式图像处理算法研究

周文辉<sup>1,2</sup>, 宋晓莉<sup>2</sup>, 程玉华<sup>2\*</sup>

(1. 电子科技大学 中山学院, 广东 中山 528402;

2. 电子科技大学 自动化工程学院, 四川 成都 611731)

**摘要:** 注塑模具保护系统普遍采用模板匹配图像处理算法, 其存在实时性不强、精确度不高, 以及对运行环境要求严苛等问题。论文提出了基于小波钝化的嵌入式模具保护图像处理算法, 该算法运行于嵌入式平台, 采用小波钝化的方法凸显待测残留物, 无需进行模板匹配、图像配准和校正; 提出了基于像素值统计的支持向量机检测算法, 以适应嵌入式平台内存小的特点; 引入支持向量机分类, 有效解决了图像偏移带来的误差问题。MATLAB 实验测得, 该算法的模腔残留物检测平均准确率为 85.71%, 残留物检出平均耗时 0.910 s。结果表明, 采用小波钝化和支持向量机的嵌入式图像处理算法, 无论在算法检测精度还是算法响应速度方面均优于以灰度共生矩阵匹配算法和差影法为代表的图像匹配算法。

**关键词:** 模具保护; 图像处理; 小波钝化; 支持向量机

**中图分类号:** TP394.1    **文献标识码:** A    **doi:** 10.3788/YJYXS20163111.1085

## Embedded image processing algorithm based on wavelet passivation

ZHOU Wen-hui<sup>1,2</sup>, SONG Xiao-li<sup>2</sup>, CHENG Yu-hua<sup>2\*</sup>

(1. Zhongshan Institute, University of Electronic Science and Technology, Zhongshan 528400, China;

2. School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

**Abstract:** Injection mold protection systems generally use template matching image processing algorithms, which have shortcomings of poor real-time, low accuracy, and stringent requirement of operating environment. This paper presents an embedded mold protection image processing algorithm based on wavelet passivation. This algorithm runs on an embedded platform and highlights residues

**收稿日期:** 2016-06-27; **修订日期:** 2016-09-10.

**基金项目:** 广东高校省级重点平台和重大科研项目 (No. 2015KTSCX169); 中山市社会公益科技研究重大项目 (No. 2016B2119)

Supported by Provincial Key Platform and Major Research Fund for Guangdong Universities (No. 2015KTSCX169); Major Projects of Social Welfare Science and Technology Research in Zhongshan City (No. 2016B2119)

\* 通信联系人, E-mail: yhcheng@uestc.edu.cn

using the wavelet passivation method without template matching, image registration and correction. A SVM(Support Vector Machine) detection algorithm based on the statistic of pixel values is proposed to make it adapt to the small memory of the embedded platform. The SVM classification is introduced as an effective solution to effectively solve the error problem caused by image shift. Experimental results by MATLAB show that for residues detection, the proposed algorithm achieves an average accuracy rate of 85.71% and average detection time of 0.910 s. The results also show that this embedded image processing algorithm using wavelet passivation and SVM outperforms other image template algorithms represented by gray level co-occurrence matrix algorithms and difference image algorithms in terms of both detection accuracy and response speed.

**Key words:** mold protection; image processing; wavelet passivation; SVM

## 1 引言

传统的模具注塑生产普遍采用机械手压模和脱模,由于在塑料制品脱模过程中会出现脱模不够彻底的现象<sup>[1]</sup>,生产现场需要人工方式监测模具,一旦出现异常情况,立即锁止注塑机,防止模具损坏和不良品产生。但注塑生产现场环境恶劣、危险性高,不利于工人长时间工作。此外,人工监测缺乏稳定性,劳动力成本持续上升,这些因素推动了注塑模具检测自动化技术的发展。

传统的注塑机模具保护方式主要有低压保护、设置限定参数、电流监测和设置时间上限等方式<sup>[2-3]</sup>。此类方式需要额外增加精密设备,成本增加的同时导致注塑生产过程复杂化。机器视觉检测技术具有非接触性、精度高、效率高等特点,应用于注塑模具的保护成为当前的研究热点。基于机器视觉的模具保护系统一般由一台用于运行图像处理算法的工控机和一套作为工控机与注塑机控制器桥梁的图像采集与控制设备组成<sup>[4-8]</sup>。图像处理算法方面,文献[4]采用上位机交互界面设置感兴趣区域,通过差影法获得待测图像和模板图像的差值图像,接着进行阈值分割和二值化,然后通过统计二值图像的黑点判断是否有残留物;文献[5]同样采用上位机交互界面设置感兴趣区域,采用光线补偿和图像对准算法进行预处理,然后差分运算待测图像的二值化图像和背景图像的二值化图像,最后根据阈值判断是否有残留物;文献[6]通过灰度特征的匹配算法对图像进行滤波等预处理,采用 canny 算子提取模具的几何轮廓特征后再进行模板匹配;文献[7]采用图像差影检

测算法,通过模板匹配算法进行相似度计算;文献[8]通过模板匹配的方式找出感兴趣区域,对基于灰度共生矩阵<sup>[9]</sup>的模板和检测图像进行相似度判断。上述文献的算法需要内存较大和主频较高的工控机硬件环境,以满足图像检测的实时性和精度要求。此类设备成本较高,推广应用有一定局限性,基于图像处理的嵌入式模具保护成为探索的新方向。文献[10]采用 TQ2440 构建嵌入式模具保护平台,模具保护算法采用差影法,但没有考虑实际运用中由于机械振动产生的图像偏移<sup>[11]</sup>而造成的误差;文献[12]搭建了基于 TMS320DM6473 的模具监视系统,采用了基本异常检测算法和基于局部二元模式的异常检测算法双重检测的模板匹配算法,算法复杂且设定条件过于理想化。

实时性和精确性是视觉检测的重要性能指标,针对上述文献存在的问题,本文设计了一种嵌入式模具保护系统,首次提出了小波钝化、像素个数匹配和支持向量机应用于模具保护的图像处理方法,使系统具有检测精度高、响应速度快、适应性强等特点。

## 2 模具保护系统总体结构

嵌入式模具保护系统总体结构如图 1 所示,包括图像处理与保护控制单元、相机模块、图像缓存模块、通讯模块、VGA 显示模块和电源模块,主要功能如下。

(1)图像处理与保护控制单元。把实时获取的注塑机模腔图像进行图像处理,判断模腔中是否有残留物。控制单元采用 32 位双核嵌入式处理器,主频 456 MHz。

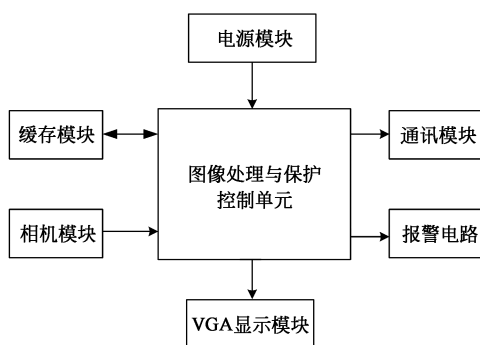


图 1 系统总体结构

Fig.1 Overall architecture of system

(2)相机模块。通过图像处理与保护控制单元控制相机采集每次模腔打开后的图像。

(3)缓存模块。缓存原始图像数据和每次进行图像处理输出的图像数据。采用 128M 的 DDR2 SDRAM。

(4)通讯模块。把图像处理与保护控制单元的残留物判断结果通过 MAX3232CUE 芯片传送给注塑机控制器。

(5)VGA 显示模块。显示采集的原始图像数据和每次进行算法处理后的图像数据。选用 3 路 10 位高速视频 DA 转换器 CS7123,把媒体接口输出的图像数据转换为 VGA 显示。

(6)报警模块。图像处理与保护控制单元若判断模腔有残留物,则通过处理器的 GPIO 接口驱动蜂鸣器和 LED 灯报警和闪烁。

### 3 嵌入式图像处理算法

文献[4-10]所述模具保护系统,无论采用差影法还是模板匹配算法,都需要把模板图像和待测图像的像素点进行一一对应和计算,图像偏移带来的误差是无法根除的问题,解决的方法只能通过增加图像配准和校正算法,导致算法的实时性受到影响。基于小波钝化的残留物检测算法突出的是残留物,有效回避了图像偏移问题,同时引入支持向量机分类,降低了因图像偏移带来的误判,提高检测精度。

本文算法包括训练模式和运行模式。

#### 3.1 算法的训练模式

算法训练模式流程如图 2 所示,具体步骤如下。

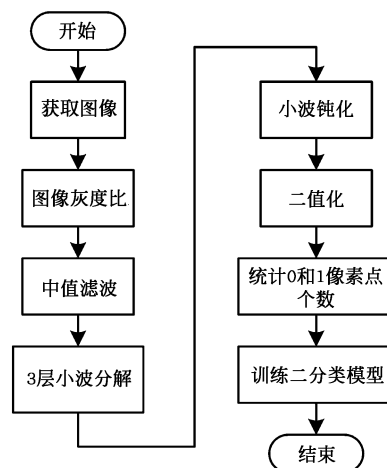


图 2 算法训练模式流程

Fig.2 Process of algorithm training mode

步骤 1:获取原始图像数据。

步骤 2:对原始图像进行灰度化。

灰度化算法具体流程:获得每个像素点的 R、G 和 B 分量;将每个像素点的 R、G 和 B 分量根据公式(1)进行计算;计算得到的 temp 覆盖原像素点;重复上述流程,从第一个像素点不断循环到最后一个像素点。

$$\text{temp} = (r * 299 + g * 587 + b * 114 + 500) / 1000 \quad (1)$$

步骤 3:对灰度图像进行中值滤波。

中值滤波算法具体流程:以  $3 \times 3$  滑动窗口获得 9 个像素点的灰度值;根据公式(2)将 9 个像素点的灰度值进行运算;用 W 模板依次遍历整幅图像,在 W 大小的模板覆盖的区域,用求得的中值代替模板覆盖区域中心点的像素值。

$$g(x, y) = \text{med}\{f(x - k, y - l), (k, l \in W)\} \quad (2)$$

其中:med 为中值运算,即把 W 模板中的像素点先进行大小排序后再求出 W 矩阵中像素点的中值。 $f(x, y)$ ,  $g(x, y)$  分别为原始图像和处理后图像。

步骤 4:对滤波后的灰度图像进行 3 层小波分解。

二维小波变换是图像进行小波分解的基础,小波基函数为:

$$\Psi_{a,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \quad a, \tau \in R; a > 0 \quad (3)$$

其中:  $a$  为伸缩因子,  $\tau$  为平移因子。令  $\Psi(x, y)$  表示二维基本小波, 那么二维连续小波定义为:

$$WT_f(a; b_1, b_2) = \langle f(x, y), \Psi_{a; b_1, b_2}(x, y) \rangle = \frac{1}{a} \iint f(x, y) \Psi^* \left( \frac{x-b_1}{a}, \frac{y-b_2}{a} \right) dx dy, \quad (4)$$

其中:  $\Psi_{a; b_1, b_2}(x, y) = \frac{1}{a} \Psi^* \left( \frac{x-b_1}{a}, \frac{y-b_2}{a} \right)$  表示  $\Psi(x, y)$  的尺度伸缩和二维位移。 $\frac{1}{a}$  是为了保证小波变换前后其能量不变引入的归一化因子。

图像进行二维小波分解后可得到图像的低频系数、水平高频系数、垂直高频系数和斜线高频系数。

步骤 5: 根据公式(5)对进行 3 层小波变换后图像的低频分解系数进行增强处理, 对高频分解系数进行衰减, 从而达到图像增强的效果, 即小波钝化。

$$\begin{cases} c(i) = 4 * c(i); c(i) > 405 \\ c(i) = 0.1 * c(i); c(i) \leq 405 \end{cases}, \quad (5)$$

其中:  $c(i)$  为图像二维分解后的系数。

步骤 6: 对进行小波钝化后图像进行二值化。

根据公式(6)具体计算:

$$g(x, y) = \begin{cases} 0, f(x, y) < \text{threshold} \\ 1, f(x, y) > \text{threshold} \end{cases}, \quad (6)$$

其中:  $f(x, y)$  为经过小波分解与重构后的图像,  $g(x, y)$  为经过二值化后的图像,  $\text{threshold}$  是二值化选取的阈值。

步骤 7: 对二值化的图像进行像素 0 与 1 的个数统计, 并将此统计数据作为一个数组进行储存, 例如:  $\text{image}[i] = \{\text{pixel}_0\_nums, \text{pixel}_1\_nums\}$ 。

步骤 8: 对于同一模腔多张图像循环步骤 1~7, 获得每张图片的数组, 将数组输入支持向量机, 并将有残留物的数组特性标记为 1, 无残留物的数组特性标记为 -1。获得判断是否含残留物的二分类数学判断模型的具体方法: 选用线性核函数  $K(x_i, x_j) = x_i \cdot x_j$ , 将获得的两类样本  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , 其中  $n$  为获得的样本数。当  $x_i$  为含有残留物的样本类  $w_1$  时  $y_i = 1$ , 当  $x_i$  为不含残留物的样本类  $w_2$  时  $y_i = -1$ 。训练支持向量机, 即求得分类模型  $f(x) = \text{sgn}\{\sum_{i=1}^n a_i^* y_i (x_i \cdot x) + b^*\}$  中的参数  $a^*$  和  $b^*$ 。

### 3.2 算法的运行模式

算法运行模式流程如图 3 所示, 具体步骤如下。

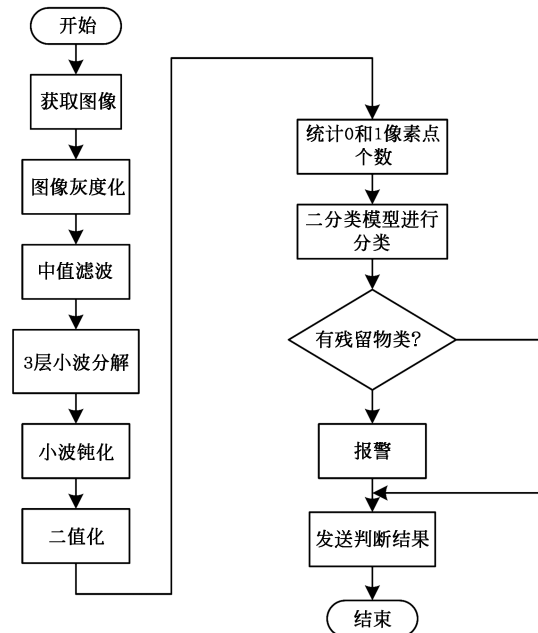


图 3 算法运行模式流程

Fig.3 Operation mode flowchart of algorithm

步骤 1: 获取判断图像数据。

步骤 2: 对判断图像进行灰度化。

步骤 3: 对灰度图像进行滤波。

步骤 4: 对滤波后的灰度图像进行 3 层小波变换。

步骤 5: 对进行 3 层小波变换后图像进行小波钝化, 以突出残留物轮廓。

步骤 6: 对进行小波钝化后图像进行二值化。

步骤 7: 对二值化的图像进行像素 0 与 1 的个数统计, 并将此统计数据作为一个数组进行储存。

步骤 8: 采用判断是否含有残留物的二分类数学模型对步骤 7 的数组进行判断, 以确定该数组是否为含残留物图像的数组。

步骤 9: 将判断的结果通过通讯模块传送给注塑机控制器, 若判断结果为有残留物, 则通过报警模块的蜂鸣器和 LED 灯报警。

## 4 实验与结果分析

验证实验以灰度共生矩阵匹配算法和差影法

作为性能对比算法,此类图像匹配算法对嵌入式硬件平台性能要求严苛,甚至无法在嵌入式平台上运行,因此实验将在同一 PC 平台上通过 MATLAB 进行算法的比较。图像样本采用 7 套  $800 \times 400$  像素的模腔图像,每套模具中有 10 张有残留物的模腔图像,10 张无残留物的图像,其中提取 4 张有残留物和 4 张无残留物的图像作为训练支持向量机的模板,剩余 12 张用作算法论证样本。

以样本模具 5 为例,其原始图像如图 4 所示,图(a)为有残留物,图(b)为无残留物。运用本文算法对模具 5 图像灰度化和中值滤波后的图像效果如图 5 所示,完成小波钝化和二值化后的图像效果如图 6 所示,图(a)中残留物的轮廓得到了有效的凸显。

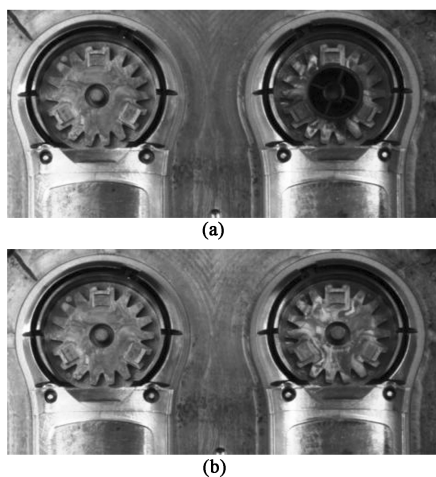


图 4 模腔原始图像

Fig.4 Original image of cavity

将小波钝化后的图像进行二值化,二值化后可通过统计 0 和 1 像素个数得到图(a)有残留物的 0 和 1 像素的值分别为 4 523 和 315 477,图(b)无残留物的 0 和 1 像素的值分别为 2 023 和 317 177。

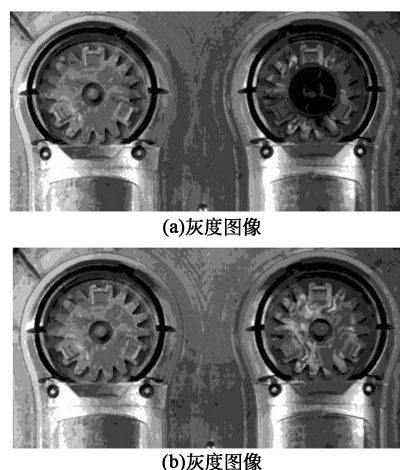


图 5 灰度化与中值滤波后的模腔图像

Fig.5 Cavity image after grayscale and median filtering

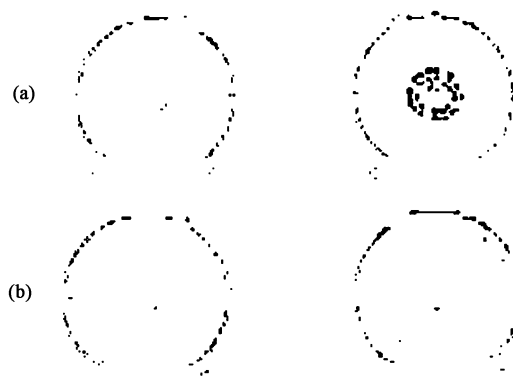


图 6 小波钝化与二值后的模腔图像

Fig.6 Cavity image after wavelet passivation and binarization

获得此模腔多张图像的像素统计值后,通过基于线性核函数的支持向量机进行训练,获得模腔残留物检测准确率为 91.66%。采用相同的实验条件,得出灰度共生矩阵匹配算法和差影法的实验结果,三种算法检测残留物的准确率如表 1 所示,各算法运行耗时如表 2 所示。

表 1 模腔残留物检测准确率

Tab.1 Accuracy of cavity residue detection

| 算法         | 模 腔    |       |     |       |        |      |      | 均值     |
|------------|--------|-------|-----|-------|--------|------|------|--------|
|            | 1      | 2     | 3   | 4     | 5      | 6    | 7    |        |
| 本文算法       | 91.67% | 66.6% | 50% | 100%  | 91.66% | 100% | 100% | 85.71% |
| 灰度共生矩阵匹配算法 | 88%    | 50%   | 20% | 50%   | 50%    | 54%  | 72%  | 54.86% |
| 差影法        | 70%    | 60%   | 50% | 54.5% | 63.6%  | 50%  | 73%  | 60.16% |

表 2 模腔残留物检出耗时  
Tab.2 Time of cavity residue detection

| 算法         | 模 腔     |        |        |         |         |         |         | 均值      |
|------------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            | 1       | 2      | 3      | 4       | 5       | 6       | 7       |         |
| 本文算法       | 0.869 s | 0.99 s | 0.89 s | 0.876 s | 1.013 s | 0.868 s | 0.869 s | 0.910 s |
| 灰度共生矩阵匹配算法 | 24 s    | 24 s   | 25 s   | 20 s    | 24 s    | 23 s    | 27 s    | 23.85 s |
| 差影法        | 1.34 s  | 1.26 s | 0.96 s | 0.79 s  | 1.00 s  | 0.73 s  | 1.30 s  | 1.05 s  |

5 总 结

论文设计的注塑模具保护系统采用嵌入式硬件平台,克服了目前注塑生产中图像检测系统主要运行于工控机的缺点。系统采用小波钝化的方法凸显待测残留物,同时为适应嵌入式平台内存小的特点,提出了基于像素值统计的支持向量机算法。实验结果表明,基于小波钝化的嵌入式图像处理算法无论是算法的实时性还是算法准确率均优于传统的图像匹配算法。另一方面,算法不足之处主要是对个别光照异常情况下采集的图像

检测效果欠佳,下一步算法优化需要解决此类图像的光度补偿问题,使系统性能进一步满足注塑生产的实际需求。

本文算法应用于第 1、4、5、6 和 7 套模具,残留物检测准确率均高于 91%。第 2 套和第 3 套模具检测准确率较低,通过对这两套模腔图像的分析,主要是图像采集过程中光照强度不一样,导致有残留物和无残留物模腔图像进行小波变换与二值化后 0 和 1 像素个数比较接近。下一步算法优化,只需对这种情况进行光度补偿即可。根据表 1 和表 2 实验数据,本文算法相对于灰度共生矩阵匹配算法和差影法具有更高的准确率和更低的耗时。

参 考 文 献:

[1] OTAKE H. Injection molding machine using servo motor and having mold protecting function; US, 4710119 [P]. 1987-12-01.

[2] RUI Y N, WANG M, ZUO D W, *et al.* The research on the method of ultrasonic and electric spark combined to machine diamond cupping mould [J]. *Key Engineering Materials*, 2006, 315-316: 10-14.

[3] WANG B, LI J, WANG C, *et al.* Applications on nanocomposite coating technology in plastic injection mould cavity surface treatment [J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 418-420: 812-817.

[4] 徐长杰.基于机器视觉的模具保护技术研究与实现[D].武汉:华中科技大学,2013.

XU C J.Injecting mold protection method based on machine vision [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)

[5] 任景明,彭勇刚,韦巍.基于光线和位置补偿的注塑机残留物图像检测方法[J].传感器与微系统,2013,32(9):12-15.

REN J M, PENG Y G, WEI W. Detection method for injection molding machine residual product image based on light and position compensation [J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2013, 32(9): 12-15. (in Chinese)

[6] 彭娟.基于机器视觉的模具检测系统技术研究[D].镇江:江苏科技大学,2013.

PENG J.Research of mold detection system based on machine vision [D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)

[7] 詹长明.注塑行业中模具监视系统的设计与开发[D].厦门:厦门大学,2009.

ZHAN C M.Design and development of the mold monitoring system in plastic injection industry [D]. Xiamen: Xiamen University, 2009. (in Chinese)

[8] 马琳.基于机器视觉的模具残留物检测系统研究[D].上海:东华大学,2015.

MA L.Research of residuum detection system based on industrial machine Vision [D]. Shanghai: Donghua University, 2015. (in Chinese)

- [9] 陈燕芹,段锦,祝勇,等.基于纹理特征的图像复杂度研究[J].中国光学,2015,8(3):407-414.  
CHEN Y Q, DUAN J, ZHU Y, *et al.* Research on the image complexity based on texture features [J]. *Chinese Optics*, 2015, 8(3): 407-414. (in Chinese)
- [10] 胡朱华,张瑞林,张晓文,等.注塑生产中残留物监测系统研究[J].工业控制计算机,2011,24(5):54-55.  
HU Z H, ZHANG R L, ZHANG X W, *et al.* Research on residue monitoring system in injection molding production [J]. *Industrial Control Computer*, 2011, 24(5): 54-55. (in Chinese)
- [11] 许佳佳.结合 Harris 与 SIFT 算子的图像快速配准算法[J].中国光学,2015,8(4):574-581.  
XU J J. Fast image registration method based on Harris and SIFT algorithm [J]. *Chinese Optics*, 2015, 8(4): 574-581. (in Chinese)
- [12] 姜旭飞.基于 DM6437 的模具监视系统设计与实现[D].杭州:浙江工业大学,2013.  
JIANG X F. Design and implementation of DM6437-based mold monitoring systems [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2013. (in Chinese)
- [13] 郑贤良,刘瑞雪,夏明亮,等.液晶自适应光学视网膜校正成像技术研究[J].中国光学,2014,7(1):98-104.  
ZHENG X L, LIU R X, XIA M L, *et al.* Retinal correction imaging system based on liquid crystal adaptive optics [J]. *Chinese Optics*, 2014, 7(1): 98-104.
- [14] 陈莹,朱明.多子直方图均衡微光图像增强及 FPGA 实现[J].中国光学,2014,7(2):225-233.  
CHEN Y, ZHU M. Multiple sub-histogram equalization low light level image enhancement and realization on FPGA [J]. *Chinese Optics*, 2014, 7(2): 225-233.

**作者简介:**周文辉(1972—),男,广东中山人,硕士,副教授,主要从事嵌入式图像处理方面的研究。E-mail:zwhmailbox@tom.com

程玉华(1978—),男,2007年毕业于四川大学,获工学博士学位,现为电子科技大学自动化工程学院教授、测试技术及仪器研究所(教育部工程中心)电力与新能源技术教研室主任,主要从事光电精密检测技术、电力系统自动化和新能源技术方面的研究。