

# 基于机器视觉的化成箔缺陷在线检测系统设计

蒋忠凌 廖俊必 黄玉波 陆小龙

(四川大学制造科学与工程学院 成都 610065)

**摘要:** 针对目前化成箔缺陷检测效率低、劳动强度大、检测精度差等问题设计了基于机器视觉的化成箔缺陷在线检测系统。本系统针对图像对比度较低的化成箔,根据不同类型缺陷所需的不同条件光照效果,采用了特定的光源光照方式,使用高性能(CCD)工业相机实时自动获取化成箔的图像,以 OPENCV 处理函数库为基础,采用 VS2008 平台编写可视化操作界面,结合后续处理算法对化成箔的各种缺陷进行检测。后续图像处理部分,运用 CLAHE 与 Niblack 局部自适应二值化相结合的方法,配合 Blob 分析较为准确地实现了缺陷区域分离算法;运用霍夫变换与掩膜相结合的方法实现了边缘区域背景去除算法。经过在化成箔生产线上的大量实验结果表明,该系统能准确地完成缺陷的在线检测。

**关键词:** 机器视觉;缺陷检测;化成箔;CLAHE;blob 分析;OPENCV

**中图分类号:** TP23      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 510.4050

## Defects on-line detection system design for formed foil based on machine vision

Jiang Zhongling Liao Junbi Huang Yubo Lu Xiaolong

(College of Manufacturing Science &amp; Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** This paper designed a defect on-line detection system for formed foil based on machine vision, in order to solve several problems in the detection of formed foil, such as inefficiency, high labor intensity and low deflection precision. Aiming at low contrast of the images of formed foil, in view of different types of defects needing different light source, with special illumination mode, this system used high-performance CCD to acquire images, was based on OPENCV and programmed for visual operation interface applying VS2008, worked in with the following algorithm to detect defects. In the subsequent processing part, this paper applied the methods of CLAHE and Niblack's local adaptive threshold working in with the blob analysis to design the extraction algorithm, and applied the methods of Hough transformation and mask to design the removal algorithm of background around edge region. According to many experimental results of the system applying on the actual formed foil production line, this system can detect defects accurately.

**Keywords:** machine vision; defects detection; formed foil; CLAHE; blob analysis; OPENCV

## 1 引言

化成箔是由特制的高纯度铝箔经过电化学或化学腐蚀后扩大表面积,再经过电化成作用在表面形成一层氧化膜(三氧化二铝)后的产物。随着电子工业水平的不断发展,化成箔产量和使用量都不断增长,用途广泛,市场前景广阔。但其生产过程中,由于原材料本身的易撕裂易折皱性、轧制设备和工艺的非理想性、高速生产过程中的振动摩擦以及生产线周围环境中的蚊虫、灰尘等干扰因素可能导致铝箔表面出现针孔、起皱、起鼓、划痕、虫斑、黄斑、黑斑等不同类型的缺陷。这些缺陷不仅影响产品的外观,更降低了产品的电容参数、耐磨性和

疲劳强度等使用性能。

传统的铝箔缺陷检测依靠人工运用倒箔器将成品化成箔重新打开倒箔人工目测和估算并记录。这种方法存在漏检率较高、稳定性低、判断标准主观化、结果的偶然性、浪费资源等问题,而且效率低、劳动强度大、检测精度差。目前基于机器视觉和图像处理技术的在线检测方法具有非接触、快速、自动化程度高、重复性好和可靠性高等特点,在表面检测领域应用广泛<sup>[1]</sup>。该文围绕化成箔生产线实际检测需求,以计算机视觉技术为基础,以图像处理技术为主要方法,设计了一套基于计算机视觉的电容铝箔缺陷在线检测系统,用以克服人工检测的各方面不足。

## 2 工作原理及系统组建

### 2.1 系统要求及硬件组成

系统须对宽度约为 500 mm 且 24 h 不间断运作的化成箔生产线末端的移动速度在 1~2 m/min 的成品箔正反两面不间断采集图像,进行图像之后检测出最小直径为 1 mm 的缺陷,并判断缺陷的类型,获取缺陷的尺寸及位置。

根据检测系统要求,确定出系统的主要硬件部分由一正一反两组相机镜头、遮光箱体、固定支架结构、1 台工控机和 1 个带 485 通信的计数器以及与计数器相匹配的计米轮和编码器组成。

正反两组相机镜头与遮光箱体和固定支架结构结合以实现化成箔正反两面进行图像采集;工控机用于图像数据的运算传输、处理和储存;计米轮和编码器与生产线末端收箔器轴相连,通过计数器对已移动长度进行计数。

### 2.2 工作原理

首先,根据相机采集图像的横向宽度值与图像的宽高比,计算出相机拍摄视场范围纵向高度。如图 1 所示,当系统开始工作时,收箔器卷轴端的计米轮编码器发送脉冲给计数器进行计数,调节计数器倍率使计数器显示数值与实际移动距离数值相符,工控机实时循环读取计数器数值,当铝箔移动距离达到相机拍摄视场范围纵向高度值即自动触发一次相机采集图像并进行后续处理,即实现了对化成箔正反两面不间断无遗漏地自动采集图像并处理。

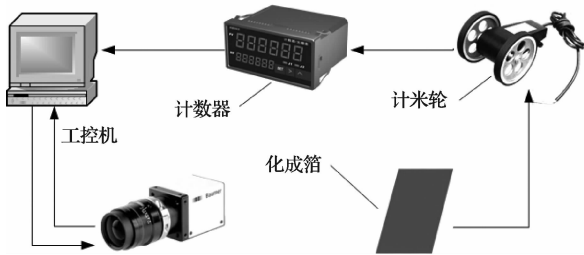


图 1 系统工作原理

### 2.3 相机及镜头选择

结合对铝箔在线检测系统的要求,相机及镜头应该考虑以下几点:

1) 要求能分辨最小 1 mm 直径的缺陷,而化成箔的箔幅面宽度约为 500 mm,考虑到箔面边界上可能存在如边裂、缺口等缺陷,横向视场范围应不低于 550 mm,因此初步估计相机的横向分辨率应不低于 1 100 个像素;

2) 化成箔以大约 1~2 m/min 的速度移动,为了保证得到质量较好的原始图像,相机快门及感应速度应较快,所以选择高速成像性能更佳的 CCD 感光元件;

3) 铝箔生产线 24 h 持续运作,要求相机能 24 h 持续稳定工作;

4) 由于生产线排布紧凑,相机镜头的安装空间十分有

限,相机镜头应尽可能靠近箔面而不过多占用其上、下部分空间,因此镜头需选用广角镜。

因此选择质量可靠且能长时间持续稳定工作的工业级相机,所以该系统采用的是德国 baumer 公司的 TXG12 CCD 工业相机,分辨率 1 296×966,最大帧率 32;镜头选用采用 Computar H0514-MP2 广角镜头,最大变形率为 -2.26%,满足大视场的同时保证了较小的变形率,为比较理想的镜头选择。经试验,该相机和镜头均满足缺陷检测的拍摄要求。

### 2.4 光源及光照方式

在一个计算机视觉系统中,光源照明方案的好坏往往会决定整个系统的优劣。化成箔的表面缺陷可分为 3 类:

1) 透光类,缺陷具有穿透铝箔两面材料的特征,可能有材料缺失,包括针孔、孔洞、开裂、磕破等;

2) 凹凸类,表面不平整,具有一定凹凸起伏的特性,包括起皱、起鼓等;

3) 平面类,缺陷与正常箔面相比有一定的色差,包括黄斑、虫斑、灰斑、黑线、亮线、划痕、印痕等。

实际生产线上的被测箔面与垂直方向的夹角约为 37°。经过反复的实验,为了兼顾各种缺陷的成像效果,光源照明方案如图 2 所示。由于生产线 24 h 持续运作,因此采用寿命较长、亮度较高的 LED 光源。在相机同侧的视场上端或下端,采用一根条形 LED 条形光源平行于地面照射向箔面,与箔面垂直距离约 15 cm,在箔面的另一面放置一块 600 mm×600 mm 的面阵 LED 光源。这种正面斜向光照和反面面阵补光的方式,不仅最大限度地突出了凹凸类缺陷的特征,也极大地增强了透光类缺陷的对比度。但同时也带来视场范围内上下箔面光照强度不均的问题,在后续的处理中利用图像处理的方式进行补偿可以解决这一问题。

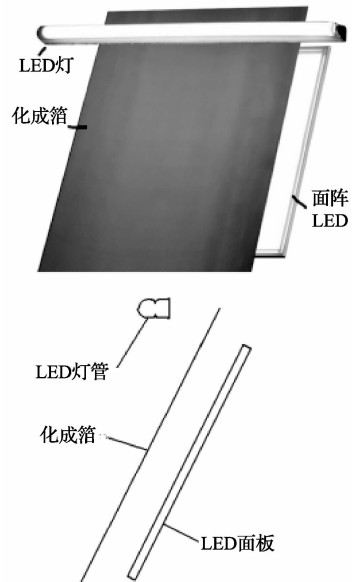


图 2 光源及光照方式

为了尽可能减少周围环境光照的影响,还设计并制作了与条形光源尺寸和相机位置相匹配的箱体结构。

### 3 标定

本系统程序部分是在 VS2008 环境下进行编写,采用 MFC 对话框实现可视化操作界面。同时大量调用第三方图像处理函数库 OpenCV (open source computer vision library) 进行图像处理, OpenCV 是针对数字图像处理应用的开源视觉处理函数库,具有强大的图像处理、图像拼接、模式识别等功能<sup>[2]</sup>。

铝箔缺陷检测结果需要定量和定性,加之采用了广角镜头,由此产生的一定程度的畸变所带来的影响也是要考虑到,标定必不可少。目前比较成熟的相机标定方法主要有 Tsai<sup>[3]</sup>的两步法、张正友<sup>[4]</sup>的基于平面的标定的方法以及相应的改进算法、基于单目视觉系统平面标定<sup>[5]</sup>、基于正交直线构造的摄像机畸变标定方法<sup>[6]</sup>,这些算法能够较精确地标定出相机的内参数和外参数以及畸变参数。综合考虑,采用张正友<sup>[4]</sup>的平面标定方法。

OpenCV 和 MATLAB 中都提供有基于张正友<sup>[4]</sup>标定法的标定函数和标定工具箱,但在运用过程中发现 OpenCV 的自动查找角点可能出现遗漏的情况,为了更加精确地查找到所有角点,这里本文使用 MATLAB 的标定工具进行手动辅助查找角点。实验所使用的是一块 600 mm×600 mm 的标定板,首先对标定板进行各个角度地拍摄,如图 3 所示,得到以下一组待标定图像,依次导入 MATLAB 标定程序后,对各个图像进行角点提取,得出相机内外参数以及畸变系数。

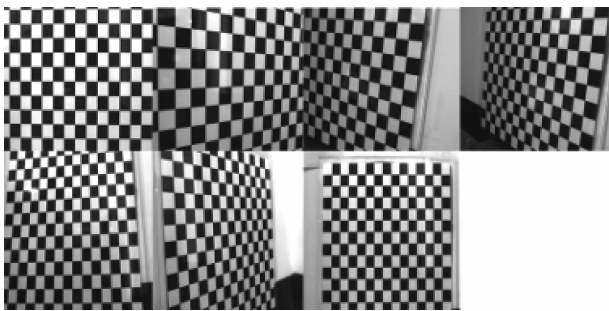


图3 标定板

标定时,利用 Canny 边缘检测和霍夫直线变换查找到所拍摄化成箔图像的左右两边界线,计算出两边界线之间的横向平均距离,根据实际幅宽 500 mm,得出实际拍摄平面与采集图像像素之间的比例关系。程序每启动或自动或手动进行重新标定,默认值设置为  $500 \text{ mm}/1\ 150 \text{ Pixel} = 0.434\ 782 \text{ mm}/\text{Pixel}$ 。

## 4 相关算法及处理流程

### 4.1 相关算法

由于生产现场环境较复杂,加之 24 h 昼夜交替,环境光照对图像采集不免会有一定影响,为了尽量降低这种影响就要求处理部分算法具有一定的柔性、自适应性。以下是几种处理部分运用较多的重要算法。

#### 4.1.1 局部自适应阈值

局部自适应阈值通过定义考察点的邻域,比较考察点与其邻域的灰度值来确定当前考察点的阈值。在非均匀光照条件的情况下,较全局阈值有着更广泛的应用<sup>[7]</sup>。

常见的局部阈值法有 Bernsen<sup>[8]</sup>算法和 Niblack<sup>[9]</sup>算法,本文使用的 Niblack<sup>[9]</sup>算法,根据局部均值和局部标准差计算阈值,是一种对于噪声和光照不均匀的情况有较强的抵抗能力的简单有效的局部自适应阈值算法。

#### 4.1.2 CLAHE(contrast limited adaptive histogram equalization)

对于低对比度的图像信息增强,传统的图像增强方法有很大的局限性,如直方图均衡化对图像进行全局增强,加大了噪声或引入新的噪声。局部直方图均衡化,虽然克服了全局直方图均衡化难以适应局部灰度分布的缺陷,但其均衡化后块效应明显。

CLAHE-限制对比度直方图均衡化,将图像分配为若干个子区域,限制对比度后进行直方图均衡化,获得每个子区域中心点作为样本点进行灰度线性插值。CLAHE 既具有局部直方图均衡化的适应图像不同部分灰度差异的特点,又有全局直方图均衡化的灰度分布较为协调的效果,对于化成箔这样的低对比度图像进行图像增强有很好地效果<sup>[10-12]</sup>,如图 4 所示,为 CLAHE 应用于铝箔酸斑缺陷的增强效果与传统直方图均衡化的对比图。



(a)酸斑原图 (b)直方图均衡化处理结果 (c)CLAHE处理结果

图4 CLAHE 处理效果

#### 4.1.3 Blob 分析

Blob(连通域)即指图像中的具有相似颜色、纹理等特征所组成的一块连通区域。Blob 分析即将图像进行二值化后,分割得到前景和背景,然后进行连通区域检测从而得到 Blob 块的过程。Blob 分析广泛应用于工业检测,特别是表面缺陷在线检测应用领域。

4.1.4 灰度补偿

为了突显凹凸类缺陷的在采集图像上的起伏状特性而采取的特殊单侧斜向照明方式,也引入了新的问题,即采集图像中,化成箔上端较下端更亮,至上而下呈现由亮到暗的渐变变化趋势,所以采用了一种简单有效的灰度补偿算法,在预处理阶段进行灰度补偿,抵消掉一部分由照明不均带来的影响。

$$Avg = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(i,j) / (n \times m) \quad (1)$$

$$Avg_i = \sum_{j=1}^m p(i,j) / m \quad (2)$$

$$compensate_i = Avg - Avg_i \quad (3)$$

$$p(i,j)' = p(i,j) + compensate \quad (4)$$

式中:  $Avg$  为平均灰度值,  $Avg_i$  为第  $i$  行平均灰度值,  $compensate_i$  为第  $i$  行补偿值,  $p(i,j)$  及  $p(i,j)'$  分别为  $(i,j)$  像素点补偿前后灰度值。如式(1)~(4),先计算出整幅图像中,中间化成箔部分的平均灰度值,再依次计算出每一行的平均灰度值,最后用全局平均值减去各行平均灰度值得到的差值分别补回各行。实验结果表明,该算法可以有效抵消掉大部分由照明不均带来的影响,且不会削弱缺陷的图像显示特征。

4.2 处理流程

由于边缘需要考虑背景消除的问题,情况较中间更为复杂,且边缘部分的缺陷较中间部分特征有所不同,所以将边缘和中间分别设置感兴趣区域(region of interest, ROI) 进行处理。

4.2.1 中间部分

处理流程如图,首先,根据标定时得到的化成箔中间部分的幅宽,尽可能多的将中间图像部分设置为 ROI,进行灰

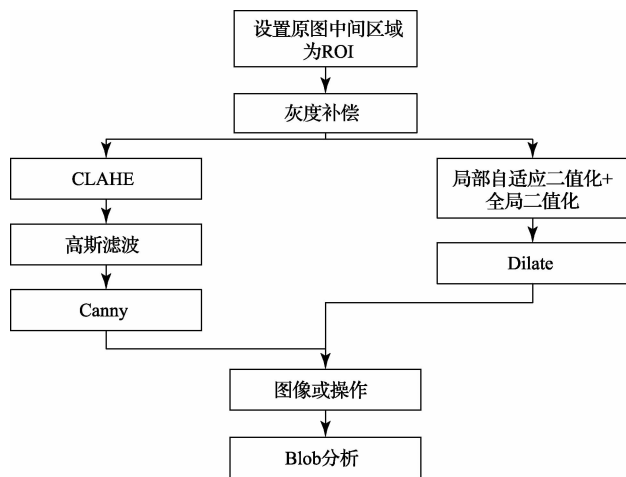


图 5 中间部分处理流程

度补偿抵消光照不均的影响。之后如图 5 所示,分为两路进行处理,由于 CLAHE 灵敏度高,所以其中一路主要检测“相对不明显”的缺陷,配合 Canny 等算法可提取到“相对不明显”的缺陷的大致轮廓,也可能提取到部分“相对明显”的缺陷;而一路采用局部自适应阈值算法,将提取到“相对明显”的缺陷。将两路所得结果进行或操作即实现中间部分缺陷的分离。

将得到的缺陷分离出来的二值图像进行 Blob 分析。得到各个缺陷块的最小外接矩形,并将原始图像上相同大小位置的部分设置 ROI 进行再次处理,得出缺陷尺寸和中心位置,并结合计数器读数,得到缺陷位于整卷箔的位置。再对缺陷进行分类:

1)透光类,背面的大面积面阵 LED 光源会使透光类缺陷呈现高灰度特征,查找 ROI 最大灰度值即可实现分类,错判率很低;

2)起伏类,由于从一端斜向光照,起伏类将呈现灰度值相对整体灰度均值呈现“一高一低”的渐变特性,这种分类方式有一定的缺陷,有待后续研究改进;

3)平面类,将非透光类和非起伏类均归为平面类。

前后处理结果如图 6, (a) 为采样原图, (b) 中将 (a) 中的缺陷进行自动标记, 下面 3 张图分别为 3 个缺陷的细节放大图。

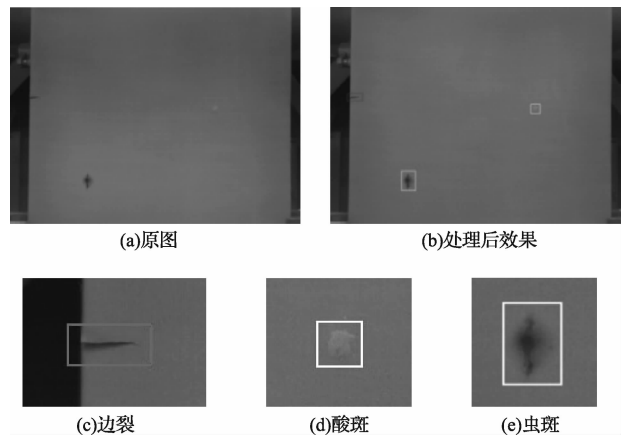


图 6 前后处理结果

4.2.2 边缘部分

首先,需将背景部分的影响剔除掉。将其中一侧边缘部分设置为 ROI,这个 ROI 与中间部分的 ROI 有少许的重叠部分以防止漏检。利用 Canny 与 Hough 变换配合得到化成箔边缘,再利用掩膜实现背景与化成箔的分离边缘部分处理流程如图 7 所示。

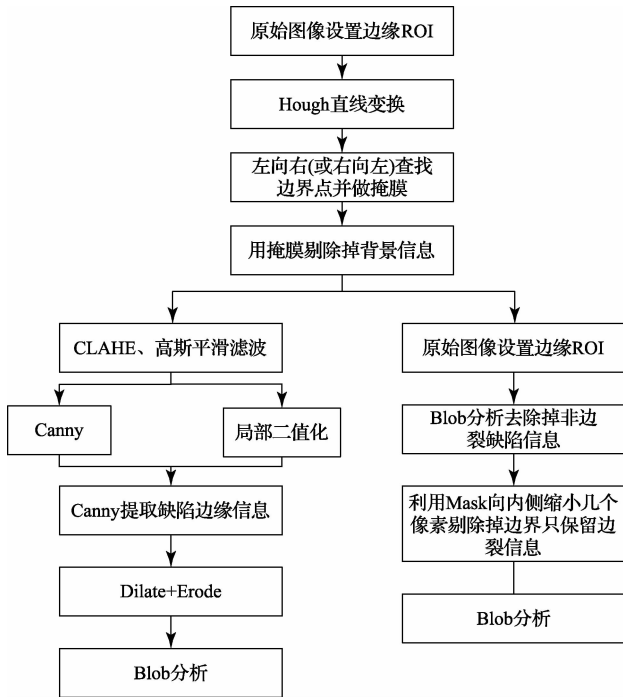


图7 边缘部分处理流程

得到分离背景之后的图像后,分为两路进行后续处理。一路运用 Blob 分析去除掉非边界缺陷剔,利用刚才生成的掩膜收缩像素宽度膜剔除掉正常的边界信息,此时便只留下边裂和缺口等边缘缺陷的信息,再次利用 Blob 分析得出其尺寸、位置即可;另一路则在剔除掉边界信息后,类似于中间部分处理算法得到非边缘缺陷的信息,部分处理过程如图 8 所示。

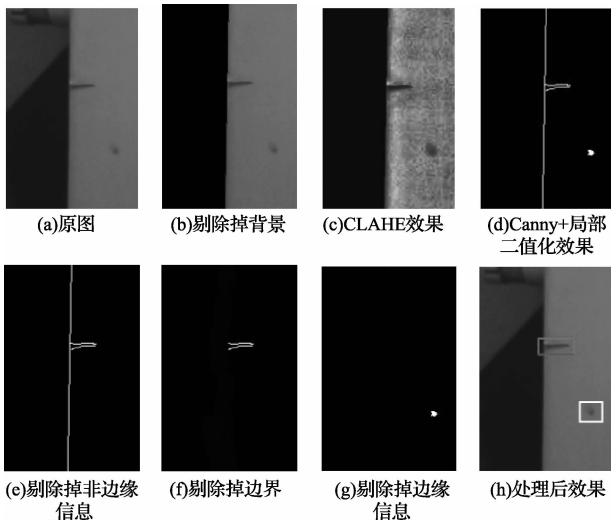


图8 边缘处理过程

### 5 实验结果

系统可视化界面如图 9 所示,左右各一组生产线,上下分别为正反两面实时采样情况,右侧控件实时显示已检测到的缺陷与尺寸位置信息。经过大量的实验和现场调试,针对实际生产线上的化成箔进行实验测试,其中生产线行进速度约为 1 m/min,分为五卷箔进行,平均每卷箔长度约为 330 m,测试总长约为 1 650 m,将检测系统测试结果与人工倒箔检测结果进行对比,如表 1 所示。



图9 程序界面

表1 实现结果

总长/m	人工	系统(含人工)	错检
332	15	25(15)	2
345	12	21(12)	1
326	17	31(16)	0
327	23	35(23)	0
352	27	36(25)	2

其中,错检即为将非缺陷情况错判为缺陷;系统较之人工多检出的非错检缺陷数即为有缺陷但不严重可选择性记录。通过以下实验结果,我们可以看出,缺陷检出率 96.8%,错检率 3.4%。根据上述方案设计的电容铝箔在线检测系统的现场测试对比如图 10 所示。



图10 主体实物装配前后对比

## 6 结 论

本文提出的基于计算机视觉的电容滤波在线检测系统,采用工业级面阵 CCD 根据生产线计数器读数实时采集图像,工业计算机实时对图像进行处理并记录结果。该系统能够克服人工进行倒箱抽查的资源浪费、劳动强度大、效率低等缺点,并且可实现全线全检。

在下一个阶段,将进一步改进算法,提高检出率和识别准确率,降低错检率。相机和光源固定的箱体结构也将进一步优化,并且系统可增加报警器和实时标记器等缺陷信息反馈装置。

## 参考文献

- [1] 杜玉军,高明,辛维娟,等. 基于机器视觉的闭气塞表面缺陷自动检测系统[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(4):13-16.
- [2] 代雷,吴迪,张健. 基于 OpenCV 视觉库的 ESPI 图像增强技术研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(10):975-979.
- [3] 徐杰. 机器视觉中摄像机标定 Tsai 两步法的分析与改进[J]. 计算机工程与科学, 2010(4):45-48.
- [4] 王政,胡志雄. 基于张正友标定算法的内参数线性与非线性解算[J]. 郑州师范教育, 2013(2):63-66.
- [5] 尹英杰,徐德,张正涛,等. 基于单目视觉的平面测量[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(4):347-352.
- [6] 徐嵩,孙秀霞,刘树光,等. 一种基于正交直线构造的摄像机畸变标定方法[J]. 仪器仪表学报, 2013,

34(9):2118-2123.

- [7] 王序哲. 局部自适应二值化方法研究[J]. 软件导刊, 2011, 10(11):13-14.
- [8] 孟立娜,韩其睿. 一种全局和局部相结合的二值化方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2012(11): 116-119.
- [9] 吴留生,陈家新,黎蔚. 基于 Niblack 的手掌静脉图像二值化技术研究[J]. 通信技术, 2010, 43(1): 112-114.
- [10] 王建,庞彦伟. 基于 CLAHE 的 X 射线行李图像增强[J]. 天津大学学报:自然科学与工程技术版, 2010(3):194-198.
- [11] 杨有,李波. CLAHE 和细节放大相结合的档案图像增强方法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(4): 522-527.
- [12] 张璞,王英,王苏苏. 基于 CLAHE 变换的低对比度图像增强改进算法[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2011, 126(4):57-60.

## 作者简介

**蒋忠凌**, 硕士研究生。主要研究方向为机器视觉及图像处理。

E-mail: 374519181@qq.com

**廖俊必**, 工学博士, 教授、博士生导师。主要研究方向为视觉系统应用、测控技术及智能仪器。

E-mail: liaojunbi@scu.edu.cn