

文章编号 1004-924X(2013)10-2603-07

基于正交双目视觉的药液杂质粒径标定

李 伟, 王伯雄*, 杨春毓

(清华大学 精密仪器与机械学系 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 北京 100084)

摘要:灯检机是利用机器视觉技术对药液中可见异物进行检测的机器。为了利用全自动灯检机获取中药液杂质粒径和其成像大小之间的精确标定曲线,提出了基于正交双目视觉的杂质粒径标定方法。首先,根据空间匹配建立杂质颗粒在正交相机图像中的对应关系,得到杂质颗粒在图像中的三维空间坐标;然后,根据杂质颗粒的坐标计算由柱形瓶装药液带来的一维放大率误差并对杂质颗粒图像进行图像几何校正,再根据杂质颗粒坐标进行杂质离焦误差系数计算,从而获得杂质颗粒图像大小的精确值。对滴加了粒径为 $50\ \mu\text{m}$ 的标准颗粒的西林水剂瓶进行粒径标定,使杂质粒径测定值的离散度系数从 0.11 降低到了 0.05。实验表明,此方法可以获得高精度的粒径标定曲线,实现灯检机对药液中杂质粒径的精确判定。

关键词:灯检机;粒径标定;正交双目视觉;图像几何校正;离焦误差

中图分类号:TH821;TP242.62 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20132110.2603

Particle size calibration of impurities in bottled liquid based on orthogonal binocular vision

LI Wei, WANG Bo-xiong*, YANG Chun-yu

(State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments,

Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

* Corresponding author, E-mail: wangbx@mails.tsinghua.edu.cn

Abstract: Light inspection machine is a detecting instrument for visible impurities in liquid by machine vision technology. In order to establish a calibration curve between the particle sizes of impurities in the liquid and their image sizes in the intelligent inspection machine, a calibration method of particle sizes was proposed based on orthogonal binocular vision. First, the correspondence relationship of the impurities in the orthographic camera images was created based on the image spatial location matching and 3D spatial coordinates of the impurity particles in images were obtained. Then, according to the obtained three-dimensional coordinates of the impurity particles in liquid images, one-dimensional magnification errors of cylindrical liquid were calculated, the geometric correction of impurity particle images was completed and the defocused error coefficient was also obtained. Furthermore, the precise values of image sizes of the impurity particles were calculated. Finally, the standard particles with a diameter of $50\ \mu\text{m}$ in a penicillin bottle were calibrated. Calibration results show that the dispersion

收稿日期:2013-04-24;修订日期:2013-05-30.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 11274199)

coefficients of impurity particle sizes are reduced from 0.11 to 0.05. The experiments indicate that this method can get a particle size calibration curve with a high precision and can help the light inspection machine to measure the particle sizes of impurities in the liquid accurately.

Key words: intelligent inspection machine; particle size calibration; orthogonal binocular vision; geometric image correction; defocused error

1 引言

利用机器视觉技术对药液进行检测的全自动灯检机有 3 个关键环节:利用工业相机 CCD (charge-coupled device) 采集含有杂质信息的药液图像;对图像进行处理,搜索杂质区域信息;根据杂质粒径标定曲线,判断杂质粒径是否超标,从而实现了对瓶装药液的准确分拣。杂质粒径标定曲线的获得是整个药液检测过程的重要基础和必要前提。根据国家药典规定,合格药液中的杂质异物的粒径不得大于 $50\ \mu\text{m}$ ^[1],因此药液中杂质粒径的标定就是建立粒径为 $50\ \mu\text{m}$ 的杂质与其在 CCD 中成像大小之间的关系。

检测粒子粒径常用的技术有掺镨光纤放大器 (PDPA) 技术^[2-3]、粒子成像测速 (PIV) 技术^[4-5],其中 PDPA 技术由于无法记录瞬时流场信息,得到的粒径值是时间上的统计测量值,而 PIV 技术则主要应用于高速流场中颗粒粒径的分布测量,粒径测定需要得到流场中不同位置清晰图像的比对结果才能确定,而且 2 种技术测量的流场粒子均处在没有光学折射的环境中。药液中所含的杂质颗粒,空间分布密度低,运动速度小,而且还有柱形玻璃瓶包装带来的干扰,需要使用新的方法对其粒径分布进行测量。

基于机器视觉的全自动灯检机可以获得含有杂质信息的药液图像,有的学者通过杂质图像的线宽来进行粒径标定^[6],但没有考虑杂质目标离焦以及柱形药液放大效果带来的误差,标定结果并不理想。

基于以上分析,本文提出了一种基于正交双目视觉的杂质粒径标定方法。该方法可以精确计算得到药液中每个杂质因为离焦和光线折射带来的粒径测量误差,获得准确的杂质图像粒径,从而得到精确的粒径标定曲线。使用本文方法对 $50\ \mu\text{m}$ 的标准颗粒进行了标定,将粒径测量值的离散度系数从 0.11 降低到了 0.05。实验表明,本

文方法可以运用在灯检机中对瓶装药液中杂质粒径进行精确测量,实现对药液的准确分拣。

2 杂质颗粒的离焦误差

2.1 灯检机机器视觉系统的定焦

全自动灯检机的机器视觉系统在拍摄图像前要对瓶装药液进行旋转、急停操作,以使杂质颗粒可以在药液中运动起来,更好地在 CCD 中成像。

根据皮运正等人对旋转液体中颗粒分布研究^[7],旋转、急停后的药液中的杂质有向中心运动的趋势,因此 CCD 镜头的定焦物平面即对准平面一般定在药液瓶的中心轴面。在 CCD 拍摄图像时,如果杂质不在对准平面上,在粒径标定时就会产生离焦误差。

2.2 杂质颗粒的离焦误差计算

如图 1 所示的离焦成像光路图,一个点目标如果不在对准平面上,其所成像会变成一个弥散斑^[8-9]。弥散斑的大小与离焦量直接相关。

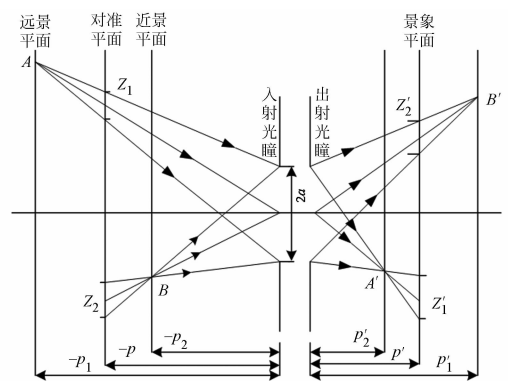


图 1 离焦成像光路图

Fig. 1 Path diagram of defocused beam

设远景平面、对准平面、近景平面到入射光瞳的距离分别为 p_1 、 p 和 p_2 ,它们在像空间对应的共轭面到出射光瞳的距离分别为 p'_1 、 p' 和 p'_2 ,景象平面和对准平面上的弥散直径分别为 z_1 、 z_2 和 z'_1 、 z'_2 。根据物像共轭面的关系有:

$$\begin{cases} z_1' = \beta z_1 \\ z_2' = \beta z_2 \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{z_1}{2a} = \frac{p_1 - p}{p_1} \\ \frac{z_2}{2a} = \frac{p - p_2}{p_2} \end{cases}, \quad (2)$$

其中: $2a$ 为入射光瞳直径,联立式(1)、(2)可以得到成像的弥散直径为:

$$\begin{cases} z_1' = 2a\beta \frac{p_1 - p}{p_1} \\ z_2' = 2a\beta \frac{p - p_2}{p_2} \end{cases}. \quad (3)$$

CCD 是一个定焦光学系统,它的入射光瞳直径满足:

$$F = f/2a, \quad (4)$$

式中: F 为光学系统的相对孔径, f 为光学系统的焦距。CCD 的光学系统满足高斯公式,设 l' 为像距, l 为物距,则有:

$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f}, \quad (5)$$

这样给定实际中物距 l ,垂轴放大率 β 可以由式(6)求出:

$$\beta = \frac{l'}{l} = \frac{fl/(f+l)}{l} = \frac{1}{1+l/f}. \quad (6)$$

CCD 的像元尺寸即 CCD 的像方分辨率尺寸,设为 z' ,则物方分辨率尺寸 z 满足:

$$z = z'/|\beta|, \quad (7)$$

远景深 $p_1' - p$ 和近景深 $p - p_2'$ 为:

$$p_1' - p = -l \cdot z/(2a - z), \quad (8)$$

$$p - p_2' = -l \cdot z/(2a + z). \quad (9)$$

由于现在 CCD 的像方分辨率普遍在微米级别,而入射光瞳直径在毫米级别,所以对于一个 CCD 有 $p_1' \approx p_2' \approx p$ 。

由此点目标离焦 Δd 形成的弥散斑直径 z_d 为:

$$z_d = 2a\beta \frac{\Delta d}{p}. \quad (10)$$

以上计算是针对点目标得到的,对于药液中的杂质颗粒,其离焦误差是由颗粒边缘的弥散斑造成的,可以将边缘看作点目标集合,则杂质颗粒的离焦误差对粒径计算造成的误差值满足式(10),它的大小将由杂质和对准平面(药瓶中心轴平面)的距离决定:

$$\Delta r_1 = 2 \times \frac{z_d}{2} = 2a\beta \frac{\Delta d}{p_j}. \quad (11)$$

代入常用的工业 CCD 镜头参数进行计算, $f = 12 \text{ mm}$, $F = 1.4$, $z' = 2.5 \text{ }\mu\text{m}$,物距为镜头和药的距离,设为 $l = 200 \text{ mm}$,最大离焦距离取西林药瓶的半径为 5 mm ,则计算粒径大小为 $50 \text{ }\mu\text{m}$ 的杂质因离焦产生的误差为 $12 \text{ }\mu\text{m}$,误差不可忽略。

根据以上分析可知,离焦带来的粒径测量误差是叠加在粒径测量值上的,直接减去即可。

3 柱形药液的一维放大误差

全自动灯检机检测的为安瓿瓶装或者西林瓶装的药液。安瓿瓶或者西林瓶为柱形瓶,注满药液后可以看作柱形透镜,柱形透镜对物体有一维放大的效果,因此灯检机拍摄获得的杂质图像都有横向拉长的趋势。

处于柱形透镜光轴附近的杂质颗粒的放大率可以用球面折反射公式进行推导,设杂质距离 CCD 一侧药液瓶壁的距离为 d ,则物距 $s = -d$,折射率 n 取水的折射率为 1.33 ,球面半径为柱形药瓶的半径为 R ,则物方焦距 f :

$$f = -\frac{n}{1-n}(-R) = -4R, \quad (12)$$

则放大率 β 满足式(13),是物距 s 的反比例函数。

$$\beta_d(d) = -\frac{f}{s-f} = \frac{4R}{4R-d}. \quad (13)$$

对于偏离柱形透镜光轴的杂质颗粒,其放大率不能使用以上 2 式进行计算,采用实验标定的方法进行标定,将 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 坐标纸置于半球面透镜下,得到图像如 2 所示。

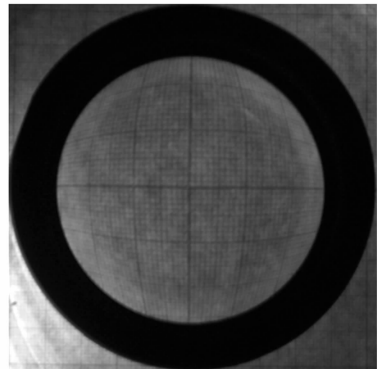


图 2 远轴放大率标定

Fig. 2 Calibration of abaxial magnification

根据球面镜的对称特性,统计球面中轴直径上单侧每毫米的像素数,得到 30 个数据,表 1 表示的是球面镜中心直径方向从中心到两边坐标纸每变化 5 mm,图像像素数的差值。

表 1 50 微米标准颗粒标定结果

Tab. 1 Result of calibration

微粒 标号	偏心量 /pixel	放大 系数	离焦量 /pixel	修正前粒 径/pixel	修正后粒 径/pixel
1	20	1.11	0.96	4.9	3.5
2	38	1.11	0.78	4.4	3.3
3	67	1.06	0.51	4.1	3.4
4	92	0.86	0.30	3.9	3.6
5	110	0.67	0.15	3.8	3.7
6	-17	0.67	1.36	4.6	3.2
7	-59	0.52	1.87	5.2	3.3
8	-42	0.69	1.65	4.8	3.2
平均值	—	—	—	4.5	3.4
标准差	—	—	—	0.48	0.18
离散系数	—	—	—	0.11	0.05

设 d' 为杂质横向偏离光轴的距离, a 为杂质横向偏离光轴的距离的相对值,二者满足 $a=d'/R$, 根据得到的 30 个测量数据的进行二阶拟合,得到远轴放大率标定函数为:

$$\beta_p(a) = k_2 a^2 + k_1 a + k_0, \quad (14)$$

式中: a 为杂质偏离光轴的距离的相对值,拟合系数 $k_2 = -0.5633$, $k_1 = -0.1845$, $k_0 = 1.0343$ 。

由上分析可知,柱形药液的一维放大带来的误差,主要是将杂质图像横向拉伸造成的,在计算杂质粒径之前,需要先对杂质图像进行图像几何变换和横向压缩,才能进一步测定杂质的粒径。

4 正交双目视觉中颗粒的粒径标定

从第 2、3 节的分析可知,杂质颗粒由于离焦或者柱形药液一维放大产生的误差量均与其距离 CCD 一侧瓶壁的距离相关。只要能够得到杂质颗粒在药液中的三维坐标即可求得其与 CCD 一侧瓶壁的距离。

4.1 正交双目视觉结构及颗粒的图像匹配

为了获得杂质颗粒在药液中的三维坐标,建立如图 3 所示的正交双目视觉结构^[10-11],图 4 为实验室搭建的正交双目视觉结构实体图。只要建立颗粒在 2 个 CCD 拍摄的图片中的图像匹配关系,就可以获得每一个颗粒的空间坐标。

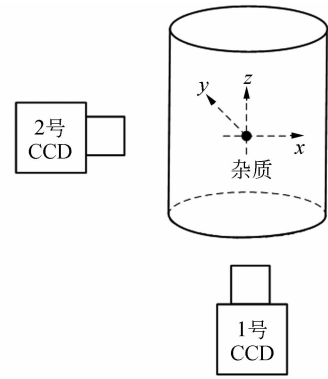


图 3 正交双目视觉结构图

Fig. 3 Structure of orthogonal binocular vision

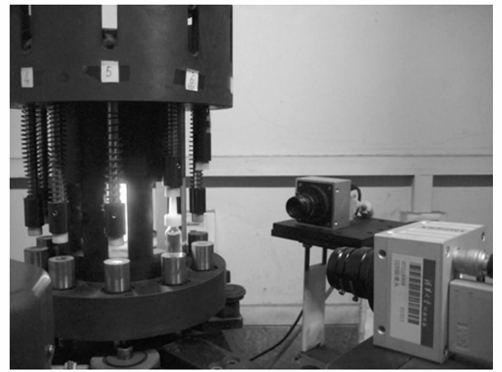


图 4 正交双目视觉结构图结构实体图

Fig. 4 Stereogram of orthogonal binocular vision

由于柱形药液瓶不会对杂质颗粒的 Z 方向坐标产生影响,所以通过颗粒图像的 Z 坐标比对,就基本可以建立大部分杂质颗粒图像间的对应关系,从而获得杂质颗粒在柱形药液中的三维坐标。

在安瓿瓶装药液或者西林瓶装药液中,杂质颗粒大小在几十微米左右,个数大概为几个,药液高度一般在 3 cm 左右,由于每个杂质在药液中是随机分布的,故至少有 2 个杂质颗粒同时处在同一液面高度的概率 p_i 为:

$$p_i = 1 - \frac{C_k^n \cdot P_n^n}{k^n}. \quad (15)$$

考虑极限情况, k 取按照 50 μm 分割液面高度的层数,则 $k = 30/50^{-3} = 600$, n 为杂质颗粒的个数,取 10。则可计算得 p_i 大小为 7.2%,实际上这个概率要比 7.2% 小得多。

如果出现多个颗粒的质心处于同一液面高度的情况,则对 1 号 CCD 图像中 z 坐标值均为 z_1 的杂质目标进行 x 坐标的大小排序,对 2 号 CCD

图像中 z 坐标值均为 z_1 的所有杂质目标进行 y 轴方向的灰度梯度平方和计算,并按照大小排序。根据第 2 节可知,1 号 CCD 图像中杂质 x 坐标的大小反映了杂质在 2 号 CCD 图像中离焦量大小,离焦越大的杂质,边缘越模糊,灰度梯度平方和值越小,这样就能建立位于同一液面高度的多个杂质在 2 个 CCD 图像中的一一对应关系。

4.2 正交双目视觉中颗粒粒径的计算

设经过空间匹配后,得到的杂质颗粒的空间坐标为 (x_0, y_0, z_0) ,单位均为像素,坐标系的原点在柱形药液瓶的轴心。首先根据其空间坐标,得到杂质颗粒在 1 号 CCD 图像中的横向放大率如式(16)所示,式中 PL_R 代表药液瓶 2 个瓶壁间在图像中对应的像素数的一半:

$$\beta = \begin{cases} \beta_d(y_0 + PL_R) \cdot \beta_p\left(\frac{|x_0|}{PL_R}\right) & y \geq 0 \\ \beta_d(y_0 + PL_R) \cdot \beta_p\left(\frac{|x_0|}{\sqrt{PL_R^2 - |y_0|^2}}\right) & y < 0 \end{cases}, \quad (16)$$

根据计算获得横向放大率,对杂质颗粒在 1 号 CCD 中的图像进行横向压缩。

对压缩后的杂质颗粒图像进行粒径计算。计算指定图像区域的粒径,无论是像素级还是亚像素级,都有很多成熟的算法和快速算子,这里不再赘述。设坐标为 (x_0, y_0, z_0) 的杂质颗粒经几何修正后的图像的粒径为 d' ,单位为像素,

杂质颗粒的离焦量 Δl 为:

$$\Delta l = R \cdot (y_0 + PL_R) / PL_R, \quad (17)$$

式中: R 为药液瓶的半径,单位为 m。

则根据第 1 节,可以计算得到该杂质离焦误差像素补偿值为:

$$\Delta d = 2a\beta_{\text{CCD}} \frac{\Delta l}{z}, \quad (18)$$

式中: z' 为 CCD 像方分辨率尺寸及像元尺寸, $2a$ 为入射光瞳直径, l 为药液瓶轴心距离 CCD 的距离, β_{CCD} 为物距对应的 CCD 镜头的垂轴放大率。

则杂质颗粒修正后的粒径像素数值 d_e 为:

$$d_e = d' - \Delta d. \quad (19)$$

5 测量实验与结果

5.1 柱形药液的近光轴处一维放大率实验标定

根据第 3 节的分析,柱形药液的放大率是距

离 CCD 一侧瓶壁距离的反比例函数,但在实际过程中,由于玻璃瓶壁和药液的共同作用,具体的实际放大率函数需要用实验进行标定,设计以洗涤干净加注纯净水并在其中放置长度大于瓶体直径的白色塑料矩形板的透明西林瓶作为标定瓶,如图 5 所示。则白色板最靠近 CCD 一侧的放大率可近似认为 1,统计白色塑料板图像中每行像素的个数,则可得放大率的标定函数形式如下:

$$\beta_d(d) = \frac{m_2}{-d + m_1}, \quad (20)$$

式中: d 为杂质距离 CCD 一侧瓶壁距离与药瓶直径的比值,拟合系数 $m_1 = 2.8226, m_2 = 2.9694$ 。



图 5 近轴放大率标定瓶

Fig. 5 Bottle for calibration of paraxial magnification

5.2 50 μm 标准颗粒标定实验及结果

图 6 为滴加了 2 滴标准颗粒(每滴约含标准颗粒 3~4 个)的西林瓶图像,瓶中初始灌注的为去离子水。标准颗粒是被指定为微粒分析仪校准的标准物质,材料为聚合乳胶,形态成球状,密度约为 1.1 g/cm^3 。



(a) 1 号 CCD 图像

(b) 2 号 CCD 图像

(a) Image of CCD No. 1

(b) Image of CCD No. 2

图 6 正交双目视觉的药瓶图像

Fig. 6 Bottle images of orthogonal binocular vision

对图像中标准颗粒进行粒径标定,2 个相机的参数同第 2 节。使用 Sobel 算子^[12]对杂质进行亚像素级边缘检测,采用文献[6]中的正交矩方法对每行杂质进行亚像素级线宽测量,再将线宽除以一维放大系数,线宽保留 1 位小数,将杂质图像在横向和纵向做 10 倍扩展,然后使用最小外接矩形法^[13]进行粒径测量,测得的粒径除以 10,减掉离焦误差对应的像素数,即可得到杂质颗粒的精确粒径。数据如表 1 所示,其中瓶壁之间的像素差为 260 pixel,杂质与 1 号 CCD 对准平面间的距离为偏心量,正方向为指向 CCD 方向,原点在柱形药液瓶的轴心。

由上述结果可知,本文方法将粒径标定的离散度系数从 0.11 降低到了 0.05,选平均值 3.4 pixel

作为 50 μm 颗粒图像的粒径标定值更具有可信度。

6 结 论

为提高杂质粒径标定精度,本文根据全自动灯检机的检测原理,提出了基于正交双目视觉的粒径标定方法。分析了目前粒径标定中存在的离焦误差,并给出了离焦误差量的数学计算方法。对柱形透镜的近轴、远轴一维放大率进行了分析和参数标定,得到了具体数学表达式。最后,对滴加的 50 μm 大小的标准颗粒进行了标定,将粒径测定值的离散度系数从 0.11 降低到了 0.05。实验证明,本文方法可以获得精度更高的粒径标定曲线,更加精确地测定药液中杂质的粒径值。

参考文献:

- [1] 叶瑛瑛. 药品生产验证指南[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1996.
YE Y Y. *Pharmaceutical Production Validation Guidelines* [M]. Beijing: China Medical Science Press, 1996. (in Chinese)
- [2] 贾卫东, 薛飞, 李成, 等. 荷电雾滴群撞击界面过程的 PDPA 测试[J]. 农业机械学报, 2012, 43(8): 78-82.
JIA W D, XUE F, LI C, *et al.*. Measurement of charged droplets impacting plant target interface by using PDPA [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(8): 78-82. (in Chinese)
- [3] 张龙, 张力虎, 曹娜, 等. 运用激光全息术和 PDPA 测量喷射燃料粒子场[J]. 实验流体力学, 2011, 25(2): 83-87.
ZHANG L, ZHANG L H, CAO N, *et al.*. Spray fuel particle field measurement by using laser holography and PDPA technology [J]. *Journal of Experiments in Fluid Mechanics*, 2011, 25(2): 83-87. (in Chinese)
- [4] 徐玉明, 迟卫, 莫立新. PIV 测试技术及其应用[J]. 舰船科学技术, 2007, 29(3): 101-105.
XU Y M, CHI W, MO L X. PIV measurement technique and its application [J]. *Ship Science and Technology*, 2007, 29(3): 101-105. (in Chinese)
- [5] 荣臻, 陈方, 刘洪, 等. 超声速 PIV 示踪粒子布撒技术研究[J]. 实验流体力学, 2012, 26(2): 64-67.

- [6] RONG Z, CHENG F, LIU H, *et al.*. Research on seeding technique of PIV in supersonic flow [J]. *Journal of Experiments in Fluid Mechanics*, 2012, 26(2): 64-67. (in Chinese)
- [7] 秦磊, 王伯雄, 罗秀芝. 基于 Zernike 正交矩的亚像素图像线宽测量算法[J]. 光学技术, 2012, 38(6): 729-733.
QIN Y, WANG B X, LUO X Z. Measurement algorithm for sub-pixel line width in images based on Zernike moment [J]. *Optical Technique*, 2012, 38(6): 729-733. (in Chinese)
- [8] 皮运正, 皮运清, 叶裕才. 固体颗粒在匀速旋转液体中的沉降过程[J]. 给水排水, 2000, 26(9): 52-54.
PI Y Z, PI Y Q, YE Y C. Research on solid particles rotating at a constant speed in liquid in the settlement process [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2000, 26(9): 52-54. (in Chinese)
- [9] 范媛媛, 沈湘衡, 桑英军. 基于对比度敏感度的无参考图像清晰度评价[J]. 光学精密工程, 2011, 19(10): 2485-2493.
FAN Y Y, SHEN X H, SANG Y J. No reference image sharpness assessment based on contrast sensitivity [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(10): 2485-2493. (in Chinese)
- [10] 张益昕, 王顺, 张旭革. 大尺度三维视觉测量中的离焦模糊图像恢复[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(12): 2748-2752.
ZHANG Y X, WANG S, ZHANG X P. Defocused blur image restoration in large scale 3D vision measurement [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument.*, 2010, 31(12): 2748-2752. (in Chinese)

- [10] 唐启敬,赵铁石,边辉,等. 基于双目视觉的复合肥料检测系统[J]. 农业机械学报, 2012, 43(7): 206-211.
TANG J Q, ZHAO T S, BIAN H, *et al.*. Compound fertilizer particle inspection system based on binocular vision [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(007): 206-211. (in Chinese)
- [11] 李治龙,黄成杰,吴志军,等. 基于双目视觉和灰度差分法的粒径测量方法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2009, 39(4): 869-873.
LI Z L, HUANG C J, WU Z J, *et al.*. Particle size measurement based on binocular vision and particle image gray difference [J]. *Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition*, 2009, 39(4): 869-873. (in Chinese)
- [12] 刘力双,张铤,卢慧卿,等. 图像的快速亚像素边缘检测方法[J]. 光电子·激光, 2005, 16(8): 993-996.
LIU L S, ZHANG T, LU H Q, *et al.*. A fast sub-pixel edge detection method for images [J]. *Journal of Optoelectronics & Laser*, 2005, 16(8): 993-996. (in Chinese)
- [13] 卢蓉,范勇,陈念年,等. 一种提取目标图像最小外接矩形的快速算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(21): 178-180.
LU R, FAN Y, CHEN N N, *et al.*. Fast algorithm for extracting minimum enclosing rectangle of target image [J]. *Computer Engineering*, 2010, 36(21): 178-180. (in Chinese)

作者简介:



李 伟(1983—),男,山西阳泉人,博士研究生,现就读于清华大学精密仪器系,主要从事机器视觉及自动控制方面的研究。E-mail: wei-li03@mails.tsinghua.edu.cn



杨春毓(1990—),男,黑龙江牡丹江人,硕士研究生,现就读于清华大学精密仪器系,主要从事机器视觉方面的研究。E-mail: yangcy07@gmail.com



王伯雄(1947—),男,江苏南通人,教授,博士生导师,1970年、1982年于清华大学分别获学士学位、硕士学位,主要从事精密测量等方面的研究。E-mail: wangbx@tsinghua.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)