

# TFT-LCD 面板反射的能量对光斑图像的影响

肖 磊,程良伦,范富明

(广东工业大学 自动化学院,广东 广州 510006)

**摘 要:** 针对基于激光三角测距原理设计的显微镜自动对焦系统中,光斑在 TFT-LCD 面板上表面或者下表面聚焦时的鬼影以及打在金属丝上的光斑畸变问题,提出在焦平面附近调节相机快门和增益以消除鬼影,并根据相机快门时间动态变换光斑中心的求解方法。分析了光斑鬼影产生的原因和消除方法以及当光斑图像不同程度打在金属丝上时,导致光斑图像局部明显增强的特性,给出了求解光斑中心的方法。实验结果表明,光斑中心位置和离焦量线性拟合  $R$  的平方值为 0.991,减少了激光三角测距法的非线性误差,实现了非接触快速对焦。

**关键词:** 激光三角法;快门;鬼影;光斑中心;离焦量

中图分类号: TP394.1; TN742

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)21-0037-05

## The impact of TFT-LCD panel reflected energy to the laser spot image

XIAO Lei, CHENG Liang Lun, FAN Fu Ming

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

**Abstract:** The microscope auto-focusing system is based on the laser triangulation ranging principle, which leads those problems including the ghosting matter when the light spot focusing on the upper surface or lower surface of TFT-LCD panel and the spot distortion of wire. It gives the methods about adjusting the shutter and gain around the focal plane, changing the spot center according to the dramatic-time-change of camera shutter. It researches the causes of the ghosting spot and provides the solutions. It also analyzes the characteristics of spot gray value partial increasing obviously caused by the spot image reflex to the wire inordinately, and gives approaches to get the spot center. The experiment result shows that square of  $R$  is 0.991 obtained by linearly fitting the defocusing amount and the light spot center position, which is verified in the experiment by applying analysis mentioned above, reducing the nonlinear error of the laser triangulation method and realizing the non-contact focusing efficiently.

**Key words:** laser-triangulation; shutter; ghost; spot center; defocusing amount

TFT-LCD 面板自动光学检测设备需要大视场、低畸变的成像系统以保证其高清晰图像扫描速度。激光三角测距法由于其具有非接触、材料适用广、抗干扰能力强、可用于实现在线检测等特点,在现代几何测量领域中得到了广泛的应用<sup>[1-3]</sup>。在基于激光三角测距法原理设计的 TFT-LCD 面板光学检测对焦系统中,为了快速准确地实现自动对焦,探测系统必须能够实时、准确地确定光斑图像的中心位置,以准确计算出该中心位置与参考位置的偏差来驱动对焦轴调焦,因此,光斑中心位置的准确提取直接影响对焦的精度和速度。

目前已经发表的一些文献提到了解决鬼影问题,例

如, Rossi<sup>[4]</sup>等人提出在红外焦平面非均匀组合校正中,利用时空统计的方式去除鬼影; Huang<sup>[5]</sup>等人提出关联性的运动矢量处理以及自适应运动补偿帧插值,在快速运动的视频帧序列中,能够有效提高视觉质量; Rita<sup>[6]</sup>等人利用背景相减法获得前景目标块,再把它分为运动目标、鬼影和阴影三类,利用时空差分方程对运动目标和鬼影进行区分; Guan<sup>[7]</sup>提出提高背景更新速度,从而消除鬼影的影响。在实际的光斑图像中,鬼影信号强度较弱,在焦平面附近,激光器不可调节的情况下,可以通过调节相机快门时间和增益防止过度曝光避免鬼影的产生。该方法既简单且能有效消除鬼影和噪声。

常用的光斑中心检测算法有质心法、圆拟合法、Hough 变换法<sup>[8-10]</sup>。Hough 变换占用系统资源大,运行效率低,不能满足系统的实时性需求。实际的光斑图像在离焦大的时候,是一个同心的半圆或者圆,在焦平面附近是一个椭圆或者不规则图形,因此圆拟合的方式不适宜。在实时跟踪对焦过程中,质心法能够明确表示光斑的运动情况,而且不受光斑形状、大小的影响。但是,对于采集到的激光光斑图像,总会受到被测表面特征和环境等多方面影响导致光斑图像畸变,使质心法的求解带来误差。通过实际光斑图像测试,本文提出动态调节相机快门时间和增益的方法消除噪声,根据相机快门时间变换求解光斑形心和质心的方法,实验验证了该方法的有效性。

本文针对光斑图像畸变影响光斑中心求取精度,从而影响对焦的精度和速度问题,分析了 0.4 mm 的 TFT-LCD 面板反射的能量特性,给出了光斑中心的求解方法和动态调节相机参数的方法。该算法在利用三角测距原理设计的 TFT-LCD 面板光学检测对焦系统中具有重要的现实意义。

### 1 激光跟踪对焦系统光学回路设计

自动对焦系统光学回路设计如图 1 所示。光学系统主要由激光器、激光聚焦镜、反射镜、光阑片、偏振分光片、1/4 滤波片、聚焦镜、分光镜、CMOS 芯片、激光滤波片和红外截止滤波片组成。当激光束沿投影光轴投射到物体表面时,在另一方向上,光点的像被 CMOS 吸收,呈现激光光斑。根据在不同离焦的情况下,光斑中心位置的不同,只要能够准确测出光斑的中心位置,就能判断出离焦量,调节对焦轴实现自动对焦。

本光学回路设计的主要优点:在对焦过程中,调节调焦轴沿着同一个方向运动,从离焦变为聚焦,然后再变为离焦,光斑变化趋势从一个左半圆(或者右半圆)变化为圆点,再变化为右半圆(或者左半圆),这样明确了对焦的方向和距离。

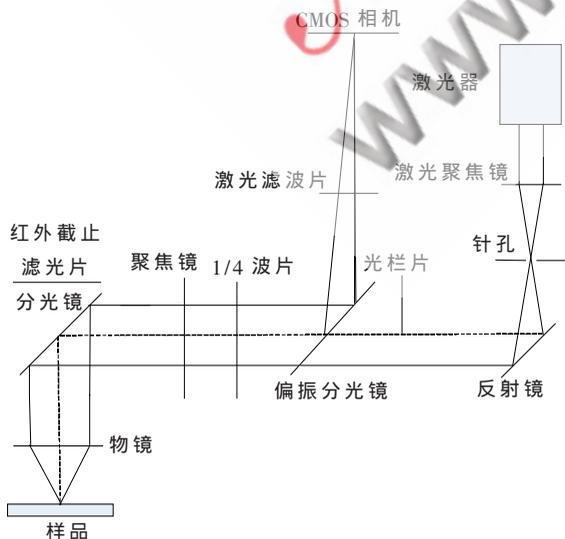


图 1 自动对焦系统光学回路

## 2 TFT-LCD 面板反射能量对光斑影响

### 2.1 鬼影的产生与消除

鬼影是一种虚幻的影子,当光线穿过两个具有不同密度的透明物体界面时会发生折射,具体地说,当光线从空气中进入玻璃中,以及光线从玻璃中进入空气中时会发生弯曲。在理想情况下,所有的光线都会折射,但事实上,大约有 95% 的光线发生折射,而另外 5% 的会被反射回第一种物质中。在 TFT-LCD 面板中,鬼影是由上下表面的反射产生的。当光斑在上表面聚焦时,下表面反射的光会形成一个半圆的光斑;当光斑在下表面聚焦时,上表面反射的能量会形成一个半圆光斑,如图 2 所示,分别是在上表面聚焦和在下表面聚焦的情况。

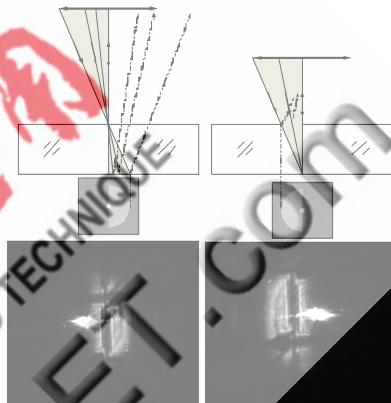


图 2 鬼影

### 2.2 光斑不同程度打在 TFT-LCD 面板时光斑畸变

理想的激光光斑呈现半圆,但是当激光光斑不同程度打在金属上时,会导致光斑图像畸变。如图 3 所示,(1)、(3)、(5)、(7)分别是相机快门时间和增益都最大的时候,光斑打在两金属丝之间、单根金属丝上、金属边缘、全部金属上时对焦完成时的光斑图像;(2)、(4)、(6)、(8)分别是相机快门时间最大、增益最小的时候,光斑打在两金属丝之间、单根金属丝上、金属边缘、全部金属上离焦时的光斑图像。当光斑打在金属丝上的时候,由于金属反射的能量较高,会使图像像素的灰度明显增强。

从图 3 中可以明显地看出,当相机增益调节为 0 dB 时,可以明显地消除部分背景噪声。因此在焦平面附近对焦过程中,可以将相机增益设置为 0 dB 以消除噪声。

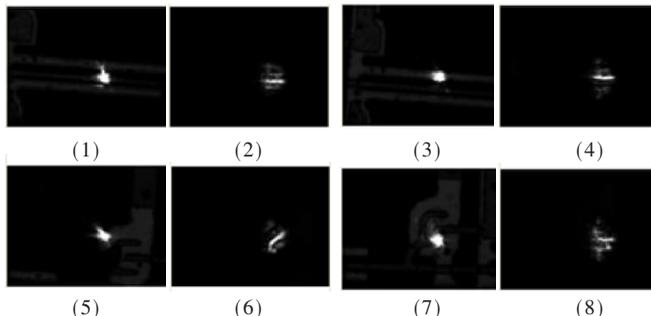


图 3 光斑打在金属上

### 3 光斑中心的求解

#### 3.1 阈值的选取

光斑图像成在 CMOS 上, 并经由图像采集卡送到计算机处理。由 CMOS 得到的图像包含多种噪声, 主要有: (1) 原理误差; (2) 光子噪声误差; (3) 读出噪声误差; (4) 背景暗电平及杂散光的干扰。其中(3)、(4)是相互独立的加性噪声, 与光斑信号互不相关, 可以通过设置阈值的方法把背景和光斑分割开来。最常用的图像分割方法是将图像灰度分成不同的等级, 然后设置灰度阈值的方法确定有意义的区域或预分割的物体边界<sup>[9]</sup>。

实际采集到的光斑图像, 背景噪声主要是由于白炽灯光源和自然光反射产生的, 这部分信号较弱, 可以通过在关闭激光器光源、打开白炽灯光源的时候, 采集一系列的图像进行去背景噪声处理。设采集  $M$  幅图像, 找出  $M$  幅图像中灰度值最大的一个作为背景噪声  $T$ 。设有图像  $f(x, y)$ , 采用图像相减运算减去背景噪声:

$$g(x, y) = \begin{cases} f(x, y) - T, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

#### 3.2 求解光斑质心

灰度重心法可以看成是以灰度为权值的加权型心法。假设采集的图像处于二维平面坐标系中, 阈值分割后光斑图像数据为  $g(x, y)$ , 大小为  $M \times N$ , 则重心法计算光斑中心  $(x_0, y_0)$  的公式为:

$$x_0 = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N xg(x, y)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N g(x, y)} \quad (2)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N yg(x, y)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N g(x, y)} \quad (3)$$

#### 3.3 求解光斑形心

求解步骤如下:

(1) 图像二值化: 由于金属反射的能量具有不确定性, 当金属反射的能量和光斑图像叠加在一起时, 使光斑图像局部增强, 影响光斑图像的高斯分布。可以先对图像进行二值化, 减少图像中的细节:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > 0 \\ 0, & f(x, y) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

(2) 中值滤波去除孤立点: 对光斑图像进行二值化分割后, 出现许多孤立“点”或者不连续的小区域。中值滤波是当前应用最为广泛的滤波方法之一, 它的主要功能是让与周围像素灰度值的差比较大的像素值改取与周围像素值接近的值。该方法既能有效去除噪声, 又能较好地保留图像的细节。一般来说正方形的模板对图像的细节最不敏感, 它会滤除细线并消除边缘上的角点。十字叉模板保留细的水平线和垂直线但会滤除对角线。X 形状的模板仅保留对角线。当对图像进行二值化后, 图

像边缘上会有一些角点和孤立点, 有实验表明, 当使用超过 9~13 个像素来消除噪声时, 计算量的增加比消噪效果更加明显, 因此选择  $3 \times 3$  的模板<sup>[10]</sup>。

令  $S_{xy}$  表示中心在  $(x, y)$  点、尺寸为  $n \times n$  的矩形子图像窗口的坐标组, 其输出值应大于等于模板中  $(n^2-1)/2$  个像素值, 而应小于模板中  $(n^2-1)/2$  个像素的值。例如  $3 \times 3$  的模板, 其中值是第 5 大的那个, 其输出为:

$$g_{\text{median}}(x, y) = \text{median} [g(s, t)]_{(s, t) \in S_{xy}} \quad (5)$$

(3) 求解光斑形心: 形心是物体的几何中心, 只与物体的集合形状和尺寸有关, 与组成该物体的物质无关。图像经二值化处理后, 物体的形心可由式(2)、式(3)求出。

### 4 实验分析

#### 4.1 鬼影的消除

为了验证相机快门时间消除光斑鬼影, 物镜选用 Mitutoyo Corporation 的 M Plan Apo 50X/0.55 (378-805-3)。在 50X 物镜下, 焦距  $f=200 \text{ mm}$ , 数值孔径  $NA=0.55$ , 景深  $DOF=\pm 0.9 \text{ }\mu\text{m}$ 。采集光斑图像的相机选用 POINT GREY 公司的 PFMV-03MTM/C (BW 或 Color)。相机快门时间动态范围为 0~64 ms, 相机增益为 0~12 dB。设相机快门用 Shutter 表示, 增益用 Gain 表示。当相机快门时间为 Shutter=3.5 ms、相机增益为 Gain=0 dB、图像数据为  $640 \times 480$ 、256 个灰度级的图像。在焦平面  $\pm 2 \text{ }\mu\text{m}$  处, 每隔  $0.5 \text{ }\mu\text{m}$  采集的 9 幅光斑图像如图 4 所示。从图中可以看出, 当相机快门时间较小时, 光斑图像呈现一个小点, 这样鬼影和噪声基本消除。表 1 是针对图 4 中的图片在不同的离焦下, 计算的光斑图像中心位置。图 5 是光斑中心位置和离焦量的线性拟合。

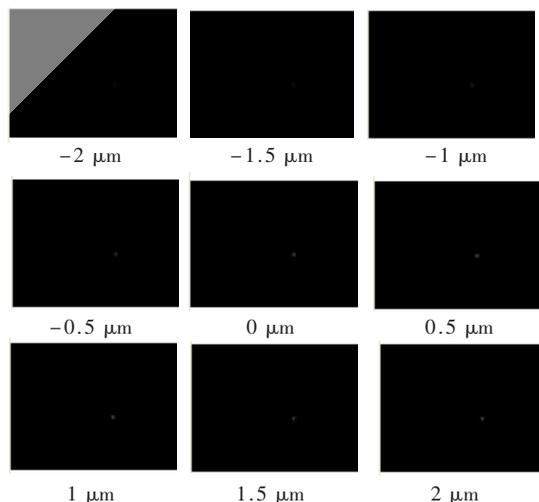


图 4 每间隔  $0.5 \text{ }\mu\text{m}$  采集光斑图片

由图 5 中可以得出, 快门时间较小时, 在焦平面  $\pm 2 \text{ }\mu\text{m}$  处, 利用求解光斑质心法的方法, 求出的光斑中心位置和离焦量的线性拟合  $R$  平方值为 0.992, 而利用求解光斑形心的方法求出的光斑中心位置和离焦量的

表 1 光斑中心位置和离焦量

离焦/ $\mu\text{m}$	质心/pixel	形心/pixel
-2	398.740 9	399.058 1
-1.5	397.473 4	397.706 2
-1	397.073 7	396.900 6
-0.5	395.672 8	395.578 6
0	394.386 7	393.709 2
0.5	393.085 9	392.111 1
1	392.510 8	392.428 6
1.5	391.472 0	391.431 0
2	390.602 1	390.593 3

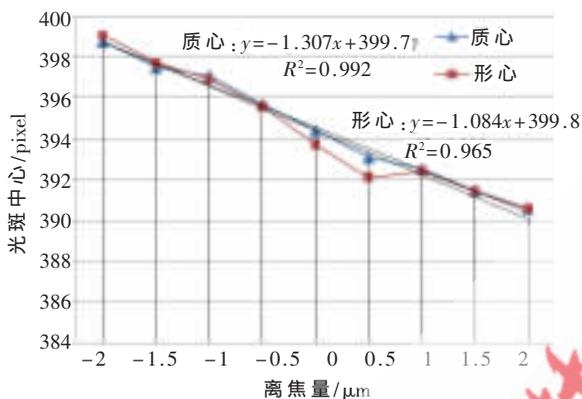


图 5 光斑中心和离焦量线性拟合

线性拟合  $R$  平方值为 0.965。因此,在焦平面 $\pm 2 \mu\text{m}$ 处,相机快门为 3.5 ms 时,利用质心法求解光斑中心位置更加准确。

#### 4.2 光斑中心位置和离焦量相关性分析

TFT-LCD 面板光学检测中,在 50X 物镜下,相机快门时间最大为 64 ms,离焦量在 $\pm 28 \mu\text{m}$ 处情况时有发生,这时需要调节增益为 0 dB。图 6 是当光斑打在金属丝上时采集到的图像数据,图像数据依次从左到右、从上到下排列,调焦轴从同一个方向移动。设定起始位置是  $1 \mu\text{m}$ ,则从  $1 \mu\text{m}$  处向上每间隔  $1 \mu\text{m}$  移动,采集一次光斑图像,直到移动到  $56 \mu\text{m}$  处停止,即采集到 56 幅图像。其中第 29  $\mu\text{m}$  处图像是离焦量为  $0 \mu\text{m}$  的点,那么第一幅图像是  $-28 \mu\text{m}$  处,第 56 幅图像是  $+27 \mu\text{m}$  处。图 7 是针对图 6 中的 56 幅图像数据求得的光斑中心位置和离焦的线性关系分析。

从图 7 可以看出,在相机快门时间为最大、增益最小时,采用形心法求解的光斑中心和离焦量的线性拟合  $R$  平方值为 0.991,而采用质心法求解的线性拟合  $R$  平方值为 0.984。故采用形心法抗干扰性效果好。

#### 4.3 自动对焦范围和相机的设定

由于在实际的对焦过程中,每调节一次相机快门时间需要延时 0.1 s,因此频繁调节快门时间必然会导致对焦时间过长。快门时间过大会导致鬼影的产生以及光斑中心求解不准。而当相机快门时间较小时,虽然能够准确求解光斑中心位置,但是自动对焦的范围较小。为

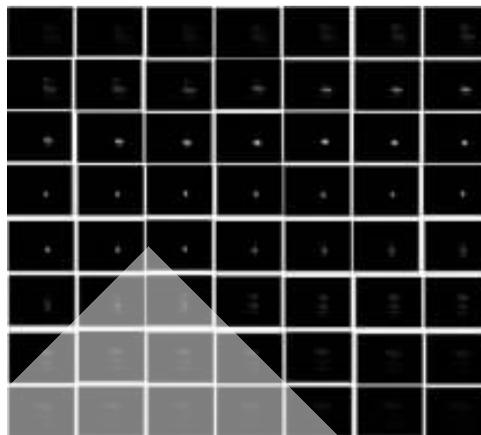


图 6 每间隔  $1 \mu\text{m}$  采集的光斑图像

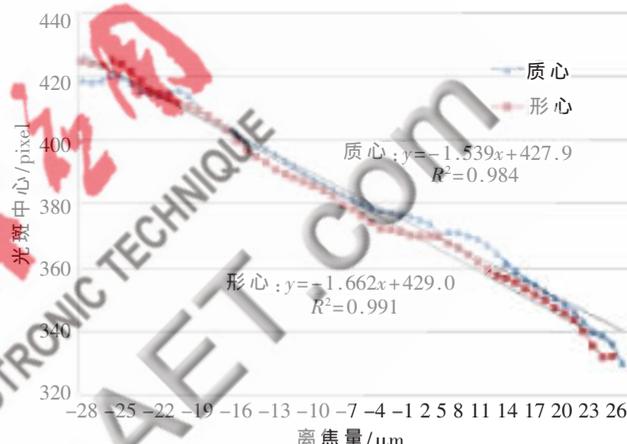


图 7 光斑中心和离焦量线性拟合

了增加自动对焦范围,需要增加相机的快门时间和增大增益。但是增大相机快门时间和增益,会导致当光斑图像打在金属丝上的时候光斑中心求解不准。在此情况下,可以采用分区域调节相机快门时间和增益的方法,如图 8 所示。

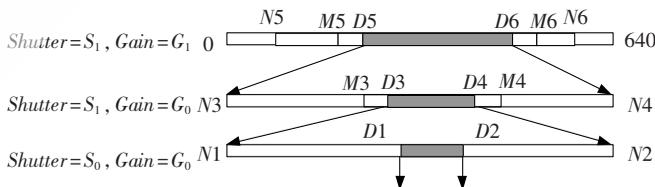


图 8 相机设定

(1)焦平面 $\pm F_1 \mu\text{m}$ 处相机设定:为了提高自动对焦的重复定位精度,可以将相机快门增益设定为  $\text{Gain}=\text{G}_0=0 \text{ dB}$ ,相机快门时间根据实际情况调整为  $\text{Shutter}=\text{S}_0$ ,保证在焦平面 $\pm F_1 \mu\text{m}$ 处有光斑图像,找出光斑中心变化区间  $[N1, N2]$ ,以及对焦完成时景深范围内光斑中心变化区间  $[D1, D2]$ ,将  $[D1, D2]$  作为对焦完成时的判断依据。同时将相机快门时间设定为最大  $\text{Shutter}=\text{S}_1$ ,求出在焦平面 $\pm F_1 \mu\text{m}$ 处的光斑中心区间  $[M3, M4]$ ,以及当快门时间从  $\text{S}_1$  变为  $\text{S}_0$  时,一直有光斑图像经验区间  $[D3, D4]$ ,其中  $(M3 < D3 < D4 < M4)$ 。

(2) 焦平面 $\pm F_2 \mu\text{m}$ 处相机设定: 设定相机快门时间最大为 $S_1$ ,  $Shutter=S_1$ ,  $Gain=G_0$ , 找出在焦平面 $\pm F_2 \mu\text{m}$ 处的光斑中心变化区间 $[N3, N4]$ ; 然后将增益调节为最大 $G_1$ ,  $Gain=G_0$ , 找出焦平面 $\pm F_2 \mu\text{m}$ 处光斑中心变化区间 $[M5, M6]$ , 以及当增益 $G_1$ 变为 $G_0$ 时, 一直有光斑图像经验区间 $[D5, D6]$ , 其中 $(M5 < D5 < D6 < M6)$ 。

(3) 焦平面 $\pm F_3 \mu\text{m}$ 相机设定:  $Shutter=S_1$ ,  $Gain=G_1$ , 找出有光斑图像存在时对焦范围区间在 $\pm F_3 \mu\text{m}$ 处, 求出光斑中心的变化区间 $[N5, N6]$ , 其中 $(0 < N5 < N6 < 640)$ 。

(4) 光斑中心的变化求解: 当相机快门时间为 $S_0$ 时, 利用形心法求解光斑中心。当相机快门时间为 $S_1$ 时, 利用质心法求解光斑中心。

通过以上分析可以得出: (1) 在光斑图像探测器上, 离焦时呈现半圆, 半圆的中心位置明确了离焦的距离和方向; (2) 通过调节相机快门时间和增益消除鬼影的方法, 在离焦较小(如 50X 物镜下, 焦平面 $\pm 2 \mu\text{m}$ 处)时, 能够有效消除噪声, 准确求取光斑中心; (3) 根据相机快门时间变换求解光斑中心的方法, 在快门时间较大时求解光斑形心, 在快门时间较小时求解光斑质心, 实验验证了该方法的可行性; (4) 本文的方法可适用于 TFT-LCD、OLED 面板光学检测成像系统中; (5) 在下一步的研究中, 使用可调激光器, 根据探测器检测的最大灰阶, 调整激光器输出功率。

#### 参考文献

- [1] LEE J H, KIM J K, PARK S K, et al. Development of mono laser vision system for 3D measurement of panels with various bevel edges[C]. IEEE, 2009: 351-355.
- [2] HATTUNEMI J, MAKYNEN A. A calibration method of triangulation sensors for thickness measurement [C]. IEEE I2MTC2009 -International Instrumentation and Measurement Technology Conference, 5-7 May 2009: 566-569.
- [3] ARISTOS D, TZASFESTAS S. Simultaneous object recognition and position tracking for robotic application [C]. IEEE, Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on

Mechatronics.Málaga, Spain, April, 2009: 1-7.

- [4] ROSSI A, DIANI M, CORSINI G. Temporal statistics de-ghosting for adaptive non-uniformity correction in infrared focal plane arrays [C]. Electronics Letters 4th March 2010: 348-349.
- [5] HUANG A M, NGUYEN T. Correlation-based motion vector processing with adaptive interpolation scheme for motion-compensated frame interpolation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(4): 740-752.
- [6] CUCCHIARA R, GRANA C, PICCARDI M, et al. Detecting moving object, ghost, and shadows in video streams [J]. IEEE Teans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10): 1337-1342.
- [7] GUAN Y P. Spatio-temporal motion-based foreground segmentation and shadow suppression [C]. IEEE, The Institution of Engineering and Technology 2009, IET Comput. Vision., 2010: 50-60.
- [8] 孔兵, 王昭, 谭玉山. 基于圆拟合的激光光斑中心检测算法[J]. 红外与激光工程, 2002, 31(3): 275-279.
- [9] 肖锋钢, 刘建国, 曾淙泳, 等. 一种新型提高光斑图像质心精度的去噪方法[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(12): 3683-3687.
- [10] 章毓晋. 图像工程(上册)图像处理(第二版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.

(收稿日期: 2010-06-13)

#### 作者简介:

肖磊, 男, 1985年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 自动对焦系统, 图像处理与模式识别。

程良伦, 男, 1965年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 网络控制与系统集成, 网络与信息化控制, 嵌入式智能系统。

范富明, 男, 1984年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 自动光学检测, 嵌入式应用系统和数字图像处理等。