

基于调焦-Zernike 矩算法的微小零件精确定位研究

Precise positioning of micro parts based on focusing-Zernike matrix algorithm

张亚军

ZHANG Ya-jun

(驻马店职业技术学院, 河南 驻马店 463000)

(Zhumadian Vocational and Technical College, Zhumadian, Henan 463000, China)

摘要:为了提高微小零件精确定位的效果,采用调焦-Zernike 矩算法。先建立粗、精结合的调焦函数,粗调焦函数基于 Krisch 边缘检测算子,精调焦采用 Sobel 算子;动态选择调焦窗口,增加修正因子避免目标变化对调焦清晰度评价函数的影响,改进经典爬山算法确定焦点的移动方向;改进 Zernike 矩基于目标点归一化确定最大外接单位圆,通过边缘参数判断像素为边缘点;给出了算法流程。试验仿真通过两个微型金属圆柱腔的自动对准和堆叠的微装配任务来分析算法的性能,结果显示调焦-Zernike 矩算法获得的图像清晰,能够完全对准,该方法对非移动的微型金属圆柱腔坐标定位的 x 、 y 方向绝对误差最大值分别为 0.032 5、0.032 1 像素密度,定位精度高。

关键词: 动态; Zernike 矩; 调焦函数; 边缘定位

Abstract: In order to improve the precise positioning of micro parts, focusing-Zernike matrix algorithm were proposed. Firstly, coarse and fine combination focus function was established based on the Krisch edge detection operator and Sobel method. Secondly, focusing window was selected dynamically, and the factor was corrected target size of clarity evaluation function, focus direction was judged by improved hill-climbing algorithm. Thirdly, improved Zernike moment was determined the maximum circumscribed unit circle based on the normalization of the target point, and the pixel was judged edge point using edge parameters, then the process was given. Experimental simulation was done by the automatic alignment and stacked microassembly task of two micro cylindrical cavity to analyze the algorithmic.

基金项目: 河南科技攻关项目(编号:182102310783); 河南省高等教育教学改革研究与实践项目(编号:2017SJGLX683)

作者简介: 张亚军(1968—),男,驻马店职业技术学院副教授。

E-mail: hnzyj1968@126.com

收稿日期: 2020-03-01

The results showed that the dynamic adjustment algorithm had a clear image and good alignment, and the maximum value of absolute error in x and y directions were 0.032 5 and 0.032 1 pixels per inch, respectively, which had higher positioning accuracy than other algorithms.

Keywords: dynamic; Zernike matrix; focusing function; edge position

微小零件在食品机械设备中决定了食品加工的质量,例如:饮料灌装设备中的轨迹控制轴承零件保证生产线平稳,使得灌装具有一致性^[1]。

传统的微小零件精确定位方法主要依靠人眼以及借助测理工具找正。但依靠人眼无法连续稳定地进行精确测量^[2];找正法虽借助测量工具,但由现场测量来确定零件的正确位置^[3],效率低,仅仅适用于单件小批生产。近年来,也有不少学者对微小零件的精确定位方法进行了探究,陈向伟等^[4]通过光学显微镜、CCD 像机对小型塑料齿轮进行定位,其结果优于人工显微镜测量;Liu 等^[5]采用几何约束关系法通过动态识别零件间的几何关系,限制零件运动的自由度,沿受约束方向引导零件运动到定位装配位置;谢煌生等^[6]利用单目面阵 CMOS 机器视觉以及图像金字塔的搜索策略和最小二乘法的优化方法,具有较好的实时性和识别率;张习文等^[7]采用主动视觉方法利用控制相机的精确运动完成零件的定位,但定位过程中相机需要对零件的特征边缘进行连续跟踪,通过多帧图像的拼接,效率较低,不适于多零件装配的场合;Wang 等^[8]采用小波插值法来获得图像局部像素信息,并保存该局部规律性到内插图像中,算法重复性好,运算时间短,但检测精度较低,抗噪性能较差;Chao 等^[9]采用 Bertrand 曲面法利用图像灰度

拟合获取亚像素边缘位置进行定位,抗噪性能好,但曲面模型建立过程比较复杂,适用性不强;Deng 等^[10]研究表明,Zernike 矩亚像素边缘检测算法的检测精度与模板尺寸大小有关,模板尺寸越大检测精度越高,同时检测速度越慢。以上研究都是通过图像比对获取零件的信息,在获取过程中没有调焦或者粗略调焦,导致定位误差比较大。

试验拟采用调焦-Zernike 矩算法(Focusing-zernike matrix, F-ZM),建立粗细调焦过程以及 Zernike 矩精确定位过程,并对微小零件进行定位分析。

1 微小零件定位过程

1.1 调焦过程

1.1.1 微小零件精确定位调焦函数选择 准确运用调焦函数对快速有效地实现微小零件精确定位至关重要,采用粗、精结合的调焦方法,其中粗调焦函数为基于 Krish 边缘检测算子^[11]。

$$I' = \sqrt{[K'(i, j) * s_1]^2 + [K'(i, j) * s_2]^2 + [K'(i, j) * s_3]^2 + [K'(i, j) * s_4]^2}, \quad (2)$$

式中:

$K'(i, j)$ ——每个像素的灰度值;

$*$ ——卷积运算;

$$s_1 \text{——} 0^\circ \text{方向的 Sobel 算子}, s_1 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix};$$

$$s_2 \text{——} 90^\circ \text{方向的 Sobel 算子}, s_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

s_3 ——180° 方向的 Sobel 算子, $s_3 =$

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix};$$

$$s_4 \text{——} 270^\circ \text{方向的 Sobel 算子}, s_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}。$$

Krish 边缘检测算子的变化幅度平缓,与粗调时电机较大的移动步长相同,无需较高的精度,因此调节速度比较快;Sobel 算子变化幅度比较尖锐,与精调时电机较小的移动步长相同,精度较高。

1.1.2 调焦窗口动态选择 实时性是调焦的重要特征之一,采用动态调焦窗口可保证算法的运行时间降至最低^[12]。首先以目标区域(m, k)为中心,向外扩展 p 个像素,从而获得新的调焦窗口,其中新调焦窗口左边界为 $L, L = m_{\min} - p, m_{\min}$ 为目标区域左侧最小值; R 为新窗口右边界, $R = m_{\max} + p, m_{\max}$ 为目标区域右侧最大值; T 为新窗口上边界, $T = k_{\min} - p, k_{\min}$ 为目标区域上侧最小值; B 为新窗口下边界, $B = k_{\max} + p, k_{\max}$ 为目标区域下侧最

$$\begin{cases} I = \sum_{i \leq 8} \sum_{j \leq 8} [K(i, j)] \\ K(i, j) = \max\{1, \max[Q_1 S_i - Q_2 T_i]\} \\ S_i = f(A_i + A_{i+1} + A_{i+2}) \\ T_i = f(A_{i+3} + A_{i+4} + A_{i+5} + A_{i+6} + A_{i+7}) \end{cases}, \quad (1)$$

式中:

$i = 0, 1, \dots, 7;$

$j = 0, 1, \dots, 7;$

$K(i, j)$ ——中心像素点(i, j)周围 8 个邻域的像素点灰度均值,取 3 个相邻点均值与另 5 个相邻点均值比较,差值较大的作为中心像素点(i, j)的梯度值;

A_K ——(i, j)点周围 8 个邻域点中的一个($K > 7$ 时,取其除以 8 之后的余数);

Q_1, Q_2 ——权重因子,一般取值 $Q_1 = 0.78, Q_2 = 0.36$ 。

精调焦采用 Sobel 算子,评价函数为:

大值。则新窗口的像素总数 P 为:

$$P = (R - L) \cdot (B - T) = (m_{\max} - m_{\min} + 2p) \cdot (k_{\max} - k_{\min} + 2p)。 \quad (3)$$

增设调焦窗口修正因子 q 修正因目标变化对调焦清晰度评价函数的影响:

$$q = 1 / (P \ln P), \quad (4)$$

式中:

$1/P$ ——获取调焦窗口内调焦图像的平均清晰度;

$1/\ln P$ ——调焦权重。

只有在 $1/P$ 和 $1/\ln P$ 同时具有最大值时才能够获得最佳调焦结果。

1.1.3 搜索焦点策略 为了克服经典爬山搜索算法的缺陷,在同一方向上采集 3 帧图像,并将第 3 帧图像与其前面相邻的 2 帧图像作为初始拟合点^[13],对应的调焦评价函数值分别为 K_1, K_2 和 K_3 ,搜索评价函数的第一个“下坡点”,设阈值 δ ,文中设定 $\delta = 0.5$,若 $K_1 \leq K_2 \leq K_3 \leq \delta$,则此时在爬山阶段,方向和步距不变;如果出现 $K_1 > K_2$ 且 $K_2 \leq K_3 \leq \delta$ 的结果,则说明在调焦过程中受到噪声干扰,此时必须往该次搜索方向进行搜索;若 $\delta > K_1 > K_2 > K_3$,说明此时位于爬山的下坡区域,如果该点是第一个“下坡点”,则以其前的两点作为初始拟合点。

1.2 改进 Zernike 矩亚像素边缘定位

1.2.1 Zernike 矩亚像素边缘定位过程 由于微小零件定位精度要求高,像素级边缘检测定位不能满足需求,应进一步提高边缘定位精度,通过 Zernike 矩进行亚像素边缘定位,能够满足精确定位需求^[14-16]。设图像 $f(x, y)$ 的 Zernike 矩为:

$$Z_{nm} = \frac{n+1}{\pi} \iint_{x^2+y^2=1} f(x,y) V_{nm}^*(\rho, \theta) dx dy, \quad (5)$$

式中:

Z_{nm} —— n 阶 m 次 Zernike 矩;

$V_{nm}^*(\rho, \theta)$ ——单位圆的正交复函数多项式的共轭。

建立图像的理想阶跃边缘模型参数: k 为阶跃高度, h 为背景灰度, l 为圆心到边缘的垂直距离, φ 是 l 和 x 轴的夹角。如果将边缘旋转 $-\varphi$, 则边缘与 y 轴平行, 则:

$$\iint_{x^2+y^2=1} f'(x,y) y dx dy = 0, \quad (6)$$

式中:

$f'(x,y)$ ——图像旋转后的边缘函数。

通过标准矩来归一化图像, 则图像的理想阶跃边缘模型的 3 个边缘参数为:

$$\begin{cases} k = \frac{3Z'_{00}}{2(1-l^2)^{\frac{3}{2}}} \\ h = \frac{Z - \frac{k\pi}{2} + k \arcsin l + kl(1 + \sqrt{1+l^2})}{\pi} \\ l = \frac{Z}{Z'_{11}} \end{cases}, \quad (7)$$

式中:

Z'_{00} 、 Z'_{11} ——Zernike 的旋转 0 阶 0 次、1 阶 1 次矩;

Z ——Zernike 的未旋转矩;

k ——阶跃幅度;

h ——图像背景灰度;

l ——圆心到边缘的垂直距离, mm。

设阶跃灰强度阈值为 τ 和距离阈值为 ξ , 当 $|A_{11}| \geq \tau$, $l \leq \xi = 1/\sqrt{2}$ 时, 判断被检测的像素为边缘点, 亚像素边缘检测公式为:

$$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + l \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{bmatrix}, \quad (8)$$

式中:

(x_s, y_s) ——以 (x, y) 为卷积窗口中心求得的亚像素坐标值;

(x, y) ——单位圆的圆心坐标值;

φ ——以 (x, y) 为卷积窗口中心求得的实际边缘与 x 轴方向的夹角角度, $^\circ$ 。

1.2.2 基于目标点归一化的最大外接单位圆确定 找出定位零件的形状质心 $O(x_o, y_o)$, 再利用欧式距离找出零件上距离形状质心 O 最远的像素点 $B(x_b, y_b)$, 半径为:

$$r = \sqrt{(x_b - x_o)^2 + (y_b - y_o)^2}. \quad (9)$$

把所有的目标点归一化到单位圆内, 这就使得得到的 Zernike 矩具有平移和尺度不变性。计算出零件图像的 0 阶 0 次几何矩:

$$Z'_{00} = \iint f(x,y) dx dy. \quad (10)$$

计算单位圆中 n 阶 m 次的 Zernike 矩:

$$Z'_{nm} = \frac{n+1}{\pi} \sum_x \sum_y f(x,y) V_{nm}^*(x,y). \quad (11)$$

利用 0 阶几何矩归一化 Zernike 矩:

$$\bar{Z}'_{nm} = \frac{Z'_{nm}}{Z'_{00}}. \quad (12)$$

最后在像素点 (x_s, y_s) 左、右各取一个最近的像素点 (x_{s1}, y_{s1}) 、 (x_{s2}, y_{s2}) 进行卷积, P_1 、 P_2 是以点 (x_{s1}, y_{s1}) 、 (x_{s2}, y_{s2}) 为中心的卷积窗口矩阵, 获取点 (x_{s1}, y_{s1}) 、 (x_{s2}, y_{s2}) 的 n 阶 m 次 Zernike 矩的差值:

$$D_{nm} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [P_1(i,j) - P_2(i,j)] M_{nm}(i,j), \quad (13)$$

式中:

N —— M_{nm} 模板的大小;

M_{nm} ——Zernike 矩的模板;

(i,j) ——模板数。

文中要求 $D_{nm} < 0.00016$ 即可满足定位。

算法过程:① 粗、精调焦以及动态窗口获得较清晰图像;② 改进经典爬山算法获得最优清晰图像;③ 取图像上的任一像素点, 根据公式计算边缘角度 φ ;④ 计算其他 3 个参数 k 、 h 、 l ;⑤ 满足 $|A_{11}| \geq \tau$, $l \leq \xi = 1/\sqrt{2}$, 该点为边缘点, 根据公式计算边缘点的像素坐标, 进行步骤⑥, 否则返回到第②步;⑥ 满足 $D_{nm} < 0.00016$ 定位要求, 进行步骤⑦, 否则返回到第③步;⑦ 输出定位结果。

2 试验仿真

计算机配置为:内存 8 GB, CPU 为 Intel i5-9600k 处理器, 主频 3.7 GHz; 程序由 Matlab7.0 编写; 试验装置主要由显微成像系统和图像处理系统两部分组成, 通过 1394 接口卡连接, 以保证图像数据实时传输。

2.1 Zernike 矩奇、偶模板对比

规则形状和不规则形状零件如图 1 所示, Zernike 矩算法、调焦-Zernike 矩算法的 5×5 、 3×3 奇模板和 4×4 偶模板进行微小零件定位分析对比如图 2~4 所示。

从图 2~4 可以看出, 模板的数量影响定位误差, 在规则形状对比分析结果中奇模板 3×3 模板比奇模板 5×5

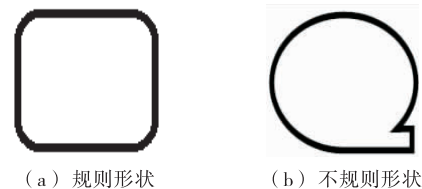


图 1 零件图形

Figure 1 Parts graphics

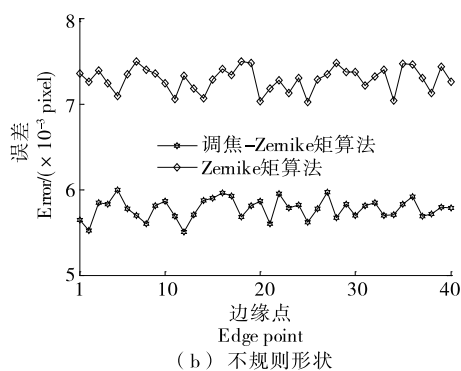
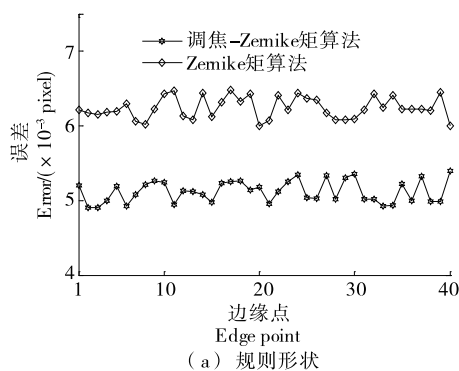


图 2 3×3 模板对比分析结果

Figure 2 3×3 template comparison analysis results

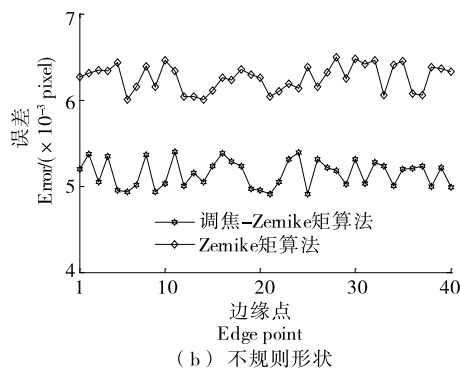
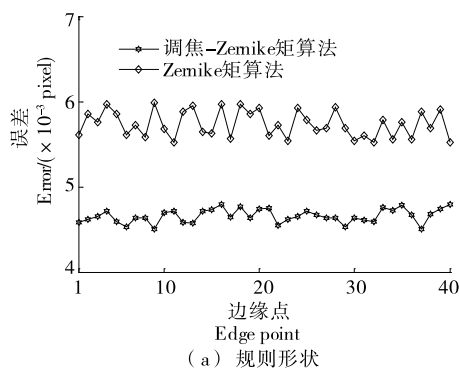


图 3 4×4 模板对比分析结果

Figure 3 4×4 template comparison analysis results

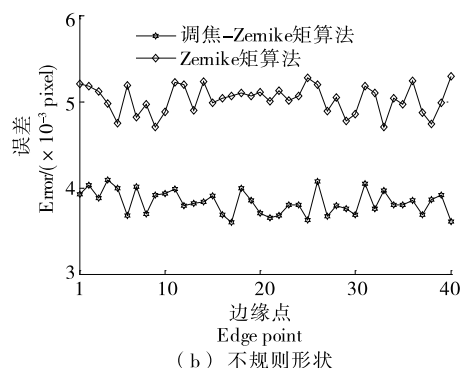
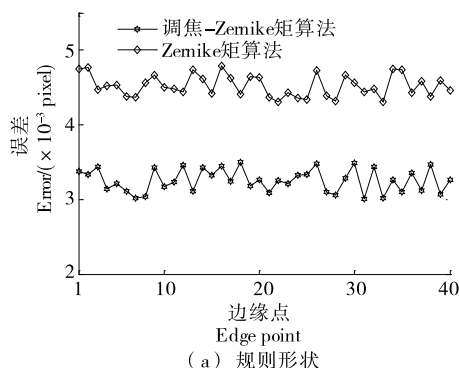


图 4 5×5 模板对比分析结果

Figure 4 5×5 template comparison analysis results

5 模板、偶模板 4×4 模板定位误差大,偶模板 4×4 模板比奇模板 5×5 模板定位误差大,同样不规则形状也是模板数越多定位误差越小;模板数相同的情况下,规则形状比不规则形状的误差小。这是因为 Zernike 矩模板数越大,Zernike 矩的差值越小,定位精度越高。

2.2 移动定位分析

通过两个微型金属圆柱腔的自动对准和堆叠的微装配任务来分析算法的性能,装配任务要求移动的微型金属圆柱腔对准非移动的微型金属圆柱腔期望的方向,两

个微型金属圆柱腔的中心轴线必须精确对准,采用摄像机所拍摄从离焦到调焦条件下采集的零件图像系列如图 5 所示。

首先获得 2 帧模糊的图像,如图 5(a)和(b)所示;利用成像系统传递函数 (Modulation transfer function, MTF)来评价调焦图像,MTF 值越大,调焦图像质量越好。从图 5(a)和(b)估算出目标体的清晰度,确定调焦方向,调焦电机完成调节镜头的微小零件精确定位,由于获得帧数的过程中伴随着变倍调焦,使得获得图像的清晰度变化明显,当调焦至正焦位置时,获得如图 5(c)和(d)

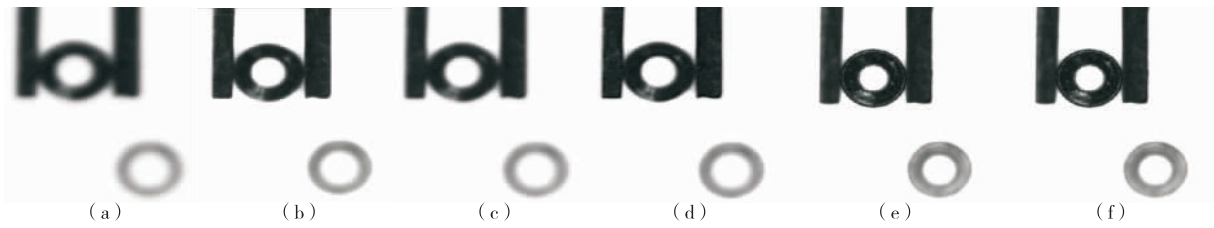


图 5 调焦过程

Figure 5 Focusing process

的结果,第 8 帧时获得调焦图像结果如图 5(e) 所示,图 5(f) 为最佳效果。

MTF 计算为:

$$MTF = \frac{\pi}{4} \times \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (14)$$

式中:

MTF——成像系统调制传递函数值(值越大表征图像质量越好);

$I_{\max}$ ——最大亮度;

$I_{\min}$ ——最小亮度。

离焦程度越大,图像越模糊,MTF 曲线下降越快。

调焦-Zernike 矩算法、Zernike 矩算法对微型金属圆柱腔目标调焦 MTF 归一化值如图 6 所示,每种算法各进行蒙特卡罗 21 次试验。

从图 6 可以看出,调焦-Zernike 矩算法的 MTF 值比较大,可有效避免调焦评价函数值局部的波动性,提高调焦精度,同时使得结果更加稳定,不但提高了搜索效率,而且避免因清晰度评价函数出现局部峰值点而发生误调焦现象。

对准过程如图 7 所示。

在完成对准状态过程中利用纳秒脉冲激光,采用相同的加工速度和激光参数,改变 x 、 y 轴方向的位置,获得重叠区域一系列变化的阴影面积,图像品质等于移动金属圆柱腔阴影面积除以非移动金属圆柱腔阴影面积,即完全重叠则图像品质为 1。图像品质的变化情况如图 8 所示。

从图 8 可以看出,调焦-Zernike 矩算法比 Zernike 矩

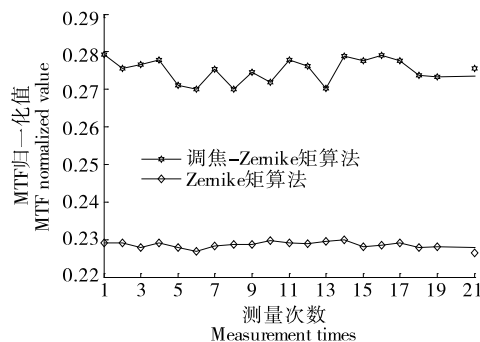


图 6 MTF 结果

Figure 6 MTF result

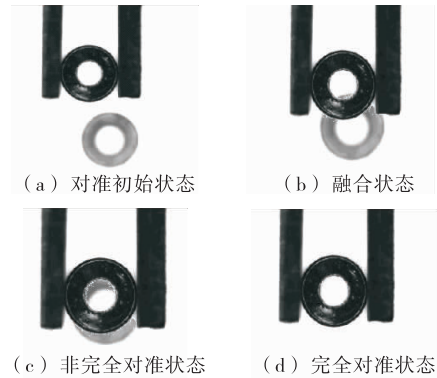


图 7 对准过程

Figure 7 Alignment process

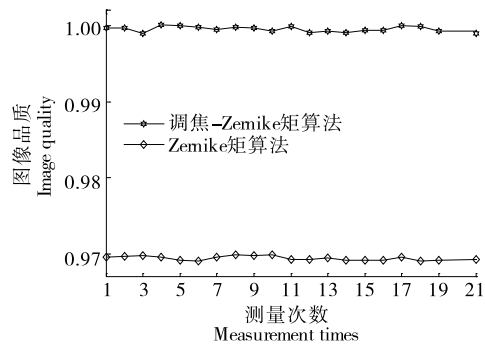


图 8 图像品质变化情况

Figure 8 Change of image quality

算法的图像品质要大,且接近于 1,即获得图像最清晰。

2.3 定位误差分析

在对准过程中,需要对非移动的微型金属圆柱腔坐标定位分析,圆心在(74.000 0,74.000 0),半径为 34,通过 MV-3000FC 型号高性能工业检测专用相机随机获得 10 个实际边缘坐标,每获取一个实际边缘坐标,调焦-Zernike 矩算法进行一次亚像素边缘坐标定位计算,最终检测结果如表 1 所示。

对表 1 中的实际边缘坐标数据依次进行人工法、找正法、几何约束关系法、CMOS 机器视觉法、主动视觉法分析,与调焦-Zernike 矩算法相比结果如图 9 所示。

从图 9 可以看出,调焦-Zernike 矩算法的定位绝对误差 x 方向最大值为 0.032 5 像素密度, y 方向最大值为

表 1 亚像素检测结果
Table 1 Subpixel detection results

实际边缘坐标(x,y)	调焦-Zernike 矩算法坐标(x,y)	绝对误差值
(59.000 0,104.000 0)	(59.009 5,104.001 6)	(0.009 5,0.001 6)
(39.990 1,74.132 6)	(40.018 1,74.116 6)	(0.028 0,0.016 0)
(106.000 0,82.000 0)	(106.024 1,82.031 4)	(0.024 1,0.032 1)
(107.673 6,76.820 7)	(107.683 4,76.839 5)	(0.009 8,0.018 8)
(100.000 0,95.000 0)	(100.030 1,95.025 6)	(0.030 1,0.025 6)
(96.221 6,48.380 1)	(96.187 7,48.401 5)	(0.032 5,0.021 4)
(88.000 0,43.000 0)	(88.017 0,43.029 4)	(0.017 0,0.029 4)
(74.095 6,40.016 8)	(74.065 9,40.009 6)	(0.029 7,0.007 2)
(47.000 0,52.000 0)	(47.009 2,52.013 8)	(0.009 2,0.013 8)
(83.084 2,41.256 8)	(83.114 6,41.237 7)	(0.030 4,0.019 1)

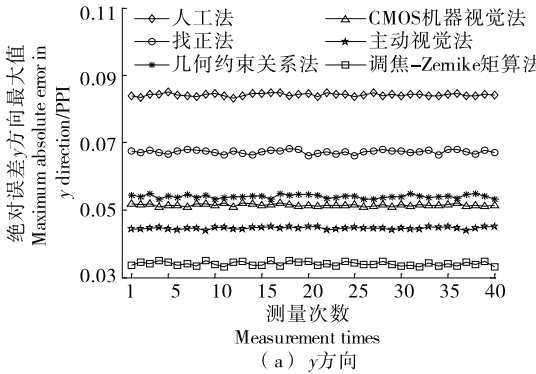
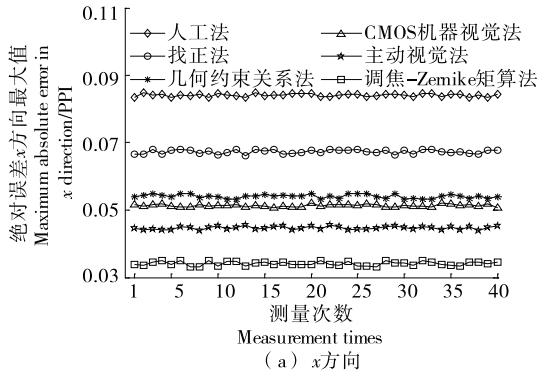


图 9 绝对误差最大值相比结果
Figure 9 Results of maximum absolute error comparison

0.032 1 像素密度,误差相比其他方法较小,说明调焦-Zernike 矩算法定位精确度较高。

3 结论

(1) 针对微小零件尺寸检测过程中存在的问题,试验提出一种基于调焦-Zernike 矩算法的微小零件尺寸检测方法。通过粗、精调焦函数以及爬山算法改进解决了 Zernike 矩算法运算时间较长的问题,缩小了 Zernike 矩的计算范围,使得调焦-Zernike 矩在零件定位精度提高的情况下,缩短了计算时间,提高了速度。

(2) 在微小零件尺寸检测中,存在像素级边缘定位不能满足实际工作需求的缺陷,采用改进 Zernike 矩算法能够获得图像的边缘位置,大大地提高了检测精度。

(3) 试验只是针对规则的微小零件进行检测,并未对不规则的微小零件进行检测,这将是今后研究的一个方向。

参考文献

[1] 熊保玉, 蹇清平. 基于宇宙量子算法的微小零件尺寸检测[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 121-125.
[2] ZHANG Xiao-dong, WU Bin, YANG Zhi-yuan. Position detection of component aperture based on integral imaging

technology[J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2017, 8(3): 238-243.
[3] 范荻, 金守峰, 陈蓉, 等. 面向装配机器人的零件视觉识别与定位方法[J]. 西安工程大学学报, 2018, 32(1): 114-120.
[4] 陈向伟, 王海月. 基于计算机视觉的轴套零件尺寸测量[J]. 制造技术与机床, 2014(10): 85-88.
[5] LIU Zhen-yu, TAN Jian-rong. Constrained behavior manipulation for interactive assembly in a virtual environment[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007, 322(7): 797-810.
[6] 谢煌生, 刘周林. 基于形状匹配的装配定位方法[J]. 制造技术与机床, 2015(5): 97-100.
[7] 张习文, 王晓东, 罗怡, 等. 跨尺度微小型零件的测量与装配[J]. 纳米技术与精密工程, 2012, 10(4): 342-347.
[8] WANG Jian-lin, WEI Qing-xuan, ZHAO Li-qiang, et al. An improved empirical mode decomposition method using second generation wavelets interpolation[J]. Digital Signal Processing, 2018, 79(8): 164-174.
[9] CHAO Yong, FERNANDEZ Jose, NAHATA Babu. Pay-what-you-want pricing under competition: Breaking the bertrand trap[J]. Journal of Behavioral and Experimental Economics, 2019, 82(10): 101 453-101 462.

(下转第 109 页)

设计,还可以提升食品的艺术价值,消费者在选购商品时,即便对食品没有需求,在看到设计精美的食品包装时,也会产生愉悦感,充分发挥食品包装的社会价值。

4.1.2 加强包装设计与人的互动 设计食品包装时,相关设计人员要详细考量包装色彩与消费者之间的互动性。良好的色彩联想性表达,可以有效提升包装与消费者之间的互动,其原因在于:色彩是食品包装众多设计元素中,较为醒目的一种,可以快速与消费者建立心灵联系,消费者在观察食品包装色彩信息时,通过联想将食品与自身所积累的生活经验进行关联,提升消费者对于食品的认可程度。

4.1.3 加快包装市场的可持续发展 近年来,食品包装市场规模快速扩张,出口食品总量持续上升,食品包装市场发展潜力巨大。设计人员通过运用标示性色彩符号、象征性色彩符号,提高食品包装色彩联想性,解决食品包装同质化严重、缺乏创新等问题^[10]。通过这样的方式来加快食品包装设计样式更新速度,为食品生产厂家争取到更多的经济效益,促进食品包装设计发展的可持续性。

4.2 发展趋势

4.2.1 优化消费者的色彩体验 食品包装色彩语义和食品属性之间存在紧密关联。包装色彩联想性表达一方面能够让消费者在短时间内了解食品关键信息,另一方面还能够与消费者主观思维产生联动,以色彩联想性表达为切入点,针对食品包装色彩元素进行评价。特别是借助一些新技术(VR技术、AR技术等),提升食品包装色彩视觉冲击力,给消费者带来更具视觉冲击力的色彩体验。

4.2.2 为品牌延伸提供色彩服务 利用包装色彩,能够提升食品辨识度,优秀的包装色彩设计,有助于企业树立品牌形象。在新技术支持下,设计人员可以尝试利用多

重包装以及广告宣传等手段,对食品的品牌与包装色彩进行深度融合,以包装色彩突出品牌文化底蕴,同时以品牌文化丰富包装色彩内涵,通过这种方式提升食品价值。

5 结语

优化食品包装色彩设计,一方面可以提升食品的市场竞争力,另一方面也可以顺利完成食品包装与消费者之间的互动。对于设计人员而言,需要从色彩识别、色彩象征以及色彩审美等方面,对食品包装色彩设计进行优化,为消费者提供更为丰富的色彩体验,提升产品竞争力。

参考文献

- [1] 李辉,侯雅单,张玥,等. 包装的感性设计方法探析[J]. 湖南包装, 2018, 33(3): 11-14, 39.
- [2] 舒望. 色彩在食品包装设计中的运用[J]. 包装工程, 2018(16): 270-273.
- [3] 张亚莉. 色彩设计在儿童食品药品包装上的运用分析[J]. 印染助剂, 2017(9): 113.
- [4] 贺雪梅,曹廷蕾,鹿丹琼. 基于多维约束的食品包装设计[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 94-97.
- [5] 张弘韬,黄新. 便携式红酒包装设计[J]. 湖南包装, 2019, 34(2): 139.
- [6] 柳泽明,姜菁菁. 浅析休闲食品包装设计的造型与结构设计[J]. 中国包装工业, 2013(14): 12.
- [7] 涂阳军,杨智. 包装对食品味觉体验的影响述评及启示[J]. 包装工程, 2013(6): 68-72.
- [8] 孙玉林,王安霞. 基于模块化设计理念的食品包装定制服务策略研究[J]. 湖南包装, 2019, 34(5): 104-108.
- [9] 王丹妮. 食品包装设计[J]. 美术教育研究, 2017(1): 183.
- [10] 钟云飞,付芦静. 湖南省印刷包装企业科技创新能力现状分析[J]. 包装学报, 2020, 35(2): 39-46.
- [11] 肖作江,朱海滨,徐志刚. 基于图像自准直自动调焦技术[J]. 光子学报, 2016, 45(10): 41-45.
- [12] 韦玉科,李江平,段仰广,等. 一种基于图像处理的舌象采集自动调焦算法[J]. 山东大学学报(工学版), 2011, 41(4): 95-100.
- [13] 陈洪涛. 基于动态因子自适应搜索算法的自动调焦研究[J]. 工具技术, 2016, 50(9): 105-108.
- [14] 赵志丹,周哲海,张晓林,等. 光镊系统的粒子自动对焦成像方法研究[J]. 自动化仪表, 2015, 36(10): 25-28.
- [15] 吴叶兰,秦艳红,张之敬. 基于显微视觉的微小型零件边缘检测技术研究[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(17): 266-270.
- [16] 文涛,左东广,李站良,等. 基于改进小波变换和Zernike矩的亚像素边缘检测算法[J]. 电光与控制, 2015, 22(9): 50-54.
- [8] 周霖,陈富林,沈金龙,等. 基于MATLAB的四自由度机械臂运动学仿真研究[J]. 机械制造与自动化, 2016(1): 115-119.
- [9] RADKHAH K, KULIC D. Dynamic parameter identification for the CRS A460 robot[C]// IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots & Systems. [S. l.]: IEEE, 2007.
- [10] 房立金,党鹏飞. 基于量子粒子群优化算法的机器人运动学标定方法[J]. 机械工程学报, 2016, 10(7): 23-30.

(上接第 95 页)