

基于宇宙量子算法的微小零件尺寸检测

Dimension detection of micro parts based on universe quantum algorithm

熊保玉

蹇清平

XIONG Bao-yu JIAN Qing-ping

(成都工业职业技术学院, 四川 成都 610218)

(Chengdu Vocational Technical College of Industry, Chengdu, Sichuan 610218, China)

摘要:通过建立主、从式宇宙空间结构改善了量子算法的运行效率,非正交二次B样条小波和最小二乘小波支持向量回归机对零件边缘进行检测,给出了微小零件尺寸检测流程。试验仿真显示该算法对微小零件尺寸测量数据波动范围较小,方差值相比其他方法值较低,其中UQ算法测量的外轮直径测量方差值比HI、MM、AIT、IF、IGR算法分别减少了75.29%,78.40%,64.47%,60.95%,52.15%;UQ算法测量的内轮直径测量方差值比HI、MM、AIT、IF、IGR算法分别减少了72.89%,76.75%,62.66%,59.22%,50.13%,提高了微小零件的精度测量。

关键词:宇宙;量子;微小零件;尺寸检测

Abstract: Dimension detection of micro parts was proposed based on universe quantum algorithm. The operation efficiency of the quantum algorithm was improved by using the master-slave space structure, and the edge of micro-parts was detected by non-orthogonal quadratic B-spline wavelet and least square wavelet support vector regression, with the dimension detection of micro parts process. Experimental simulation showed that the universe quantum algorithm had smaller fluctuation range for the dimension measurement data of micro parts, and the variance value was lower than other methods. The measurement variance of outer wheel diameter reduced 75.29%, 78.40%, 64.47%, 60.95% and 52.15%, respectively, comparing with HI, MM, AIT, IF, and IGR algorithm. Moreover, the measurement variance of inner wheel diameter reduced 72.89%, 76.75%, 62.66%, 59.22% and 50.13%, respectively, comparing with HI, MM, AIT, IF, and IGR algorithm. The precision measurement of micro parts was improved, with the new method for quality dimension detection of micro-parts.

Keywords: universe; quantum; micro-parts; dimension detection

食品机械中的微小零件在食品加工、生产领域中决

定了产品的质量,例如饮料灌装设备中的零件轴承决定了生产线运行的平稳性^[1],腐竹切割刀具的零件是切割腐竹质量的关键因素^[2]。

传统的测量方法有全息干涉法(Holographic Interferometry, HI)等^[3],需要测量人员通过调节测微目镜,人眼读出干涉条纹间距,但效率低、费时、受人为因素影响大,且对人眼伤害极大;千分尺法(Micrometer Method, MM)操作简单直接^[4],但受人为、环境因素影响较大,无法实现自动测量和非接触式测量。图像测量方法相比传统测量方法具有较高的精度,对各种尺寸、形状均可测量,测量范围广、灵活性好^[5],自适应图像阈值方法(Adaptive Image Thresholding, AIT),对于不同背景噪声水平的图像适应性强^[6],但不能在有效去除杂点的同时保持变化区域边缘信息;图像特征方法(Image Feature, IF),提取序贯图像之间的尺寸特征^[7],并以此来检测零件尺寸,对大型零件直线边缘检测误差较小,不太适合微小零件检测;图像灰度识别(Image Gray Recognition, IGR)算法^[8],通过霍夫变换检测,将图像中具体的像素尺寸换算到实际的尺寸,但是在目标边缘模糊的微小零件中仍存在尺寸检测精度低的问题。

为了提高微小零件尺寸检测的效果,试验拟采用宇宙量子算法,建立宇宙空间结构以及宇宙间信息交流过程,并对微小零件像素级边缘进行检测及定位。

1 宇宙量子算法模型

1.1 宇宙模型

1.1.1 宇宙空间结构 宇宙空间结构影响算法的运行效率^[9-10],采用主、从结构方式,每个主宇宙包含若干个从宇宙,从宇宙随机分布在主宇宙的周围,其离主宇宙有一定的距离,并且每个主、从宇宙群之间的距离也不一定相等,图1为宇宙空间结构模型。

由图1可知,每个主宇宙在自身的主、从宇宙群中心位置,每个从宇宙离自身的主、从宇宙群的主宇宙距离相等,主、从宇宙群A包含14个从宇宙,主、从宇宙群B包含18个从宇宙,主、从宇宙群C包含10个从宇宙。各个

基金项目:四川省教育厅科研项目(编号:18ZB0046)

作者简介:熊保玉(1980—),男,成都工业职业技术学院高级工程师/副教授,硕士。E-mail: xbywrr@163.com

收稿日期:2019-10-22

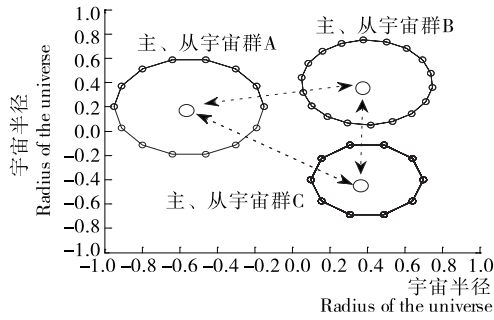


图 1 宇宙空间结构模型

Figure 1 Universe space structure model

主、从宇宙群的每个从宇宙信息交流有 2 种方式,一种为与自身主、从宇宙群的其他从宇宙进行信息交流,一种为与自身主、从宇宙群的主宇宙进行信息交流。

1.1.2 宇宙个体信息特征 无论主、从宇宙信息特征均包括两个要素即信息度和吸引度,信息度为宇宙自身对信息的拥有程度,吸引度为宇宙自身可吸引其他宇宙的程度,宇宙 i 在 t 时刻的信息度 l_i^t 计算为:

$$l_i^t = l_i^0 \times e^{\gamma \times r_i}, \quad (1)$$

式中:

r_i —— 宇宙 i 的膨胀系数, $r_i \in [0, 1]$;

l_0 —— 宇宙交流信息初始时的信息度, TB;

γ —— 信息吸收系数, $\gamma \in [-1, 0) \cup (0, 1]$ 。

宇宙 i 的吸引度 q 计算为:

$$q_i^t = q_i^0 \times \frac{\text{rand}(\cdot)}{h_{ij}}, \quad (2)$$

式中:

q_i^0 —— 最小吸引度, N/km;

h_{ij} —— 宇宙 i 和 j 的间距, km;

$\text{rand}(\cdot)$ —— $[0, 1]$ 上服从均匀分布的随机因子。

信息度和吸引度决定了其他宇宙向宇宙 i 进行信息可交换的程度,宇宙 i 吸引宇宙 j 进行交换信息的更新公式为:

$$P_i^t = \omega l_i^t + q_i^t \times (l_j^t - l_i^t), \quad (3)$$

式中:

l_i^t, l_j^t —— 宇宙 i 和 j 在 t 时刻的信息度, TB;

l_i^{t+1} —— 更新后信息度, TB;

ω —— 调节因子。

1.2 宇宙间信息交流过程

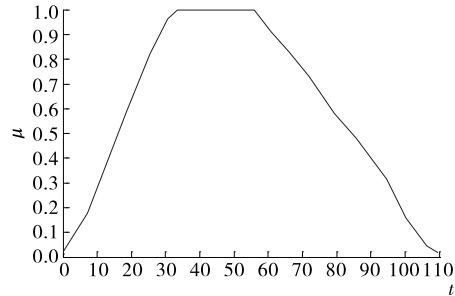
1.2.1 主宇宙间信息控制 主宇宙间信息度的改变通过对非对称梯形分布隶属度函数 μ 控制:

$$\mu = \begin{cases} l_i^t = \mu l_i^t \\ \mu = \begin{cases} \left(1 + \left|\frac{t-30}{50}\right|^4\right)^{-1} & t < \tau_1 \\ 1 & \tau_1 < t < \tau_2 \\ \left(1 + \left|\frac{t-60}{80}\right|^4\right)^{-1} & t > \tau_2 \end{cases} \end{cases}, \quad (4)$$

式中:

τ_1, τ_2 —— 阈值。

通过 μ 对 l_i^t 控制, μ 随迭代次数 t 的变化过程如图 2 所示。

图 2 μ 随 t 时刻变化情况Figure 2 μ changes with t

从图 2 可以看出, τ_1 设置为 30, τ_2 设置为 60, 在开始时刻, μ 随着 t 增加, 其值也增加, 在 $t < \tau_1$ 区间曲线增加程度比较陡, 主宇宙信息度改变较大, 相当于进行整体寻优; $\tau_1 < t < \tau_2$, μ 恒定为 1, 便于保持信息交流; 当进行到一定次数, $t > \tau_2$, μ 随着 t 增加而缓慢减小, 主宇宙信息度改变较小, 相当于进行局部寻优。

1.2.2 从宇宙间信息控制 在对从宇宙间信息更新过程中^[11-12], 初始时要求从宇宙信息改变较大; 在后期或者一定次数之后, 要求宇宙信息改变较小, 通过 z 形隶属函数 k 自适应调节吸引度实现:

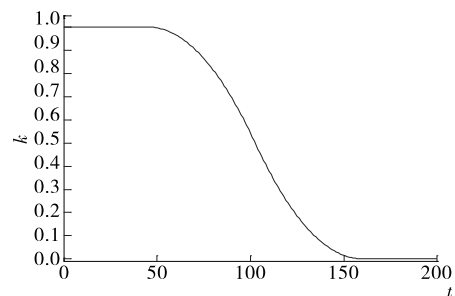
$$\begin{cases} q_i^t = k q_i^t \\ k = \begin{cases} 1 & t < \tau \\ 2 \left(\frac{6-t}{8}\right)^2 & t \geq \tau \end{cases} \end{cases}, \quad (5)$$

式中:

τ —— 阈值, 文中设置为 45。

k 随 t 变化过程如图 3 所示。

从图 3 可以看出, 隶属度 k 在初始时比较大, 几乎为 1, 满足从宇宙交换信息在寻优前期进行大区域搜索的要求, 可提高搜索的全局性能; 在最终阶段的宇宙交换信息值比较小, 可进行小范围搜索, 提高搜索的局部性能。

图 3 k 随 t 变化过程Figure 3 k changes with t

1.3 宇宙量子化

1.3.1 宇宙量子态 每个宇宙通过量子态 0 或 1 两种状态表示,0 表示与自身宇宙群中的宇宙交流,1 表示与其他宇宙群中的宇宙交流,而且可以同时表示这两种状态之间的任意叠加态^[13-14],即同时进行自身宇宙群中的宇宙、其他宇宙群中的宇宙交流,因此一个宇宙量子信息比特为:

$$|\phi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \quad (6)$$

式中:

α, β ——复数,分别表示状态 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的概率幅,

$$\begin{cases} \delta = \exp\left[-\frac{\nabla f_{\max} - \nabla f_{\min}}{\nabla f(x) - \nabla f_{\min}}\right] \\ \nabla f_{\max} = \left[\max\left\{\frac{\partial f(x_1)}{\partial x_1^1}, \dots, \frac{\partial f(x_M)}{\partial x_M^1}\right\}, \dots, \max\left\{\frac{\partial f(x_1)}{\partial x_1^N}, \dots, \frac{\partial f(x_M)}{\partial x_M^N}\right\}\right], \\ \nabla f_{\min} = \left[\min\left\{\frac{\partial f(x_1)}{\partial x_1^1}, \dots, \frac{\partial f(x_M)}{\partial x_M^1}\right\}, \dots, \min\left\{\frac{\partial f(x_1)}{\partial x_1^N}, \dots, \frac{\partial f(x_M)}{\partial x_M^N}\right\}\right] \end{cases} \quad (8)$$

式中:

$f(x)$ —— x 的适应度函数;

$f_{\max}, f_{\min}$ ——当前宇宙群中个体适应度的最大、最小值;

$\nabla f(x)$ —— $f(x)$ 在个体 x 处的梯度;

x_i^j ——向量 x_i 的第 j 个分量;

M ——整个宇宙群规模;

N ——量子位数。

转角函数 $\Delta\theta$ 为:

$$\Delta\theta = -\operatorname{sgn}(A) \times 0.0045 \times (1 + 20\delta)。 \quad (9)$$

因此若目标函数变化率比较大, $\Delta\theta$ 增大,加快收敛速度;反之 $\Delta\theta$ 减小,防止跃过全局最优值,这样 $\Delta\theta$ 变化范围合理,提高了搜索精度。

2 微小零件尺寸检测过程

2.1 像素级边缘检测算法

为了得到连贯的边缘以及较少的伪边缘,通过非正交二次 B 样条小波对零件像素级边缘检测^[15]。设 $h, \tilde{h}$ 是低通滤波器; $g, \tilde{g}$ 是高通滤波器; $\dot{h}(\omega), \dot{\tilde{h}}(\omega), \dot{g}(\omega), \dot{\tilde{g}}(\omega)$ 依次是 $h, \tilde{h}, g, \tilde{g}$ 的频域表示,且满足 $\dot{h}(\omega) = \sqrt{2}, \dot{\tilde{h}}(\omega) = 0$ 。假设 $\varphi, \psi, \dot{\varphi}, \dot{\psi}$ 都是能量有限的函数, $\varphi(\omega)$ 是二进小波, $\varphi(\omega)$ 是尺度函数, $\varphi = \tilde{\varphi}$, 等价于 $h = \tilde{h}$, 根据尺度方程和小波方程得:

$$\begin{cases} \dot{\varphi}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \dot{h}\left(\frac{\omega}{2}\right) \dot{\varphi}\left(\frac{\omega}{2}\right) \\ \dot{\psi}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \dot{g}\left(\frac{\omega}{2}\right) \dot{\varphi}\left(\frac{\omega}{2}\right) \\ \dot{\dot{\varphi}}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \dot{\dot{h}}\left(\frac{\omega}{2}\right) \dot{\varphi}\left(\frac{\omega}{2}\right) \\ \dot{\dot{\psi}}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \dot{\dot{g}}\left(\frac{\omega}{2}\right) \dot{\varphi}\left(\frac{\omega}{2}\right) \end{cases} \quad (10)$$

$$|\dot{h}(\omega)|^2 + |\dot{\tilde{h}}(\omega)|^2 = 2$$

并且满足 $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ 。

宇宙量子旋转操作通过量子旋转门 U 实现:

$$U = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}, \quad (7)$$

式中:

θ ——旋转角, ($^\circ$)。

1.3.2 自适应调整转角步长策略 针对微小零件尺寸需要连续优化问题,根据寻优目标函数在搜索点处的变化率,转角步长调整自适应系数为:

令 $\dot{\varphi}(\omega)$ 为二次 B 样条函数的傅里叶变换:

$$\dot{\varphi}(\omega) = e^{-i\frac{\omega}{2}} \left[\frac{\sin(\omega/4)}{\omega/4} \right]^3, \quad (11)$$

其中:

$$\begin{cases} h(\omega) = \sqrt{2} e^{-i\frac{\omega}{2}} \cos^3\left(\frac{\omega}{2}\right) \\ g(\omega) = 2i\sqrt{2} \sin\left(\frac{\omega}{2}\right) e^{-i\frac{\omega}{2}} \\ \dot{g}(\omega) = i\frac{\sqrt{2}}{2} \sin\left(\frac{\omega}{2}\right) e^{-i\frac{\omega}{2}} \sum_{n=0}^2 \left\{ \cos\left(\frac{\omega}{2}\right) \right\}^{2n} \\ \dot{h}(\omega) = \frac{i\omega}{2} \left\{ \frac{\sin(\omega/4)}{\omega/4} \right\}^4 e^{-i\frac{\omega}{2}} \end{cases} \quad (12)$$

利用小波的滤波器系数,得出小波分解一级系数,求得 x, y 方向的梯度 $W_{2^j}^1 f(x, y), W_{2^j}^2 f(x, y)$, $f(x, y)$ 小波变换的梯度幅值:

$$M_{2^j} f(x, y) =$$

$$\sqrt{|W_{2^j}^1 f(x, y)|^2 + |W_{2^j}^2 f(x, y)|^2}。 \quad (13)$$

将梯度幅值作为宇宙量子的适应度函数。

幅角为:

$$A_{2^j} f(x, y) = \arctan \frac{W_{2^j}^2 f(x, y)}{W_{2^j}^1 f(x, y)}。 \quad (14)$$

图像边缘位置就是函数突变点,此点对应梯度方向上的局部极大值点,当检测到局部极大值点,即可获得图像的边缘位置。

2.2 亚像素定位

通过最小二乘支持向量回归机对图像边缘亚像素进行定位,核函数设置为小波核函数:

$$K(x_i, x) = \prod_{i=1}^d \cos\left(\frac{x - x_i}{a}\right) \exp\left[-\frac{(x - x_i)^2}{2a^2}\right], \quad (15)$$

式中:

x_i ——输入空间;

α ——尺度因素;

d ——输入空间的维数。

则最小二乘小波支持向量回归机线性函数回归模型为:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \prod_{j=1}^d \cos\left(\frac{x-x_i}{a}\right) \exp\left[-\frac{(x-x_i)^2}{2a^2}\right] + b, \quad (16)$$

式中:

b ——回归参数。

2.3 算法流程

① 输入零件图像,宇宙量子随机初始化,获得宇宙的信息度、吸引力;

② 根据式(3)~(5)更新宇宙;

③ 根据式(8)和(9)更新量子;

④ 若 $M_{2j}^j f(x, y) =$

$\sqrt{|W_{2j}^{1j} f(x, y)|^2 + |W_{2j}^{2j} f(x, y)|^2}$ 不再变化,且 >

1.15, 进行步骤⑤, 否则进行步骤②;

⑤ 输出检测结果。

3 试验仿真

试验 PC 配置为 CPU 为 AMD FX-6300 Six-Core、内存 8 GB、Intel H61 主板,集成显卡,由 Matlab2014 实现仿真,其中主、从宇宙个体 4 个,每个主宇宙对应的从宇宙个体最多为 20 个。采用维氏相机,分辨率 1 600×1 200,相元尺寸 4.65 mm×4.65 mm;总像素 1 280×960;最低照度 0.001 Lux;伽马校正 0.45/1.0;最大帧速度 29.3 f/s。不同的方法进行对比试验,包括 HI、MM、AIT、IF、IGR、UQ 方法。

3.1 系统标定

系统标定是通过使用标准计量仪器确定测量仪器的准确度,对微小零件实际尺寸检测具有重要意义。靶标选用天津微深通用科技有限公司生产的 PHS 平面靶标,边长 D 为 1 000 μm ×1 000 μm 的正方形棋盘格,对棋盘图像边长的标定系数 ζ 为:

$$\zeta = \frac{D}{D'}, \quad (17)$$

式中:

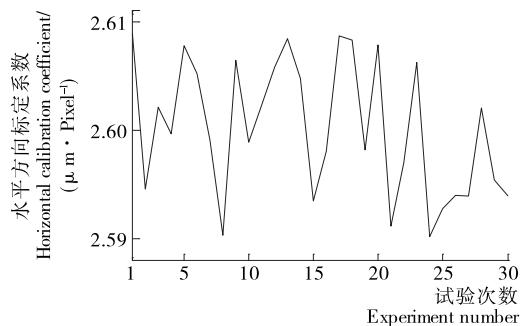
D' ——检测出的棋牌格长度的像素值,Pixel。

经过 30 次蒙特卡罗试验获得数据如图 4 所示。

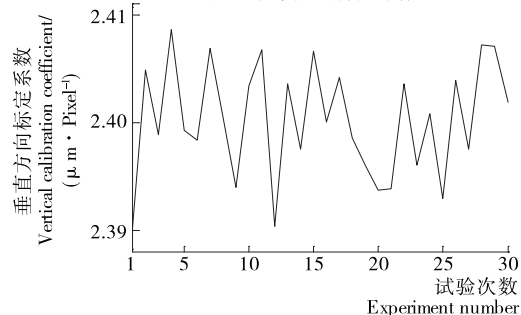
对图 4 所示的数据取平均值,最终计算水平方向标定系数为 2.6 $\mu\text{m}/\text{Pixel}$,垂直方向标定系数为 2.4 $\mu\text{m}/\text{Pixel}$ 。

3.2 零件的检测

系统标定后,对某个 80 像素×80 像素,圆心在正中,半径为 30 像素格的标准零件进行测试,如图 5 所示。



(a) 水平方向标定系数



(b) 垂直方向标定系数

图 4 系统标定

Figure 4 System calibration

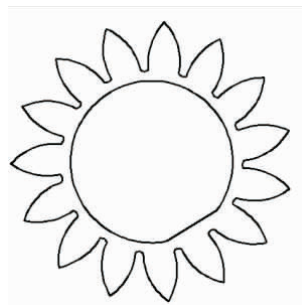


图 5 标准零件

Figure 5 Standard parts

标准零件的外轮直径 25.02 mm、内轮直径 15.19 mm,各种算法测量精度结果见图 6。

由图 6 可知, UQ 算法外轮直径测量值、内轮直径测量值的波动范围较小,测量过程可靠,有助于精确测量;外轮直径测量方差值、内轮直径测量方差值在 0.01~0.02 mm,相比 HI、MM、AIT、IF、IGR 算法外轮直径测量方差值分别减少了 75.29%, 78.40%, 64.47%, 60.95%, 52.15%, 内轮直径测量方差值分别减少了 72.89%, 76.75%, 62.66%, 59.22%, 50.13%, 能够满足零件的精度测量。

4 结论

(1) 针对微小零件尺寸检测过程中存在的问题,试验提出一种基于宇宙量子算法的微小零件尺寸检测方法。通过主、从式宇宙结构,宇宙量子化过程,用宇宙量子算

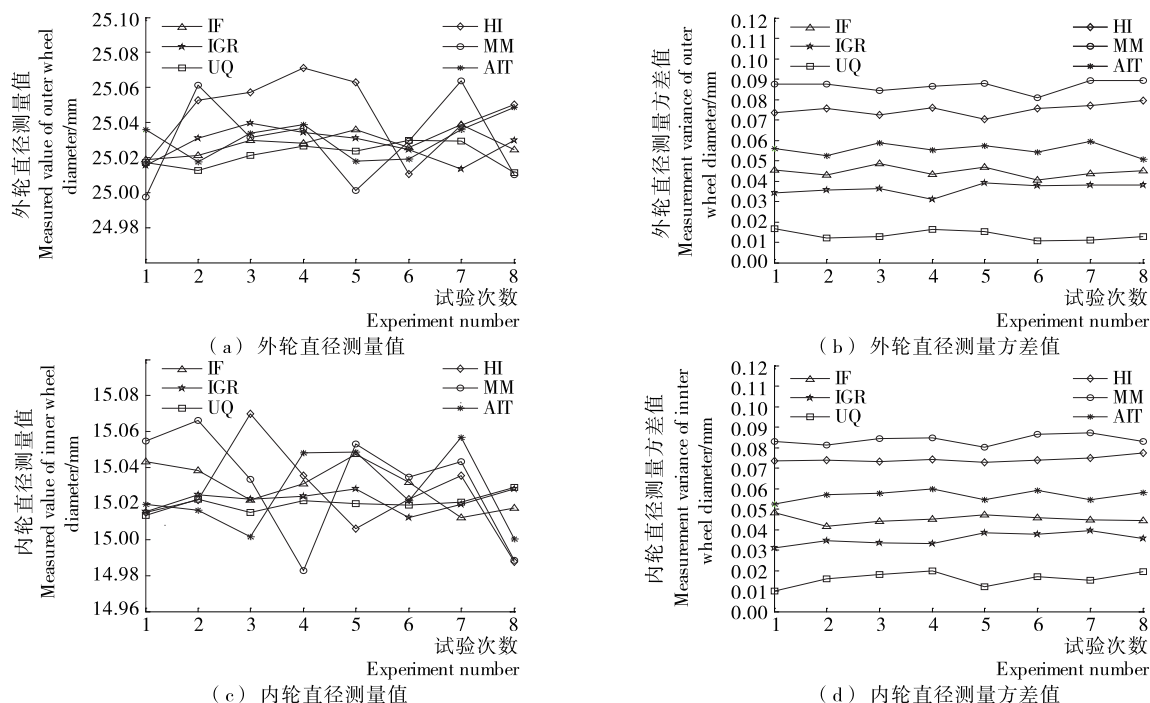


图6 检测结果

Figure 6 Detection results

法获得微小零件边缘像素的小波变换的梯度幅值,测量数据波动范围较小,外轮直径测量方差值、内轮直径测量方差值较低,说明该方法在微小零件尺寸检中十分有效。

(2) 在微小零件尺寸检测中,存在非连贯的边缘、伪边缘,采用宇宙量子算法能够获得图像的边缘位置,避免了非连贯的边缘、伪边缘的存在,大大地提高了检测精度。

(3) 试验只检测规则的微小零件,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] 王玉源, 徐杰, 吉卫喜, 等. 从特征识别到局部拼接的零件轴承孔在线检测[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 123-128.
- [2] 杜长强, 许良元. 腐竹切割刀具优化设计分析[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 103-107.
- [3] 潘云, 潘卫清. 基于数字全息技术的迈克尔逊干涉仪设计与应用[J]. 应用光学, 2018, 39(1): 93-99.
- [4] 赵文涛. 转子螺旋曲面激光测量原理及技术研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2017: 2-10.
- [5] 山博, 舒启林. 基于图像测量的微小零件尺寸检测[J]. 工具技术, 2016, 50(10): 94-97.
- [6] TORABI Keivan, SAED Sayad, THOMAS Balke-stephen. Adaptive image thresholding for real-time particle monitoring[J]. International Journal of Imaging Systems and Technology, 2006, 16(1): 9-14.
- [7] ZHANG Zhi-sheng, HE Bo-xia, DAI Min, et al. Feature-

based sequential partial vision measurement method for large scale machine parts[J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2007, 23(4): 550-555.

- [8] NAYAK Soumya-ranjan, MISHRA Jibitesh, PALAI Gopinath. A modified approach to estimate fractal dimension of gray scale images[J]. Optik, 2018, 161(5): 136-145.
- [9] 孙云娟. 基于对称蝶形宇宙算法的电路板红外图像模糊增强[J]. 计量学报, 2018, 39(2): 251-254.
- [10] 李红娟, 杨颖辉. 基于混沌多宇宙算法的苹果表面缺陷检测研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(15): 202-205.
- [11] 华敏, 李响. 基于近邻刺激的改进粒子群优化算法[J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(1): 199-206.
- [12] 李荣雨, 陈庆倩, 陈思远. 改进吸引度的动态搜索萤火虫算法[J]. 模式识别与人工智能, 2017, 30(6): 538-548.
- [13] 陈珊琳, 黄春晖. 连续变量相干态量子神经网络模型的构建[J]. 量子电子学报, 2017, 34(4): 467-472.
- [14] 周旭, 谭晓青. 通用的辅助量子计算[J]. 计算机工程与科学, 2017, 39(11): 2 000-2 005.
- [15] 吴叶兰, 秦艳红, 张之敬. 基于显微视觉的微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.