

任意位姿物体机器视觉测量视差变形校正*

张亚锋^{1,2}, 屠大维¹, 蔡建文², 干为民²

(1. 上海大学机电工程与自动化学院 上海 200072; 2. 常州工学院机械与车辆工程学院 常州 213032)

摘要:提出一种对机器视觉测量视场内任意位姿目标物体视差变形导致测量误差进行物体自动跟踪和变形校正的方法。在分析视差变形基础上,提出自动跟踪检测模型,得出校正参数。通过改进的序贯相似性检测算法(SSDA)模板匹配、图像的二值化处理和腐蚀、质心坐标求取和轮廓边缘搜索等计算,计算出反映目标物体位置、姿态偏移的特征参数,从而求得目标物体自动跟踪位置、姿态偏移校正量。以任意位姿 M4 螺母内螺纹检测为实验对象,实验结果表明,该自动跟踪校正方法可行,具有较好的跟踪一致性,取得了较好的视差变形校正效果。

关键词: 自动跟踪; 图像匹配; 轮廓搜索; 视差变形; 位置校正

中图分类号: TP391.4 TH161 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.20

Parallax deformation correction of machine visual measurement to arbitrary position pose objects

Zhang Yafeng^{1,2}, Tu Dawei¹, Cai Jianwen², Gan Weimin²

(1. School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China; 2. School of Mechanical and Vehicle Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213032, China)

Abstract: A method is introduced for automatic tracking and deformation correction of the measurement error, caused by the parallax deformation of the target object in any position of the visual field. Based on the analysis of parallax deformation, an automatic tracking detection model is proposed to obtain the correction parameters. Through the improvement of SSDA template matching, image binarization and corrosion, centroid coordinate acquisition and contour edge search, the characteristic parameters reflecting the position and pose deviation of the target object are calculated. Thus, the object automatic tracking position and pose deviation correction amount can be obtained. In this paper, the internal thread of arbitrary position pose M4 nut is used as the experimental object. The experimental results show that the automatic tracking correction method is feasible and has good tracking consistency, and achieves better correction effect of parallax distortion.

Keywords: automatic tracking; image matching; contour search; parallax deformation; position correction

0 引言

在机器视觉测量中,视场内任意位置、姿态的目标物体由于存在视差变形,引起测量误差。目前已有多种跟踪及校正算法,取得了较好的跟踪效果。文献[1]提出一种基于尺度不变特征变换(scale invariant feature transform, SIFT)算法的图像目标匹配与定位方法,文献[2]提出一种基于局部不变特征点数据集的目标跟踪

算法,这两种方法都采用了 SIFT 算子,以利于在跟踪匹配的过程中不受目标物体尺度、旋转、仿射、视角和光照变化的影响,由于在跟踪过程中须建立模板特征点数据集,在对存在视差变形较大的目标物体跟踪时,存在耗时较长和匹配不准的问题,为后续的校正带来较大的误差。BERNIER T 等人^[3]提出以角度作为自变量,以质心为中心,顺时针旋转 2π , 对应得到的目标区域的最大长度 d 作为函数,得到特征曲线进行匹配实现目标跟踪,该方法计算量大,难于应用到实时性要求高的场合,且没有考虑

视差变形。文献[4]中通过在标准图像上选取两个模板,经序贯相似性检测算法(sequential similarity detection algorithms, SSDA)快速捕捉匹配区域,并根据标准图像上两个矩形模板中心点之间的距离、待测图像上对应于标准图像模板两中心点距离和矩形模板 4 个角点的坐标获取配准图像间的平移量和旋转角度,实现位置修正。该方法的前提是待检物体须提前定位好,不能用于实时性要求高的场合。文献[5]中通过 4 个矩形修正窗口来修正待检动态物体的位移偏移量和旋转角度,实现了自动跟踪检测,该方法要求相机光轴与待检物体所在平面垂直,显然不适用于存在视差变形较大的检测场合。

本文在视差变形分析的基础上,提出一种针对具有视差变形的目标物体视觉自动跟踪检测方法,通过建立自动跟踪模型,确定跟踪及修正参数,实现任意位置姿态目标物体的自动跟踪及视差变形修正。该方法能较好地消除视差变形的影响,跟踪速度快,可应用于相机光轴与待检物体成一定角度的场合,尤其适用于具有孔洞状的目标物体任意位置姿态的实时跟踪与检测。

1 跟踪模型建立

1.1 视差变形分析

在视觉测量中,应尽量使工业相机成像面与被测量的物体所在的平面平行,目的是降低视差变形引起的测量误差和提高跟踪被测物体的准确度。但在实际的工程应用中,很难达到成像面与物面的平行。有时为了检测物体内部的缺陷,如物体深孔内表面的检测,则需要将相机倾斜,才能获取包含物体内孔表面的影像,但同时会导致更为严重的被测物体的视差变形。在跟踪物体的检测过程中,物体的位姿会发生任意的变化,视差变形也会成非线性变化^[6-9],因此,为了提高跟踪被测物体的准确度,需要进行位置修正。

图 1、2 所示为根据文献[10]所述的物像对应关系对视场内任意位置的线段物体进行成像特性与视差变形的仿真结果,图中小方框表示线段物体的质点。

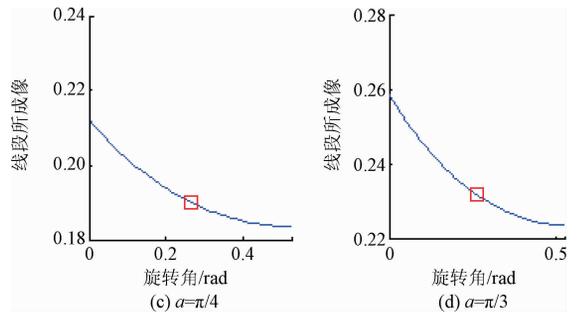
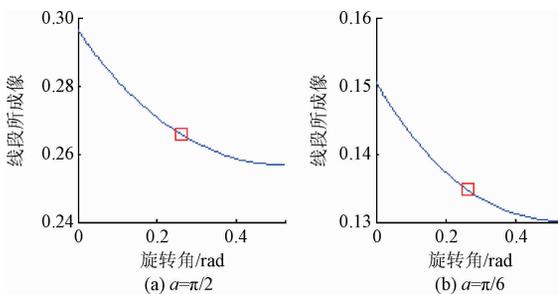


图 1 数据离散化后的曲线

Fig. 1 The curve of data discretization

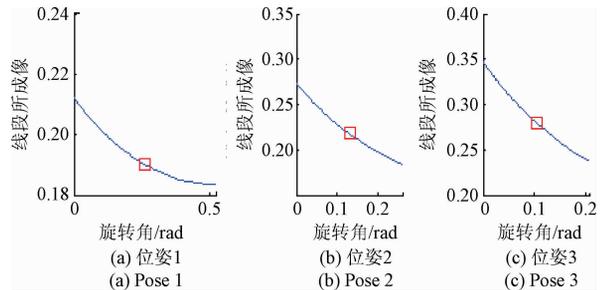


图 2 $\alpha = \pi/4$ 时数据离散化后的曲线

Fig. 2 The curve of data discretization with $\alpha = \pi/4$

图 1 表明,随着相机倾斜角 α 的变化,物体所成像成非线性变化。当相机倾斜角不变,物体在视场内发生位姿变化时,所成像也成非线性变化,如图 2 所示。尽管因视差变形引起所成像的变形失真,但质点位置的变化依然反映物体线段中点这样一个特征。因此,在自动跟踪过程中,应充分利用物体的特征,进行位置修正。

1.2 自动跟踪模型建立

根据视差变形建模分析,建立如图 3 所示的感兴趣区域(region of interest, ROI)跟踪模型,图像区域的左上角点 O 为坐标系 XOY 原点。

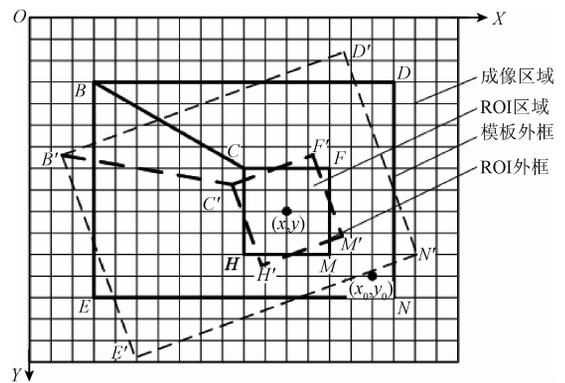


图 3 跟踪模型示意图

Fig. 3 Tracking model diagram

设标准图像上的模板外框和 ROI 区域外框为矩形水平布置,边长分别为 d_{b1} 、 d_{b2} 、 d_{c1} 、 d_{c2} , $\overline{BC} = \Delta d$, B 点坐标为 $B(x_b, y_b)$, C 点坐标为 $C(x_c, y_c)$, $\angle CBD = \angle C'B'D' = \alpha$, 两矩形框之间的位置关系如式(1)所示,其中模板外框即跟踪框。

$$\begin{cases} \alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{y_c - y_b}{x_c - x_b} \\ x_{c'} = x_{b'} + \Delta d \cos(\alpha - \Delta\theta) \\ y_{c'} = y_{b'} + \Delta d \sin(\alpha - \Delta\theta) \end{cases} \quad (1)$$

文献[11-12]中给出一组不变矩,其具有平移、旋转和缩放不变的特性,其中一阶矩表示物体的质心。

因此,将目标物体图像以其质心坐标为中心旋转 $\Delta\theta$ 角度代入式(1)中,逆时针旋转为正,反之为负,标准图像上的 $\Delta\theta = 0$ 。

目标物体进入视场区域时,通过模板匹配快速跟踪目标物体,获取模板框左上角点坐标 $B'(x_{b'}, y_{b'})$ 的同时,求取目标物体图像的质心坐标 $I_{ob}(x, y)$ 。模板外框点 B' 、 D' 、 E' 和 N' 的坐标由式(2)求取,ROI 外框点 C' 、 F' 、 H' 和 M' 的坐标求取类似。

$$\begin{cases} (\Delta x, \Delta y) = I_{ob}(x, y) - I_{st}(x_0, y_0) \\ (x_{b'}, y_{b'}) = (x_b + \Delta x, y_b + \Delta y) \\ (x_{d'}, y_{d'}) = (x_{b'} + d_{b1} \cos \Delta\theta, y_{b'} - d_{b1} \sin \Delta\theta) \\ (x_{e'}, y_{e'}) = (x_{b'} + d_{b2} \sin \Delta\theta, y_{b'} + d_{b2} \cos \Delta\theta) \\ (x_{n'}, y_{n'}) = \\ (x_{b'} + d_{b1} \cos \Delta\theta + d_{b2} \sin \Delta\theta, y_{b'} + d_{b2} - d_{b1} \sin \Delta\theta) \end{cases} \quad (2)$$

根据图像的质心和边缘轮廓点之间的长度求出图像的最长边和旋转角度是一种简单实用的方法^[13],本文在此方法的基础上,针对具有视差变形的图像,由式(3)求取 $\Delta\theta$ 。

$$\begin{cases} \theta_{st} = \cos^{-1} \frac{L_{st1}^2 + L_{st2}^2 - L_{st3}^2}{L_{st1} L_{st2}} \\ \theta_{ob} = \cos^{-1} \frac{L_{ob1}^2 + L_{ob2}^2 - L_{ob3}^2}{L_{ob1} L_{ob2}} \\ \Delta\theta = \Delta\theta_{ob} - \Delta\theta_{st} \end{cases} \quad (3)$$

式中: L_{st1} 、 L_{st2} 、 L_{st3} 和 θ_{st} 分别为标准图像质心至图像边缘起始点间的距离、最远点间的距离、起始点与最远点间的距离和 L_{st1} 与 L_{st2} 间的夹角, L_{ob1} 、 L_{ob2} 、 L_{ob3} 和 θ_{ob} 分别为目标图像质心至图像边缘起始点间的距离、最远点间的距离、起始点与最远点间的距离和 L_{ob1} 与 L_{ob2} 间的夹角。

通过将目标物体图像与标准图像的比较,获取目标物体位置补正值 $(\Delta x, \Delta y)$ 和 $\Delta\theta$,进一步实现模板跟踪框和 ROI 区域外框的实时补正,从而消除 ROI 区域的检测受目标物体位置变化而引起的视差变形影响,实现 ROI 区域的自动跟踪。

2 跟踪及补正参数确定

2.1 改进的 SSDA 模板匹配

根据跟踪模型分析,模板框位置确定的前提是点 $B'(x_{b'}, y_{b'})$ 的确定,本文采用 SSDA 模板匹配方法。该方法是一种快速计算模板 T 与搜索图上子图 $S^{i,j}$ 相关程度的计算方法^[14-16]。模板匹配如图 4 所示。

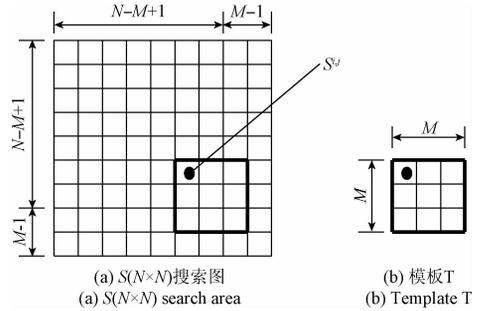


图 4 模板匹配示意图

Fig. 4 Template matching diagram

其中 $1 < i, j < N - M + 1$, 参考点 (i, j) 为子图左上角点在 S 图中的坐标,传统的做法是对 $(N - M + 1)$ 个参考点逐点匹配,计算量大,不利于实时性要求。

本文采用改进的 SSDA 算法,其准则如下。

首先,每隔 Δm 个点进行匹配,在获取的子图 $S^{i,j}(m, n)$ 中选择一个确定好的点,计算该点同模板 T 中对应点的绝对误差值 ε ,如式(4)所示,式中 S 、 T 代表灰度值。 $\hat{S}(i, j)$ 如式(5)所示, $\hat{T}(i, j)$ 如式(6)所示。

$$\varepsilon(i, j, m_k, n_k) = |S^{i,j}(m_k, n_k) - \hat{S}(i, j) - T(m_k, n_k) + \hat{T}(i, j)| \quad (4)$$

$$\hat{S}(i, j) = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M S^{i,j}(m, n) \quad (5)$$

$$\hat{T}(i, j) = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M T(m, n) \quad (6)$$

其次将获取的 ε 值与其他点对的误差值累加,当累加的次数 r 时,误差值超过设定好的阈值 T_k ,则停止累加,存储 r 值。根据式(7)所示的 SSDA 检测曲面公式以 $I(i, j)$ 的最大值确定点 (i, j) ,即 $(x_{b'}, y_{b'}) = (i, j)$ 。

$$I(i, j) = \{r | \min_{1 \leq r \leq m^2} [\sum_{k=1}^r \varepsilon(i, j, m_k, n_k) \geq T_k]\} \quad (7)$$

为了表示匹配效果,常用如式(8)所示的相关函数进行相似性度量, $0 \leq R(i, j) \leq 1$ 。

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M S^{i,j}(m, n) \times T(m, n)}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [S^{i,j}(m, n)]^2} \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [T(m, n)]^2}} \quad (8)$$

2.2 质心坐标求取

质心坐标是目标图像旋转的中心,也是获取旋转角 $\Delta\theta$ 的前提。为了提高跟踪速度,将阈值变换及腐蚀与按式(9)求取质心的过程在程序后台进行并行处理,式(9)中 *lowgray*、*upgray* 为目标图像低灰度值和高灰度值, (x, y) 为质心坐标, $f(i, j)$ 为灰度值, $t(i, j)$ 为符合灰度条件的像素点数。

$$\begin{cases} x = \frac{m_{10}}{m_{00}} \\ y = \frac{m_{01}}{m_{00}} \\ m_{00} = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M (t(i, j) | lowgray < f(i, j) < upgray) \\ m_{10} = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M (i | lowgray < f(i, j) < upgray) \\ m_{01} = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M (j | lowgray < f(i, j) < upgray) \end{cases} \quad (9)$$

2.3 轮廓边缘提取及外轮廓追踪

针对二值图像的轮廓边缘提取常产生如图 5(a) 所示的多轮廓边缘,造成不利于式(3)所示的求取工作,因此需要进行外轮廓追踪。

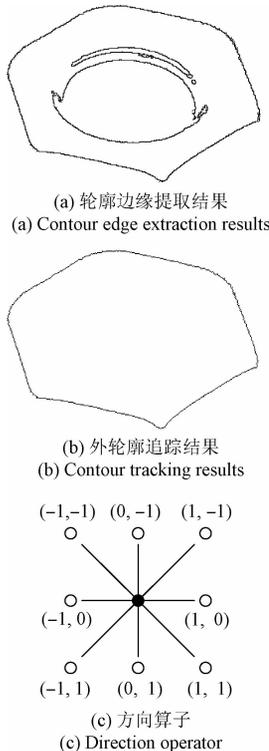


图 5 二值图像轮廓边缘提取及追踪结果
Fig. 5 Binary image contour edge extraction and tracking results

本文采用计算量较小的轮廓跟踪算法^[17],其跟踪准则:首先按照从左到右,从上到下的顺序找到二值图像的第 1 个黑点,该点作为第 1 个边界点,在该点定义初始的搜索方向为左下方,如果左下方的点是黑点,则为边界点,否则搜索方向逆时针旋转 45°,一直找到第 1 个黑点为止。然后把这个黑点作为新的边界点,在当前搜索方向上的基础上顺时针旋转 90°,以同样的方法继续搜索下一个黑点,直至初始点结束搜索,获取边缘轮廓。图 5(b) 所示为依据上述准则经图 5(c) 所示的方向算子获取的轮廓追踪结果。针对外轮廓边缘,由式(3)和(9)求取目标物体位置旋转角 $\Delta\theta$ 。

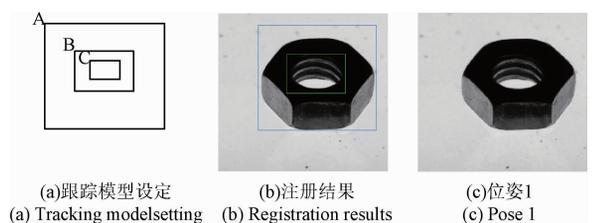
3 实验结果及分析

3.1 实验条件

实验以小尺寸 M4 六角螺母的内螺纹为检测对象。工业相机型号为 KEYENCE CV-035M,图像大小为 512 × 480,扫描方式为逐行扫描,快门速度 0.000 5 s,触发间隔为 0.3 s。螺母在导向机构和玻璃旋转台的共同作用下以一定的间隔依次进入工业相机视场,通过传感器给定相机外触发信号,获取螺母图像。采用背光方式获取清晰的像。由于须检测螺母内螺纹缺陷,因此相机以倾斜安装方式获取内螺纹区域图像,相机光轴与垂直方向成 $\pi/6$ rad。

3.2 实验结果

图 6 所示为获取的部分螺母图像,是预先设定好的跟踪模型, A 为搜索框,左上角点坐标为 (120, 38), 其对角点坐标为 (475, 354)。 B 为模板框, 对应的左上角点坐标为 (206, 125), 其对角点坐标为 (382, 243), C 为限定 ROI 区域的矩形框, 左上角点的坐标为 (252, 149), 其对角点坐标为 (341, 202)。 A 矩形框由图像质心位置确定, B 矩形框的位置由模板匹配和位置校正两个步骤完成。 C 矩形框根据式(7)确定相应位置。图 6(b) 是以作为标准图的姿态 1 的螺母图像由预设好的跟踪模型注册成功的结果。由图 6(c) ~ (e) 可以看出, 螺母进入相机视场时, 发生了位置偏移及姿态的变化, 且产生一定的视场变形, 因此, 内螺纹 ROI 区域须有相应的变化, 以利于在统一的标准下判断内螺纹是否有缺陷。



(a)跟踪模型设定 (b)注册结果 (c)位姿1
(a) Tracking model setting (b) Registration results (c) Pose 1

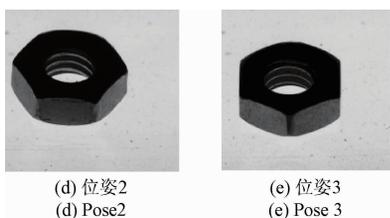
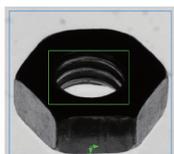


图6 螺母图像

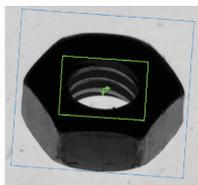
Fig. 6 Nut image

图7(a)~(c)所示为SSDA模板追踪如图6(c)~(e)所示的3种不同位置及姿态的螺母图像得到的结果。模板框找到了相应的位置并进行了正确的旋转。旋转角由后台程序按照式(3)、(9)自动执行获得,图8、9所示为针对局部图像(355×316)计算旋转角的后台程序处理过程的可视化结果。阈值变换和腐蚀操作对应结果如图8(a)~(c)所示。腐蚀变换值为10,阈值变换值为10,即 $lowgray=0, upgray=10$,并同时按式(9)获得质心坐标。



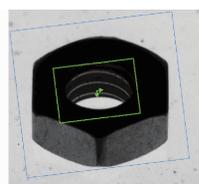
(a) 图6(c) 位姿1时的模板位置

(a) The template position corresponding to pose 1 in Fig.6 (c)



(b) 图6(d) 位姿2时的模板位置

(b) The template position corresponding to pose 2 in Fig.6 (d)



(c) 图6(e) 位姿3时的模板位置

(a) The template position corresponding to pose 3 in Fig.6 (e)

图7 模板框的跟踪结果

Fig. 7 Template frame tracking results

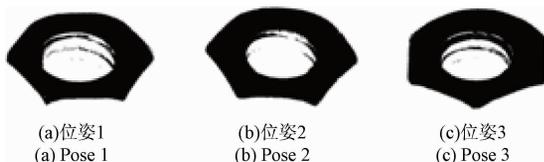


图8 阈值分割及腐蚀结果

Fig. 8 Threshold segmentation and erosion results

图9所示为对图8进行轮廓追踪的结果, L_1 、 L_2 和 θ 值求得的结果如表1所示,其中 L_1 为质心坐标至起始点的距离, L_2 为质心坐标至轮廓最远点的距离。表1中的坐标数据是以局部图像的左上角点(120,38)为原点建立的局部坐标数据,数据正确反映了螺母的姿态变化。

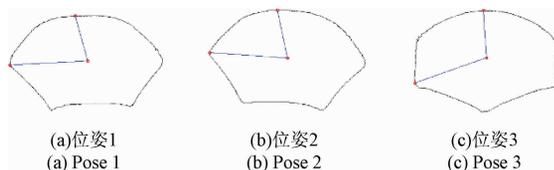


图9 轮廓追踪及特征显示

Fig. 9 Contour tracking and feature display

表1 局部坐标实验数据

Table 1 Experimental data of local coordinates

姿态	质心坐标	起始边界点	最远边界点	L_1 /像素	L_2 /像素	θ /rad	Δx /像素	Δy /像素	$\Delta\theta$ /rad
1	(176,125)	(150,30)	(15,134)	98.49	161.25	0.433π	0	0	0
2	(173,119)	(152,18)	(13,108)	103.16	160.38	0.413π	-3	-6	-0.0199π
3	(157,119)	(151,20)	(10,172)	99.18	156.26	0.591π	-19	-6	0.1582π

以图6(e)所示的位姿为例,所示的正确跟踪动作过程如图10所示。根据质心坐标,预先注册的搜索框找到螺母,如图10(a)所示,根据旋转角,搜索框进行了相应的旋转,确定搜索范围,如图10(b)所示。在搜索范围内,预先注册的模板框根据螺母局部椭圆特征,实现了模板匹配,确定了模板框的中心坐标,如图10(c)所示。根据质心坐标和位置偏移参数($\Delta x, \Delta y$)和 $\Delta\theta$,模板框完成位置修正,如图10(d)所示。

3.3 实验分析

本文采用补正后的ROI区域直方图表征跟踪的一致性,以模板框补正前后的相似度变化值表征视差变形补正效果。图11(a)所示的标准图ROI区域二值化图由图11(b)所示的ROI区域直方图所确定的阈值进行分割后的结果,阈值为43。按式(1)~(3)和(7)获取的如图12所示的ROI追踪结果,ROI区域矩形框随着螺母位姿的变化发生了相应的变化,针对ROI区域给出如图13所示的直方图。

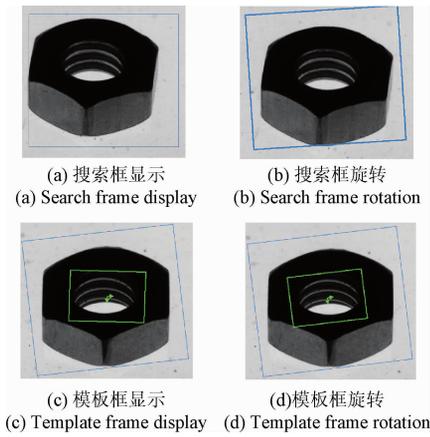


图 10 跟踪动作过程
Fig. 10 Tracking process

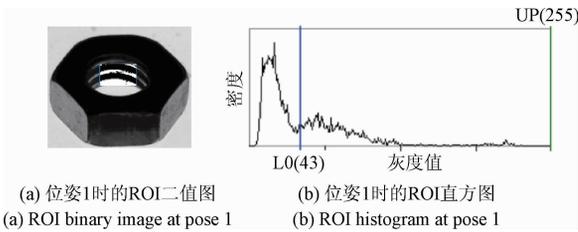


图 11 位姿 1 时的处理结果
Fig. 11 Processing results at pose 1

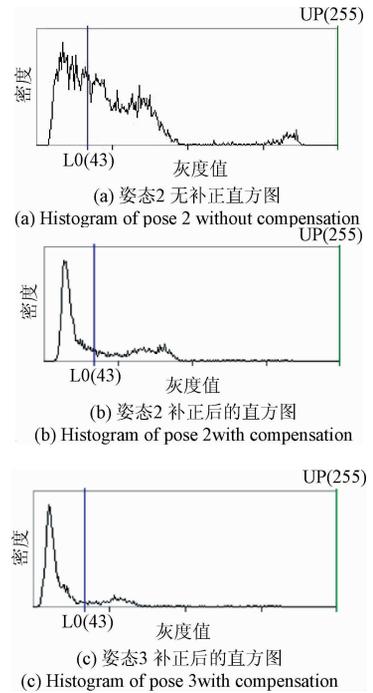


图 13 ROI 直方图
Fig. 13 ROI histogram

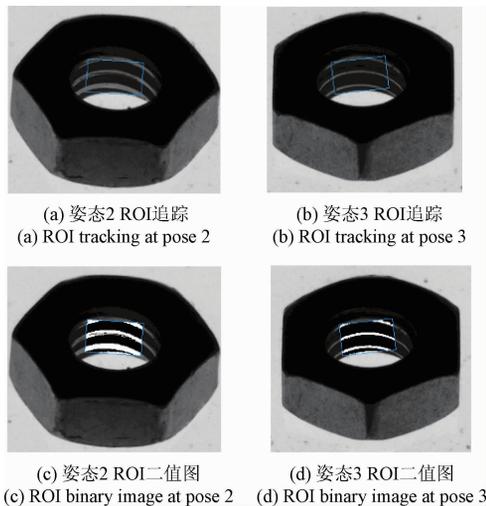


图 12 姿态变化时 ROI 追踪及处理结果
Fig. 12 ROI tracking and processing results with pose change

图 13 (a) 所示为 ROI 矩形框位姿修正前对应的直方图,与标准图直方图差异较大,不能以阈值 43 对 ROI 区域进行分割。图 13 (b)、(c) 与图 11 所示螺母位姿的 ROI 区域直方图相似度高,其峰一峰之间的直方

图变化量较小,说明跟踪一致性较好。因此采用同一个阈值 43 对 ROI 区域进行分割,有利于对内螺纹缺陷进行统一的判别,图 12 (c)、(d) 所示为该阈值分割下的二值化图。

上述位姿的自动跟踪数据如表 2 所示,表 2 中数据是在以图像左上角点(0,0)为原点建立的坐标系中所得。 B 点对应的坐标为模板框匹配完成时生成的数据坐标,同时生成模板框中心点坐标。 $\Delta\theta_1$ 为模板框匹配完成时相对于在标准图上注册的模板框水平位置的旋转角逆时针为正,顺时针为负, $\Delta\theta_2$ 为旋转角修正值,由式(3)获取。模板框修正前后,根据式(8)求取的相似度发生了较大的变化。表 2 中的相似度 1 是修正前的值,相似度 2 是修正后的值。由表 2 数据可以看出,修正后,相似度明显得到了提高。

为了验证本文所提跟踪检测方法的实时性和视差变形修正效果,以 13 只 M4 螺母为实验对象,给出了如图 14 所示的自动跟踪修正耗时结果,耗时在 0.035 5 ~ 0.053 3 s,满足实时性要求高的检测场合。与文献[5]中的方法进行比较,少用时间在 0.068 3 ~ 0.078 8 s,主要原因是文献[5]所提方法中需要寻找 4 个修正窗口各自与被检对象外轮廓的交点,而本文方法只需寻找两个点。

表2 全局坐标实验数据

Table 2 Experimental data of global coordinates

位姿	B点	中心点	质心	$\Delta\theta_1/\text{rad}$	$\Delta x/\text{像素}$	$\Delta y/\text{像素}$	$\Delta\theta_2/\text{rad}$	相似度 1/%	相似度 2/%
位姿1	(206,125)	(294,184)	(298,164)	0.000 18 π	0	0	0	98.936	99.999
位姿2	(210,126)	(298,185)	(295,158)	-0.000 71 π	-3	-6	-0.019 9 π	84.043	96.696
位姿3	(234,107)	(303,188)	(279,158)	-0.036 4 π	-19	-6	0.158 2 π	75.532	85.509

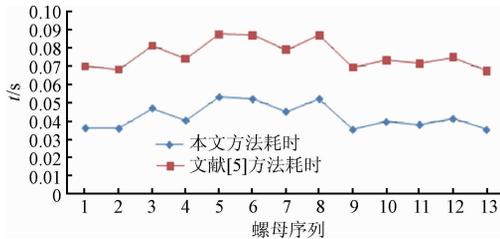


图14 自动跟踪校正耗时结果

Fig. 14 Time cost for automatic tracking and correction

另外,图15所示为校正前后模板框区域相似度变化结果,表明校正后,相似度值都得到了一定的提高,较好地消除了视差变形的影响。

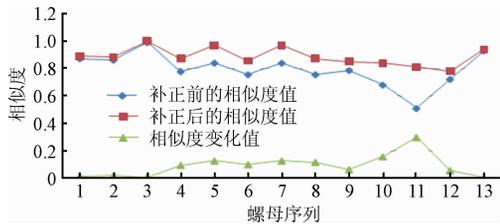


图15 校正前后模板框区域相似度变化结果

Fig. 15 Similarity change of template region before and after correction

为了进一步验证本文所提方法的视差变形校正效果,与文献[5]中所提的位置校正方法进行比较,按其方法,将图16所示的位姿1的螺母图作为标准图,以4个校正窗口与螺母轮廓边缘进行相交,如图17所示,记录下各校正窗口左上角点A、B、C、D与轮廓边缘的距离(单位为像素),实验时以图像的左上角点为原点,各校正窗口左上角点的坐标分别为(227,51)、(305,52)、(119,111)、(120,207),距离分别为38、30、66、44,以本文所述的跟踪模型进行注册。

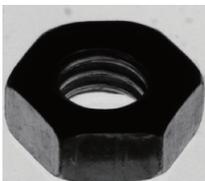


图16 位姿1

Fig. 16 Pose 1

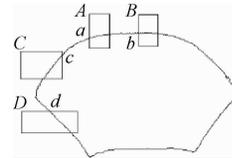


图17 位置校正窗口

Fig. 17 Position correction frame

以图6中姿态3的螺母为检测对象,获得如图18、19所示的ROI校正结果。其中图18所示为本文方法的校正结果,具体数据如表2所示。图19所示为文献[5]所述方法的校正结果,坐标校正数据为(13,9),旋转角度为0.042 8 π ,由于坐标方向的校正误差较大,导致ROI区域内灰度值较高的区域增多,且旋转角度没有真实反映螺母的实际旋转角度,表明该方法受视差变形的影响较大。

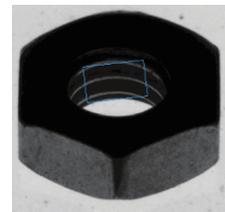


图18 姿态3 ROI校正

Fig. 18 ROI correction at pose 3

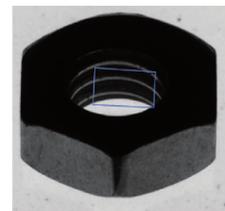


图19 姿态3 ROI校正(与图18相比)

Fig. 19 ROI correction at pose 3 (Compared with Fig. 18)

图20所示为相机垂直安装时获取的螺母图像,视差变形相对较小,螺母图像真实的反映了螺母形状。图20(b)所示为采用文献[5]方法获取的校正结果,数据为(6,6),旋转角度-0.477 9 π ,相似度87.805,图20(c)所示为本文方法获取的校正结果,数据为(6,6),旋转角度

-0.473 4 π , 相似度 85.366, 两种方法所获取的数据基本一致,这也从另一个方面反映了本文方法能更好地消除视差变形的影响。

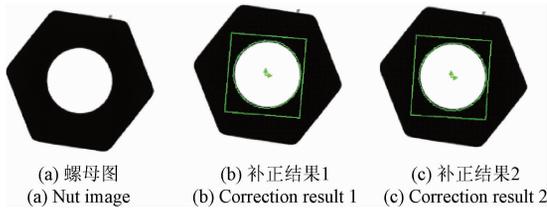


图 20 垂直拍摄获取的螺母图像

Fig. 20 The image of the nut obtained by vertical shooting

4 结 论

通过本文的自动跟踪检测方法,解决了存在视差变形的目标物体的 ROI 区域的位置修正。由 ROI 区域灰度直方图特征的一致性表明了跟踪效果较好,模板框修正前后的相似度提高变化,表明跟踪过程较好地消除了视差变形的影响。该方法实时性高,不受物体外轮廓形状的限制,尤其适用于针对物体孔状的自动跟踪检测,具有一定的应用意义。

参考文献

- [1] 傅卫平,秦川,刘佳,等.基于SIFT算法的图像目标匹配与定位[J].仪器仪表学报,2011,32(1):163-168.
FU W P, QIN CH, LIU J, et al. Matching and location of image object based on SIFT algorithm [J]. Chinese Journal of Science Instrument, 2011,32(1):163-168.
- [2] 董蓉,李勃,陈启美,等.基于局部不变特征点数据集的目标跟踪算法[J].仪器仪表学报,2012,33(9):2053-2059.
DONG R, LI B, CHEN Q M, et al. Object tracking algorithm based on dataset of local invariant feature points[J]. Chinese Journal of Science Instrument, 2012,33(9):2053-2059.
- [3] BERNIER T, LANDRY J A. A new method for representing and matching shapes of natural objects[J]. Pattern Recognition, 2003,36(8):1711-1723.
- [4] 高军,李学伟,张建,等.基于模板匹配的图像配准算法[J].西安交通大学学报,2007,41(3):307-311.
GAO J, LI X W, ZHANG J, et al. Image registration algorithm based on template matching[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007,41(3):307-311.
- [5] 拜颖乾.表面贴装LED全自动带料机视觉检测系统研制[D].西安:西安工业大学,2013:28-31.
BAI Y Q. Led of automatic taping machine vision detection system development [D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2013:28-31.
- [6] 陈泽志,吴成柯,沈沛意.计算机视觉测量系统的误差

模型分析[J].计算机辅助设计与图形学学报,2002,14(5):389-393.

CHEN Z ZH, WU CH K, SHEN P Y. Error model analysis of computer vision photogrammetry system [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2002,14(5):389-393.

- [7] BLOSTEIN S D, HUANG T S. Error analysis in stereo determination of 3D point position [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987,9(6):752-765.
- [8] WONG P W. On quantization error in stereo imaging[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991,13(9):951-956
- [9] 周前飞,刘晶红,李刚.面阵CCD航空相机斜视图像几何畸变校正误差分析[J].仪器仪表学报,2014,35(6):1-8.
ZHOU Q F, LIU J H, LI G. Error analysis of geometric distortion correction of oblique images for array CCD aerial cameras [J]. Chinese Journal of Science Instrument, 2014,35(6):1-8.
- [10] 魏坤,姜寿山,雷志勇,等.摄影测量中相机倾斜引起的射影失真研究[J].光电工程,2006,33(5):31-34.
WEI K, JIANG SH SH, LEI ZH Y, et al. Research on projective distortion caused by tilted camera in aerial photogrammetry [J]. Opto-Electronic Engineering, 2006,33(5):31-34.
- [11] HU M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. IRE Transactions on Information Theory, 1962,8(1):179-187.
- [12] 赵齐月,毛征,张庆龙,等.基于局域熵值分布图的目标分割及质心计算[J].国外电子测量技术,2014,33(2):33-36.
ZHAO Q Y, MAO ZH, ZHANG Q L, et al. Target segmentation and centroid calculation based on local entropy distribution [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2014,33(2):33-36.
- [13] 刘景琳,高万荣,陶纯堪.归一化算法实现畸变不变图像识别研究[J].光电工程,2006,33(12):75-78.
LIU J L, GAO W R, TAO CH K. Distortion-invariant image processing with standardization method [J]. Opto-Electronic Engineering, 2006,33(12):75-78.
- [14] 张桂南,刘志刚.基于角点匹配与谱聚类的接触网绝缘子破损/夹杂异物故障检测[J].仪器仪表学报,2014,35(6):1370-1377.
ZHANG G N, LIU ZH G. Fault detection of catenary insulator damage / foreign material based on corner matching and spectral clustering [J]. Chinese Journal of Science Instrument, 2014,35(6):1370-1377.
- [15] 班晓娟,宁淑荣,张亚,等.一种改进的自适应阈值SSDA的视频拼接算法--在交通场景中的研究与应用[J].系统仿真学报,2008,20(22):6201-6204,6208.

BAN X J, NING SH R, ZHANG Y, et al. Video splicing algorithm based on improved adapted threshold SSDA-in traffic scene research and application [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(22):6201-6204,6208.

- [16] 陈景航, 杨宜民. 一种基于 Harr 小波的快速模板匹配算法[J]. 计算机工程, 2005, 31(22):167-168.

CHEN J H, YANG Y M. A fast template matching algorithm based on Harr-wavelet [J]. Computer Engineering, 2005, 31(22):167-168.

- [17] 苑玮琦, 董茜, 桑海峰. 基于方向梯度极值的手形轮廓跟踪算法[J]. 光学精密工程, 2010, 18(7):1675-1683.

YUAN W Q, DONG Q, SANG H F. Hand shap contour tracking method based on directional gradient extremum[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(7):1675-1683.

作者简介



张亚锋, 2001 年于装甲兵工程学院获得学士学位, 2006 年于南昌大学获得硕士学位, 现为上海大学博士研究生, 主要研究方向为机器视觉、机电一体化及其控制技术。

E-mail: yafeng6911@126.com

Zhang Yafeng received his B. Sc. degree from the Academy of Armored Forces Engineering in 2001, and received his M. Sc. degree from Nanchang University in 2006. Now he is a Ph. D. candidate in Shanghai University. His main research interests include machine vision, mechatronics and its control technology.



屠大维(通讯作者), 分别在 1987 年、1989 年和 1993 年于浙江大学学士、硕士和博士学位, 现为上海大学教授、博士研究生导师, 主要研究方向为光电检测、精密机械及仪器、机器视觉及伺服控制。

E-mail: tdwshu@staff.shu.edu.cn

Tu Dawei (Corresponding author) received his B. Sc., M. Sc. and Ph. D. degrees all from Zhejiang University in 1987, 1989 and 1993, respectively. He is currently a professor and Ph. D. supervisor in Shanghai University. His main research interests include Photoelectric detection, precision machinery and instruments, machine vision and servo control.