

文章编号 1004-924X(2002)01-0014-05

基于随机 Hough 变换的螺纹可旋入性判别法

洪迈生, 梁学军, 魏元雷

(上海交通大学 机械工程学院, 上海 200030)

摘要: 提出并实现了一种新的、基于随机 Hough 变换(RHT)的螺纹可旋入性的判别方法。先通过基于计算机视觉的螺纹非接触检测, 将螺纹的三维实体转变为表征投影轮廓序列的二维正交投影图像数据, 据此通过随机 Hough 变换计算出螺纹的投影作用中径。并将该计算结果转变为一维的概率直方图分析, 从而判别该螺纹是否具备可旋入性。实测与比对结果证明了这种方法比单纯的模板匹配法更正确有效, 为实现紧固螺纹的 100% 检验(逐个检验)奠定了基础。

关键词: 螺纹检测; 可旋入性; 随机 Hough 变换; 计算机视觉

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A

1 引言

作者曾提出基于计算机视觉的“虚拟环规”技术检测螺纹参数和可旋入性, 证明螺纹正交投影可以准确复映螺纹的轴截面, 也可用来作为判断螺纹可旋入性的依据^[1-2]。判断螺纹可旋入性的一个直观方法, 就是通过模板匹配来检测螺纹的正交投影是否能够被设定的标准图形(虚拟环规)所包容, 如果能够包容, 则说明该螺纹具备可旋入性, 反之则不具备可旋入性。模板匹配方法直接借鉴了螺纹环规的检测原理, 匹配结果也提供了非常丰富的信息, 但模板匹配方法在应用时也存在一定的局限性。其计算量较大, 需事先指定的参数较多, 当被测工件规格改变时这些参数均需重新确定。

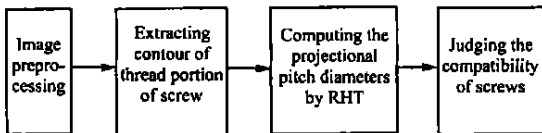


图1 基于随机 Hough 变换的螺纹可旋入性的判别
Fig. 1 Discriminance for the compatibility of a screw based on random Hough transform.

法, 即随机 Hough 变换方法。其基本过程如图 1 所示: 对已获螺纹轮廓数据进行随机 Hough 变换, 计算螺纹的投影作用中径, 然后对计算结果进行概率一直方图分析, 确定螺纹是否具备可旋入性。

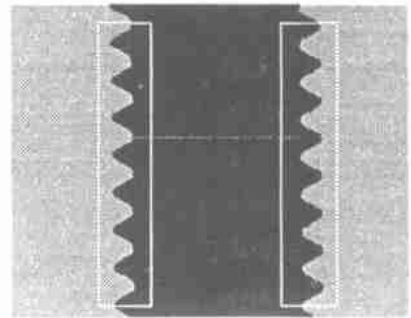


图2 螺纹正交投影的灰度图
Fig. 2 Gray_scale image of a screw.

2 轮廓提取

以逐行扫描提取目标轮廓, 速度快, 鲁棒性强, 且将二维的图像转换成了分别对应于螺纹左、右轮廓的一维序列 $C_l(n)$ 和 $C_r(n)$ (其中 $n=1, 2, 3 \dots$, 为数字图像的纵坐标), 降低了后续处理的难度。图 2 为一螺纹正交投影的灰度图像, 螺纹正交投影轮廓线局限在图中白线勾勒的两个带状

区域中, 首先确定这两个区域的位置和范围, 然后在两个区域中逐行扫描提取其轮廓。这样螺纹可旋入性的检测便经历了一个由三维实体到二维正交投影图像, 再到一维投影轮廓序列的过程。

3 螺纹轮廓的随机 Hough 变换

作为图像检测中已知形状物体的重要手段之一, Hough 变换的实质是从图像空间到参数空间的映射, 图像空间中曲线的对应参数空间中的局部极大值^[7]。但标准的 Hough 变换在应用时存在诸多困难, 如累积矩阵覆盖了整个参数空间, 内存开销极大; 映射过程中存在大量无效累积, 耗费了运算时间, 引入的噪声也给后续操作增加了困难。随机 Hough 变换在一定程度上克服了上述的困难。其基本思想是: 对于一条具有 n 个独立参数的曲线, 在图像中随机抽取 n 个满足一定条件的边缘点就可以唯一确定这条曲线的全部参数, 即: 图像空间中的多个点对应参数空间中的一个点。这就减少了无效累积和内存开销, 提高了运算效率, 是一种非常有前途的方法。

进行 Hough 变换之前应首先将待检测图形参数化。类比螺纹截面内单一中径和作用中径, 作者引入了螺纹正交实体投影的“投影单一中径”和“投影作用中径”。

定义 1 投影单一中径: 两条平行线之间的距离, 这两条直线通过螺纹正交投影上沟槽的宽度等于公称螺距的一半。

定义 2 投影作用中径: 在规定的旋合长度内, 恰好包容实际螺纹正交投影的最小理想正交投影的单一中径。

如图 3 所示, 图中阴影部分为螺纹正交投影轮廓, Pd_1 和 Pd_2 分别为投影作用中径(对应螺纹的作用中径)和投影单一中径(对应螺纹的单一中径)。当螺纹各项参数不存在误差时, $Pd_1 = Pd_2$; 图中的螺纹由于存在着升角误差, $Pd_1 > Pd_2$ 。投影作用中径表征了原来定义在轴截面内的螺纹各项参数误差在螺纹投影轮廓中综合作用的结果, 故以此作为判断螺纹可旋入性新的依据。于是问题就转化为如何利用 Hough 变换来检测螺纹的投影作用中径。尽管检测的只是投影作用中径这个参数, 但由于其中实际还隐含了轴线的径向位置参数, 所以必须从螺纹的左右轮廓序列中各选择一个

点, 才能够唯一确定这个参数。对于实际的螺纹轮廓, 选择不同的点计算出的投影作用中径就可能不等。随机选择多对轮廓点, 计算相应的投影作用中径, 通过对计算结果的分析, 如平均值和标准差, 就可判断该螺纹是否具备可旋入性。

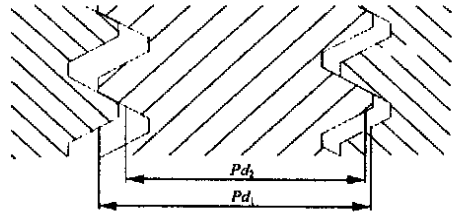


图 3 正交投影虚螺纹直径和投影直径的关系

Fig. 3 Relationship between projectional virtual pitch diameter and projectional diameter.

如图 4 所示, 利用随机 Hough 变换检测螺纹的投影作用中径时, 首先利用坐标旋转的方法求得的左右垂直轮廓序列 $\dot{C}_l(n_1)$ 、 $\dot{C}_r(n_2)$ 和基准点轴向

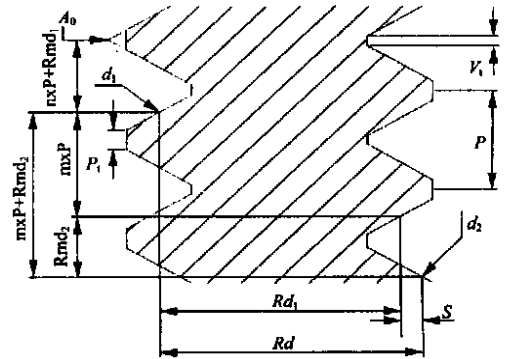


图 4 计算正交投影虚螺纹参数的方法

Fig. 4 Method for computing projectional virtual pitch parameter.

位置 A_0 , 然后在螺纹左右轮廓序列中各随机选择一个点 d_1 和 d_2 , 其轴向位置分别为 n_1 和 n_2 。 d_1 到基准点的轴向距离为 $Interval_1$, d_1 和 d_2 轴向距离为 $Interval_2$, 两点之间径向距离为 Rd_0 。设 $\text{floor}()$ 为截尾圆整运算, P 为螺纹公称螺距, 牙顶削平长度为 P_t , 牙底削平长度为 V_t , 则有:

$$Interval_1 = n_1 - A_0, \quad (1)$$

$$Interval_2 = n_2 - n_1, \quad (2)$$

$$Rd = \dot{C}_r(n_2) - \dot{C}_l(n_1), \quad (3)$$

$$n = \text{floor}\left(\frac{Interval_1}{P}\right), \quad (4)$$

$$Rmd_1 = Interval_1 - n \times P, \quad (5)$$

$$m = \text{floor}\left[\frac{\text{Interval}_2}{P}\right], \quad (6)$$

$$\text{Rmd}_2 = \text{Interval}_2 - n \times P. \quad (7)$$

$$S = \begin{cases} -\text{Rmd}_2 \times \cot \alpha & 0.5P_t < \text{Rmd}_1 < 0.5(P - V_t) \text{ and } \text{Rmd}_2 < 0.5(P - P_t) - \text{Rmd}_1 \\ (P - \text{Rmd}_2) \times \cot \alpha & 0.5P_t < \text{Rmd}_1 < 0.5(P - V_t) \text{ and } \text{Rmd}_2 > P - \text{Rmd}_1 \\ (2 \times (0.5 \times P - \text{Rmd}) - \text{Rmd}_2) \times \cot \alpha & 0.5P_t < \text{Rmd}_1 < 0.5(P - V_t) \text{ and } 0.5(P - P_t) - \text{Rmd}_1 < \text{Rmd}_2 < P - 0.5V_t - \text{Rmd}_1 \\ \text{Rmd}_2 \times \cot \alpha & 0.5(P + V_t) < \text{Rmd}_1 < P - 0.5P_t \text{ and } \text{Rmd}_2 < P - 0.5V_t - \text{Rmd}_1 \\ (\text{Rmd}_2 - P) \times \cot \alpha & 0.5(P + V_t) < \text{Rmd}_1 < P - 0.5P_t \text{ and } \text{Rmd}_2 > P - \text{Rmd}_1 \\ (\text{Rmd}_2 - 2 \times (0.5 \times P - \text{Rmd})) \times \cot \alpha & 0.5(P + V_t) < \text{Rmd}_1 < P - 0.5P_t \text{ and } \text{Rmd}_1 - 0.5(P - P_t) < \text{Rmd}_2 < \text{Rmd} - P + 0.5V_t, \end{cases} \quad (8)$$

投影作用中径 Pd_1 为:

$$Pd_1 = R_d + S, \quad (9)$$

从公式(8)可以看出,Hough 方法在判断螺纹可旋入性时所依据的是正交投影的牙侧部分,而螺牙顶部和底部的形状变化对检测结果没有直接影响,但这并不影响这一方法的实用性。这是因为:紧固件螺纹的部分通常采用搓丝或滚丝的方法加工,实际生产中刀具的精度和相对位置保障了螺纹大径和小径的精度,而牙侧部分是螺纹配合的接触面,其精度直接影响螺纹的可旋入性和接触可靠性。

4 实 测

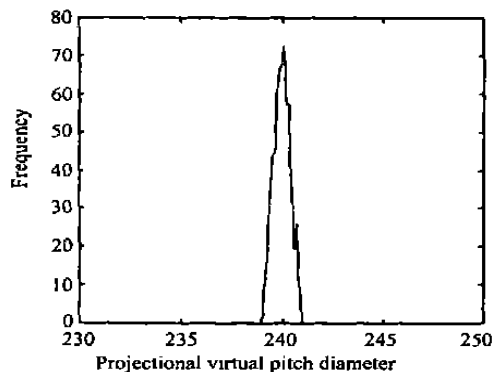
为验证上述方法,对上海某标准件厂提供的螺钉进行了实测。实测软件采用 Visual Basic 4.0、BorlandC++ 3.1 和汇编语言混合编制。

图 5 是部分螺钉正交投影轮廓随机 Hough 变换的直方图(每个螺钉投影截面均选取 1000 个点)。图 5a 中对应的螺纹具备可旋入性,作用中径直方图的峰值在 240 附近;图 5b 中的螺纹由于升角超差,不具备可旋入性,直方图的峰值向右偏移较大,且标准差也较大;图 5c 和图 5d 分别由于螺牙破碎和半角超差而不具备可旋入性,在直方图上均表现为标准差较大,两者的区别仅在于峰的形状略有差异。

设标准投影轮廓的左右半角为 α ,则投影作用中径修正值 S 可以通过下式计算:

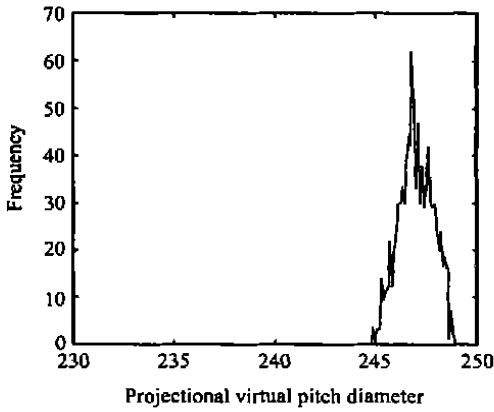
除对螺纹各单项参数进行检测并获计量部门复测认可外,为进一步验证本检测—判据法的有效性和可靠性,由厂方采用常规检测手段事先筛选了各占 50% 的具可旋入性(合格)和不具可旋入性(不合格)的螺钉共 100 个混杂在一起,再用本方法进行检测分选,结果两者分选比对的准确率为 100%。说明通过螺纹正交投影轮廓的随机 Hough 变换结果判断螺纹可旋入性完全可行。

图 6 为 100 个螺纹的检测结果,其中 a 图是基于随机 Hough 变换判别法的检测结果,b 图是基于模块匹配判别法的检测结果。其中“○”表示具备可旋入性的螺纹,“□”表示不具备可旋入性的螺纹,比较图 6a 及图 6b 不难发现,两类螺纹在图中均表现出良好的聚类性,但随机 Hough 变换法比模板匹配法的聚类性显然更好。

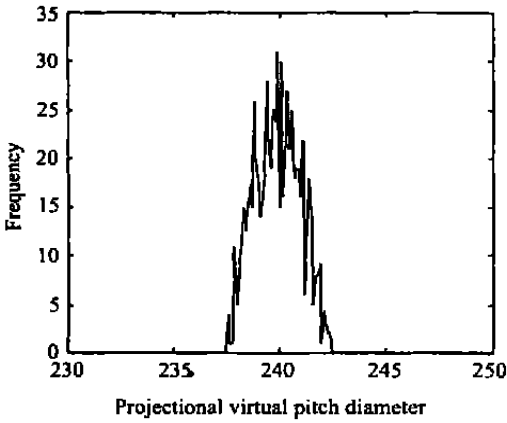


(a) 具备可旋入性的螺纹

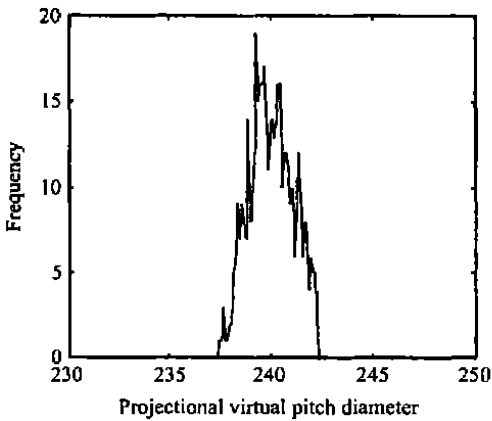
(a) Screw with compatibility.



(b) 由于升角超差而不具备可旋入性螺纹
 (b) Screw without compatibility for out_of_tolerance of spiral angles.



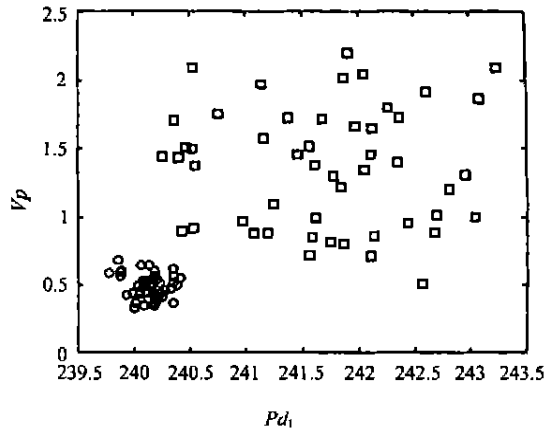
(c) 由于螺牙破碎而不具备可旋入性螺纹
 (c) Screw without compatibility for fracture of teeth.



(d) 由于升角超差而不具备可旋入性螺纹
 (d) Screw without compatibility for out_of_tolerance of spiral angles.

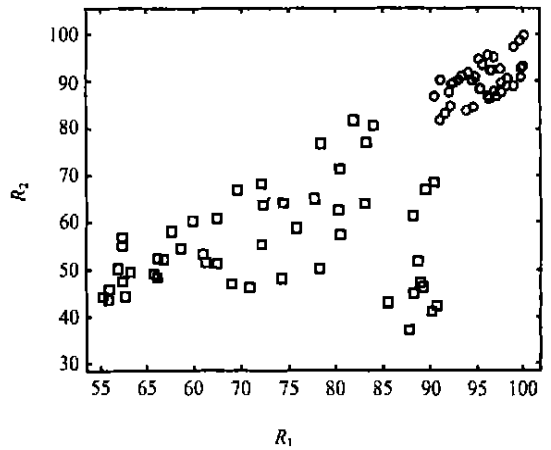
图 5 用随机 Hough 变换法检测的正交投影虚螺纹直径图

Fig. 5 Histogram of projectional virtual pitch diameter detected by random Hough transform.



(a) 基于随机 Hough 变换判别法检测的 100 个螺纹的 Pd_1 值和 V_p 值

(a) Pd_1 value and V_p value of 100 screws based on RHT method.



(b) 基于模板匹配法检测 100 个螺纹的 R_1 和 R_2 值

(b) R_1 value and R_2 value of 100 screws based on template matching method.

图 6 两种方法的检测结果。“○”表示具备可旋入性螺纹。“□”表示不具备可旋入性螺纹

Fig. 6 Detection results of the two methods. “○” stands for the screws with exchangeability; “□” stands for screws without compatibility.

5 结 论

(1) 螺钉参数及可旋入性的检测, 可通过基于计算机视觉的“三维实体——二维正交投影——一维投影轮廓序列”所构成的“虚拟环规”进行;

(2) 提出并实现了基于随机 Hough 变换的螺纹可旋入性判别法, 该方法比单纯通过模板匹配的判别法聚类性更好;

(3) 实测结果证明: 基于随机 Hough 变换的 100%, 为正确有效地实现紧固螺纹的 100% 检验
 螺纹可旋入性判别法, 其分选比对的准确率为 奠定了基础。

参考文献:

- [1] 梁学军, 洪迈生, 贾文焕. 螺纹紧固件的自动检测技术[J]. 计量技术, 2000, (2): 14-16.
- [2] Ling X J, Hong M Sh, Jia W H, *et al.* A new approach to test screw fastener[A]. *Proceedings of 1st International Symposium on Instrumentation Science and Technology* 1999, Luoyang, China[C]., 1999. 432-436.
- [3] 徐孝恩. 螺纹测量[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986, 3-46.
- [4] Qian R J, Huang T S. Optimal edge detection in two-dimensional images[J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1996, 15(7): 549-553.
- [5] 中島胜行. 高速 Hough 变换と实时期形状检测をした应用矩形物体の検査[J]. *テレデョン学会志*, 1996, 50(1): 103-116.
- [6] 陈燕新, 戚飞虎. 利用梯度方向信息的随机变换[J]. *红外与毫米波学报*, 1998, 17(5): 375-380.
- [7] 郭强, 陈桂林, 童卫旗. 基于变换域 Hough 变换的遥感图像相干干扰分析[J]. *光学精密工程*, 2001, 9(2): 121-126.

Discriminance for the compatibility of screw fastener based on random Hough transform

HONG Mai_sheng, LIANG Xue_jun, WEI Yuan_lei

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The paper proposes and realizes a new discriminance for the compatibility of screw fastener based on random Hough transform (RHT). In noncontact screw measurement via computer vision, the three-dimensional entity of thread was transformed into the two-dimensional orthogonal projection of thread using a CCD camera system, then the one-dimensional contour was extracted from the projectional image, and the projectional pitch diameters were calculated from the contour of the thread portion by random Hough transform. The paper also analyses the probability histograms of projectional pitch diameters in order to judge the compatibility of the screws. In comparison with the template matching method, the expensive experiment has proved that the RHT method is both correct and effective, which has laid a good foundation for automatic testing screw fasteners.

Key words: screw measurement; compatibility; random Hough transform; computer vision

作者简介: 洪迈生(1938-), 男, 上海市人, 教授, 博士生导师, 享受政府特殊津贴专家, 主要研究领域: 虚拟仪器与虚拟测量, 工艺系统的误差分离与补偿技术, 在线精密测量与质量控制, 计算机辅助测试(CAT), 工况监测与故障诊断, 现代设备管理与质量保证体系, 1990年获优秀教学成果奖国家级特等奖, 发表译著和专业论文 50 余部(篇)。