

基于迭代匹配的橡胶栓图像自适应旋转研究

吕存养, 魏燕定, 周 豪, 曹振波

(浙江大学 流体传动与控制国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要:为解决橡胶栓检测中图像的自适应旋转这一难题,将图像识别中的最小距离匹配方法引入图像旋转,并利用迭代法实现了旋转匹配过程。首先,将旋转角度为 0° 的标准图像存储为模板,然后计算待检测图像与标准模板间的距离,再利用迭代运算使图像不断转动,减小图像与模板间的距离,直到该距离小于某一给定值。在原始的迭代算法的基础上,还提出了一种简化的迭代算法,在保证旋转精度的前提下具有更快的运算速度。实验结果表明,基于迭代匹配的橡胶栓图像自适应旋转方法精度高,计算速度快,能满足橡胶栓实时检测的要求。

关键词: 最小距离匹配; 迭代法; 图像旋转; 自适应

中图分类号: TP274⁺.5; TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)03-0029-04

Research on the image adaptive rotation based on the template matching

LV Cun-yang, WEI Yan-ding, ZHOU Hao, CAO Zhen-bo

(State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Considering the difficulty of the image adaptive rotation in the surface inspection of rubber bolt, a new approach was proposed based on the template matching and iterative method. A standard image which rotated 0° was stored as the template. Then the distance between the sampled image and the template was calculated. The image was rotated by using the iterative method until the distance between the sampled image and the template decreased to a certain value. In order to rotate the image faster, a simplified iterative method was also presented based on the original iterative method. The experiment result shows that the approach based on the template matching and iterative method can assure the precision and the rapidity of image adaptive rotation.

Key words: template matching; iterative method; image rotation; adaptive method

0 引 言

在汽车工业领域,许多电线端子上需要安装防水密封的圆柱形橡胶栓,其对橡胶栓的外形质量要求较高,圆柱面上不能有明显的缺陷。传统的橡胶栓的检测主要依靠人工分拣,费时费力,而且受人为因素的影响,检测效果也不理想。因此,利用数字图像处理技术对橡胶栓进行在线检测以保证橡胶栓的质量,具有重要的意义。

橡胶栓是通过注塑机成形的,常见的缺陷主要是圆周上的飞边和缺料的凹坑等,而 CCD 一次拍摄只能取到一半的圆柱面,就可能会漏过橡胶栓背面的缺陷。

因此在在线检测中,课题组巧妙地采用了一组螺杆传送机构^[1],该机构不仅推动橡胶栓往前运动通过 CCD,同时使橡胶栓随螺杆的旋转时本身也回转,这样在通过 CCD 下方时隔一定时间连续拍摄两次或三次,基本上可实现整个柱面的检测。

由于橡胶栓在螺杆上是自由的,因此在 CCD 拍摄时其位置角度是随机的,而在图像识别中,采用的方法往往是将被检测图像与标准模板图像进行比对来识别缺陷,因此在利用图像处理技术对橡胶栓的表面缺陷进行识别时,首先必须对不同位置的橡胶栓图像进行快速自适应旋转,使图像中橡胶栓的中心轴与标准模板中橡胶栓的中心轴一致。

收稿日期:2009-11-09

作者简介:吕存养(1984-),男,浙江苍南人,主要从事计算机应用、工业检测等方面的研究. E-mail: lvcunyang@gmail.com

通信联系人:魏燕定,男,教授,博士生导师. E-mail: weiyd@zju.edu.cn

图像的自适应旋转是数字图像处理中的一个重点和难点,目前,这方面的文献报道较少。图像自适应旋转采用的方法主要有惯性主轴法^[2]和圆形编码匹配^[3]的方法。前者先检测出图像的边缘,再利用边缘信息计算图像的质心和惯性主轴角度,然后绕质心旋转,所以该方法受限于边缘检测的精度,并且容易受光照等外界条件的影响。后者将图像在圆周方向等分,并建立方向编码来解决图像旋转匹配的问题,计算量很大,速度较慢,难以满足在线检测的图像处理实时性要求。

本研究提出一种基于迭代匹配的快速图像自适应旋转算法,将最小距离匹配的方法引入图像旋转,然后通过迭代计算,精确快速地实现橡胶栓图像的自适应旋转。

1 最小距离匹配

1.1 最小距离匹配的原理

最小距离匹配又称模板匹配^[4],是一种重要的图像识别方法。最小距离匹配主要用于判断两个物体的相似度,越相似则距离越小,反之越大。

在利用最小距离匹配前,需要预先将 n 个标准对象的特征存储为 n 个标准模板,然后将具体的待检测样品与已知的标准模板进行比较,计算它们之间的距离,若待测样品与第 k ($k \in [0, n]$) 个模板之间的距离最短,则判定待测样品与第 k 个标准对象是同一类的物体。

两个对象间的距离可以用如下的方法计算:

例如,假设一个标准对象 A 可以抽象为一个 m 维的特征向量:

$$X_A = [x_{A1} \quad x_{A2} \quad \cdots \quad x_{Am}]^T \quad (1)$$

同理,任意的待检测对象 B 也可以抽象为一个 m 维的特征向量:

$$X_B = [x_{B1} \quad x_{B2} \quad \cdots \quad x_{Bm}]^T \quad (2)$$

则,待检测对象与标准对象间的距离可表示为:

$$d_{AB} = d(X_A, X_B) = \left[\sum_{i=1}^m (x_{Ai} - x_{Bi})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

由于上式涉及到乘方、开方等复杂运算,可将距离公式简化为:

$$D_{AB} = D(X_A, X_B) = \sum_{i=1}^m |x_{Ai} - x_{Bi}| \quad (4)$$

1.2 特征向量的选取

利用最小距离匹配需要将标准对象抽象为一个特征向量,然后存储为模板。对实际的待检测样品,也需要用同样的方法将其抽象为一个特征向量,然后才可

以计算它与模板间的距离。因此,特征向量的设计具有重大的意义。

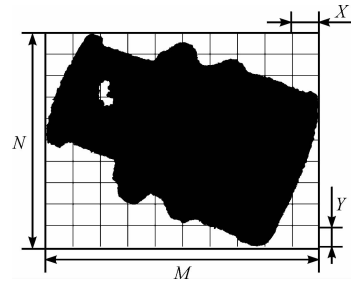


图 1 图像特征向量的选取

目前,对特征向量的选取没有固定和统一的方法;相反,随着研究的深入,选取方法越来越多,如利用图像的几何矩构成特征向量^[5]、利用图像的灰度信息构成特征向量^[6]等。本研究根据橡胶栓的实际特点和检测要求,以橡胶栓在图像中所占比重为特征值来构成图像的特征向量。如图 1 所示,将整幅图像等分为 $M \times N$ 个小块,每块的像素数为 $X \times Y$ 。对图像中的任一点像素,令:

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{点}(i, j) \text{ 为黑色} \\ 0 & \text{点}(i, j) \text{ 为白色} \end{cases} \quad (5)$$

则图像中第 m 行第 n 列小块的面积比重为:

$$\frac{S_{m,n}}{S} = \frac{\sum_{i=m \cdot X}^{(m+1) \cdot X - 1} \sum_{j=n \cdot Y}^{(n+1) \cdot Y - 1} g(i, j)}{X \cdot Y} \quad (6)$$

对任意的 m, n , 令 $k = M \times n + m$, 于是,面积比重亦可表示为:

$$x_k = \frac{S_k}{S} = \frac{S_{M \cdot n + m}}{S} = \frac{S_{m,n}}{S} \quad (7)$$

其中, $m \in [0, M-1]$, $n \in [0, N-1]$, $k \in [0, MN-1]$ 。所以,该对象的特征向量就可以表示为:

$$X = [x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_{MN-1}]^T \quad (8)$$

上述方法得到了对象的 k 维特征向量,在检测过程中,需要根据实际的需要,选择适当维数的特征向量。特征向量的维数越多,那么匹配的精度越高,但计算的时间复杂度更大;反之,维数越少,则精度降低,但计算速度更快。

1.3 最小距离匹配在自适应旋转中的应用

根据最小距离匹配的原理,在图像旋转中,假设被存储为模板的标准对象的旋转角度为 0° ,则当图像的旋转角度越接近 0° ,则它与模板间的距离越小;反之,而当旋转角度增大时,它与模板间的距离也随之增大^[7-8]。

在橡胶栓检测过程中,假设图像中橡胶栓中心轴水平时橡胶栓的旋转角度为 0° ,并将该图像存储为模

板,那么当被检测的橡胶栓图像的旋转角度从 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 时,它与模板间的距离变化关系如图2所示。

从图2可见,在图像的旋转角度从 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 的范围内,用最小距离匹配的方法来实现橡胶栓图像的自适应旋转是可行的。

对旋转角度不在 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 范围内的橡胶栓图像,可根据橡胶栓的具体特点,在实际检测过程中,先利用数字图像处理技术将橡胶栓图像水平镜像,然后再利用最小距离匹配的方法来实现图像的自适应旋转。

2 迭代匹配过程

2.1 原始迭代方法

根据最小距离匹配原则,在 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 的范围内,待检测对象旋转角度偏离 0° 越大,它与模板间的距离越大,所以,在实际的检测过程中,可根据检测精度要求,指定一个正数 C ,当图像与模板间的距离小于指定正数 C 时,即可认为图像已经旋转到位。对当前的待检测图像,可以先计算距离 D_0 ,然后分别计算顺时针和逆时针转动 θ 角 ($\theta > 0$,下文顺时针用正数表示,逆时针用负数表示) 后的偏离距离 D_1 和 D_2 ,则 D_0 、 D_1 、 D_2 的4种位置关系如图3所示。

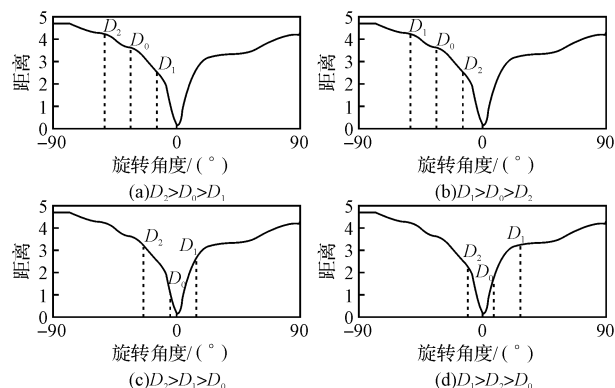


图3 D_0 、 D_1 、 D_2 的4种位置关系图

根据 D_0 、 D_1 、 D_2 的位置关系就可以进一步确定之后图像旋转的方向和角度,直到图像与模板的距离小于指定正数 C 。具体的迭代步骤如下:

- (1) 判断 D_0 是否小于指定正数 C ,若是,则跳到第(8)步;
- (2) 计算当前位置的距离 D_0 和当前位置正反转 θ 角 ($\theta > 0$) 后的位置1、位置2的距离 D_1 、 D_2 ;
- (3) 若 $D_2 > D_0 > D_1$,则继续;若 $D_2 < D_0 < D_1$,则

$\theta = -\theta$,继续;若 D_0 最小,则跳到第(6)步;

(4) 判断 D_0 是否小于指定正数 C ,若是,则跳到第(8)步;否则,转动 θ 角,计算当前位置距离 D_0' ;

(5) 若 $D_0' < D_0$,则令 $D_0 = D_0'$,跳到第(4)步;否则令 $\theta = -\theta/2$,跳到第(4)步;

(6) 若 $D_2 > D_1$, $\theta = \theta/2$;否则, $\theta = -\theta/2$;

(7) 转动 θ 角,计算当前位置距离,并赋值给 D_0 ,若 D_0 小于指定正数 C ,跳到第(8)步;否则令 $\theta = -\theta/2$,跳到第(7)步;

(8) 结束。

2.2 简化的迭代方法

原始的迭代算法通过不断地调整旋转方向和旋转角度实现自适应旋转,可确保旋转的精度,但如果迭代次数非常多,势必影响迭代运算的速度。所以,本研究下面提出一种简化的迭代算法,可有效提高运算速度。

- (1) 计算当前的距离 D_0 ;
- (2) 将图像旋转 θ 角 ($\theta > 0$);
- (3) 计算新位置的距离 D_1 ;
- (4) 若 $D_1 < D_0$,沿原方向不断转动 θ 角;若 $D_1 > D_0$,则沿反方向不断转动 θ 角;
- (5) 不断旋转 θ 角,直到新位置的距离 D_1 又变大;
- (6) 反方向转动 $\theta/2$ 角。
- (7) 结束。

简化的迭代算法的实现过程如图4所示。仅经过7步的迭代运算即可将图像旋转到位。

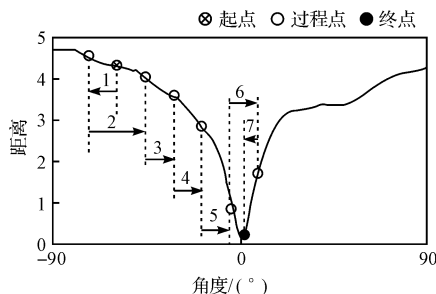


图4 简化迭代算法旋转过程示意图

简化的迭代算法比原始的迭代算法的迭代步骤少,因此,它具有更快的运算速度。但由图4可见,简化的迭代算法最后得到的图像与模板的距离并不一定是最小的,它与最小距离可能有一点偏差,因此为保证旋转的精度,在计算过程中需要合理地选取 θ 值,保证最后的图像与模板的距离小于指定正数 C 。

3 实验与结果

为验证基于最小距离匹配的橡胶栓图像自适应旋

转算法的有效性,在实际检测条件下,本研究分别采用传统的惯性主轴法和原始迭代法、简化迭代法对具有不同旋转角度的橡胶栓图像进行旋转匹配。

实验中相关参数如下:

- (1) CCD 摄像头的分辨率:640 × 480;
- (2) CPU: Intel Pentium(R)4, 主频 2.80 GHz;
- (3) 内存:512 MB;
- (4) 光源:LED 环形灯;
- (5) 模板:旋转 0° 的标准图像,100 维特征向量。

在实验中,笔者分别对旋转角度为 0°、10°、30°、45°、60°和 80°的待匹配的图像进行对比实验,如图 5 所示((a)~(e)为不同旋转角度的待检测图像,(f)为自适应旋转后旋转角度接近 0°的图像)。

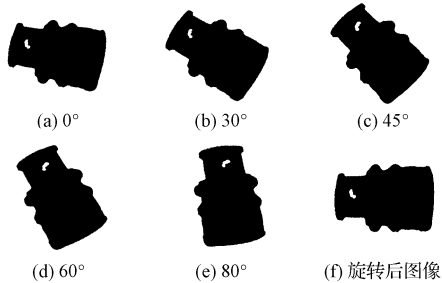


图 5 最小距离匹配的自适应旋转结果

若实验中取正数 $\theta=0.5$,初始角度 $\theta=5^\circ$,则两种迭代法匹配所需要的时间、迭代次数及最后距离如表 1 所示。

表 1 3 种方法旋转效果对比

旋转角度	惯性主轴法	原始迭代法		简化迭代法	
	t/s	t/s	最后距离	t/s	最后距离
10°	0.217	0.215	0.427	0.166	0.489
30°	0.227	0.234	0.266	0.177	0.309
45°	0.219	0.228	0.367	0.181	0.460
60°	0.223	0.234	0.268	0.173	0.140
80°	0.220	0.227	0.281	0.176	0.351

由表 1 可知,相对于传统的惯性主轴法,本研究中的原始迭代法能有效地完成橡胶栓图像的自适应旋转,且效率没有明显降低;而简化迭代法不仅能有效地

完成了橡胶栓图像的自适应旋转,而且计算速度也有显著的提高。但是,相对于原始迭代法,简化迭代法的自适应旋转匹配较快,但精度稍低(最后距离大)。因此,在实际工业检测中,可根据检测的精度要求选择适当的迭代匹配方法。

4 结束语

本研究将模式识别中的最小距离匹配引入图像的自适应旋转,并利用迭代法实现匹配过程,在保证匹配精度的同时,也具有较快的运算速度,因而在橡胶栓的检测中得到了很好的旋转匹配效果,为后续橡胶栓图像表面缺陷识别提供了基础。另外,笔者提出了用原始的迭代方法和简化的迭代方法分别实现自适应旋转匹配,两者的侧重点有所不同,可以根据实际的要求选择合适的算法。

参考文献(References):

[1] 魏燕定,周 豪,陈波扬. 在线橡胶栓外形质量检查机:中国,101349550[P]. 2009-01-21.

[2] 李金泉,徐正华,胡晓飞,等. 染色体质心、惯性主轴及旋转算法的研究[J]. 信号处理,2001,17(3):274-277.

[3] FARHAN U, SHUN-ICHI K. Using orientation codes for rotation-invariant template matching[J]. Pattern Recognition,2004,37(2):201-209.

[4] MCQUEEN M P C. A generalization of template matching for recognition of real objects[J]. Pattern Recognition, 1981,13(2):139-145.

[5] 刘 明,叶正麟,陈作平. 基于二维特征向量的快速分形编码方法[J]. 计算机工程与应用,2007,43(8):82-84.

[6] 陈 玲,沈红标,李咸伟,等. 改进的图像纹理检索方法在矿石识别中的应用[J]. 中国图象图形学报,2006,11(11):1700-1703.

[7] RAFAEL C G, RICHARD E W. Digital Image Processing [M]. 2nd ed. London: Prentice Hall,2007.

[8] 李聪亮,施鹏飞. 图像主轴角的旋转匹配计算方法[J]. 测控技术,2002,21(9):12-14. [编辑:张 翔]

中国内燃机行业面临来自于国际内燃机工业技术快速发展的挑战

内燃机已进入高科技时代,面对世界各国日益加严的环保和能源以及可持续发展要求,目前世界上大的跨国集团和公司,利用各种高科技手段在研制发展低排放、超低排放、准零排放、零排放的技术。其中低排放汽油机、柴油机、单一清洁燃料(氢燃料等)发动机的开发、电动、燃料电池动力和混合动力的研发,已经成为世界各大汽车公司、发动机公司的主要研究方向,以适应日益苛刻的排放法规要求。内燃机的创新重点是节能减排,发展动力多元化;而国家参照国际研发水平制定的整体节能、减排标准和实施时间表,给企业带来不小的压力。自主创新能力不强,缺乏行业整体核心技术,这无疑是中国内燃机行业将要面对的严峻挑战。