

具有旋转不变性的异形模板匹配方法

罗三定, 张 凯

(中南大学信息科学与工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 针对工业自动装配产品过程中异形工件出现旋转后的定位问题, 提出一种新的异形目标识别方法, 设计基于目标轮廓的同心等势线异形模板, 并结合圆投影方法, 能快速有效地实现计算机对异形目标的自动识别与定位。研究结果表明, 该方法可以准确地实现不规则目标的旋转变化识别, 同时可以有效地解决存在亮度变化、对比度变化、噪声干扰等情况下的异形目标的匹配问题。

关键词: 异形模板; 旋转不变性; 同心等势线; 圆投影

Matching Method of Irregular Shaped Template with Rotation Invariance

LUO San-ding, ZHANG Kai

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083)

【Abstract】 Aiming at positioning irregular parts rotated in the process of automated assembling of products in the industry, a new non-standard shaped target identification method is put forward. Design of irregular template based on the concentric equipotential line of target contour, combined with the projection, can quickly and efficiently realize automatic identification and position of irregular images by the computer. Results show that the method not only can accurately realize identification of irregular objection rotation change, but also can effectively solve matching problem under the circumstance of brightness changes, contrast changes or noise interferences.

【Key words】 irregular shaped template; rotation invariance; concentric equipotential line; circle projection

1 概述

模板匹配是通过某种相似性计算方法在模板与不同条件下拍摄的目标图像之间决定最优匹配的过程。它有着广泛的应用, 比如遥感图像、医学图像的处理和工业中的自动识别等。在过去的三十多年中, 模板匹配有着广泛的研究, 研究者提出了许多匹配算法^[1-3]。传统的模板匹配方法, 如相关系数法, 对模板的亮度变化具有很强的鲁棒性, 但往往计算量大, 所以, 人们提出一些降低计算量的方法, 例如通过使用金字塔算法实现多分辨率的配准, 并通过这种自顶向底的过程实现计算速度的提高^[4]。然而, 在一些工业应用中, 图像中的目标往往会出现任意角度的旋转, 此时上述的方法不起任何作用。在这种情况下, 一般会通过构造一个不同旋转角度的模板集, 然后将集合中的成员分别作用于目标图像进行匹配, 从中选择匹配程度最好的位置作为结果^[5], 但是这样也加重了计算的负担, 当旋转方向是任意时, 很难满足实时处理的要求。为了解决实时处理的要求, 出现了基于矩的旋转不变性匹配方法^[6], 然而这种方法计算量大, 并且对噪声很敏感。

针对工业自动装配线上工件的旋转定位, 本文提出一种快速的具有旋转不变性的异形模板匹配方法。此方法由2个阶段组成: (1) 使用圆投影法在一个圆区域内将二维模板转换为一维半径函数的灰度信号。圆投影的优点是它具有旋转不变的特性和减少标准相关法计算的复杂度, 能加速整个匹配过程的速度。通过粗匹配, 可以获取可能的匹配点(候选点)。(2) 在每个候选点上使用基于轮廓的同心等势线形成的异形模板进行旋转不变的精匹配。

2 候选点的选取

为了在异形模板匹配过程中处理目标旋转变换的情况, 在本文的方法里引入圆投影作为预处理过程, 它将二维图像转变成一维向量。异形模板图像定义为 $T(x, y)$, 大小为 $M \times N$ 。模板的圆投影变换过程如下: 假设模板的中心为 (x_e, y_e) , 用极坐标表示模板图像, 转换关系为

$$x = r \cos \theta \quad (1)$$

$$y = r \sin \theta \quad (2)$$

其中, $r = (\text{int})(\sqrt{(x-x_e)^2 + (y-y_e)^2})$, $r \in [0, R]$, $R = \min(M, N)$; $\theta \in (0, 2\pi)$ 。

模板 $T(x, y)$ 在半径为 r 处的圆投影 $P_T(r)$ 定义为

$$P_T(r) = \frac{1}{S_r} \sum_k T(r \cos \theta_k, r \sin \theta_k) \quad (3)$$

其中, S_r 是沿着半径方向到模板的中心距离为 r 的圆环内所有的像素值之和, $r=0, 1, 2, \dots, R$, 如图1所示。

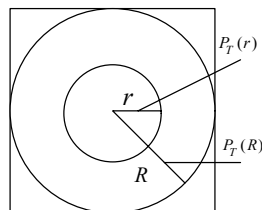


图1 模板圆投影的概念

作者简介: 罗三定(1955 -), 男, 教授, 主研方向: 图像处理, 工业视觉系统; 张 凯, 硕士研究生

收稿日期: 2007-11-20 **E-mail:** jszhangkai@gmail.com

模板中所有圆环 $P_T(r)$ 的值在相关性的计算中具有同等的重要性。此外,由于圆投影变换是由沿着半径增加的圆环构成,所产生的一维圆投影模板对应于二维图像模板的旋转具有不变性。为了有效地计算同心圆环上的圆投影,使用查找表^[6],因而圆投影就可以在模板范围内简单地通过累加同心圆环像素值而获得。

在进行模板匹配时,采用相关性来衡量相似性。假设:

$$P_T = [P_T(0), P_T(1), \dots, P_T(R)] \quad (4)$$

$$P_S = [P_S(0), P_S(1), \dots, P_S(R)] \quad (5)$$

它们分别代表模板和待匹配子图的圆投影向量。 P_T 和 P_S 之间的相关性计算表示为

$$\begin{aligned} <P_T, P_S> = \\ & \frac{\left((R+1) \sum_{r=0}^R P_T(r) P_S(r) - \sum_{r=0}^R P_T(r) \sum_{r=0}^R P_S(r) \right)^2 \times 100}{\left((R+1) \sum_{r=0}^R P_T(r)^2 - \left(\sum_{r=0}^R P_T(r) \right)^2 \right) \left((R+1) \sum_{r=0}^R P_S(r)^2 - \left(\sum_{r=0}^R P_S(r) \right)^2 \right)} \quad (6) \end{aligned}$$

从定义看出, $<P_T, P_S>$ 不受模板和待匹配图的旋转及线性变换的影响。另外,圆投影向量的长度仅有 $R+1$, 这一点显著地增加了 $<P_T, P_S>$ 的计算效率。

3 异形模板旋转匹配过程

本阶段的异形模板旋转匹配主要在前阶段产生的候选点上进行。本文所提出的异形模板有以下 2 个特点:(1)通常用来匹配的模板图像的有效像素是整个正方形或矩形内的所有像素,而异形模板图像的有效像素主要由异形物体轮廓上的像素和基于轮廓的同心等势线(图 2)上的像素所构成;(2)模板中异形物体的轮廓在旋转过程中保持不变。



图2 同心等势线

为了构建异形模板的匹配像素点,首先通过阈值分割法,阈值 $TH \in [110, 140]$,对模板进行二值化,提取出异形物体的轮廓;其次通过计算出异形物体的重心点及由重心点到轮廓的距离,共同获取基于轮廓的同心等势线上的像素点。在每个候选点上,用异形模板与子图循环地做相关性计算,取其最大值作为该候选点的相似值,比较所有候选点上的相似值,最大者即为最佳匹配位置。

3.1 异形模板的重心计算

对于具有 2 个变元的有界函数 $f(x, y)$ 的矩集为

$$M_{jk} = \int_{+x}^{-x} \int_{+x}^{-x} x^j y^k f(x, y) dx dy \quad (7)$$

其中, j 和 k 可以取所有非负整数值,参数 $j+k$ 称为矩的阶,零阶矩只有一个,即

$$M_{00} = \int_{+x}^{-x} \int_{+x}^{-x} f(x, y) dx dy \quad (8)$$

一幅二值图像区域的面积(或零阶矩)由下述公式表示:

$$A = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} B[i, j] \quad (9)$$

它是由区域包含的像素个数给出,对于不规则区域的面积,则是此不规则区域内像素个数的累加。因此,可以用下式求物体的重心位置:

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} j B[i, j] \right) / A \quad (10)$$

$$\bar{y} = \left(\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} i B[i, j] \right) / A \quad (11)$$

通过阈值分割法将模板变成一个二值图像 B , 扫描异形区域,分别累加区域中(包括边缘)各像素点的 x 坐标和 y 坐标,用各自累加的和除以区域的面积 A 即可获得重心位置 (\bar{x}, \bar{y}) 。

3.2 异形模板的形成

在提取了模板的不规则目标区域轮廓后,首先,通过重心 (\bar{x}, \bar{y}) 向四周每隔 θ 角发射一条射线,共 $M(M=360/\theta)$ 条射线,由此得到一组射线与目标轮廓相交的点 (x_i, y_i) ,对应地可以计算出一组重心点到目标轮廓的距离 $Edge[M]$ 。其次,利用重心位置、 $Edge[M] \times k$ 与 θ 来获取同心等势线上的点的坐标,其中比例因子 k 用来控制重心到边界的距离, θ 变量用来控制等势线上像素点的个数。很明显,自外向内同心等势线上像素点将逐渐减少,用 θ 来控制就是为了避免产生重叠的点,上述轮廓和同心等势线上的这些像素点就是所获得的有效异形匹配模板,如图 2 所示,此处的 $\theta=1$,从重心点沿着半径的方向,同心等势线上的像素点逐渐增加。

3.3 旋转匹配过程

经过粗匹配后,在匹配的每一个候选点上,首先利用异形模板的信息,包括 $Edge[M]$ 、参数 k 和 θ ,在子图上对应得到一组同心等势线上的点,然后使用这些对应点与异形模板做相关性计算,其次在子图上将前一次的坐标做旋转 δ 坐标变换得到一组新的坐标,再用这些点与模板做相关性计算,如此循环下去,共循环 $(360/\delta - 1)$ 次,最后取相关性的最大值作为该候选点的相似度。通过遍历所有的候选点,选取相似度最大的值,即为最终获得的匹配位置。

4 实验

4.1 实验图像

实验主要针对 4 种类型变化的图像测试所提算法,如出现旋转、光照变化、对比度变化及加入高斯噪声。图 3 为含有异形目标的模板图像,图 4 为其基于轮廓同心等势线上的点构成的有效异形匹配模板。图 5 为不同角度的旋转图像。



图3 模板



图4 模板有效像素点



(a) 旋转图像



(b) 加了高斯噪声的旋转图像



(c) 出现亮度变化的旋转图像



(d) 出现对比度变化的旋转图像

图5 不同角度的旋转图像

特别地,图 5(a)显示其中仅仅出现旋转,图 5(b)显示在出现旋转的情况下增加了高斯噪声,图 5(c)和图 5(d)显示图

像出现亮度和对比度的变化，同时伴随着目标对象的旋转。在以上不同情况下，所提算法能够准确地定位。

4.2 匹配效果

模板图像的大小为 64×64 ，不规则区域包含像素数为 1151，异形模板由图 4 中同心等势线上的点构成，待匹配图大小为 128×128 。为了检验算法的准确性和鲁棒性，针对几组类型的变化和干扰做了实验，实验结果显示在图像中加入适量的高斯噪声，噪声在 $[0, 12 \text{ dB}]$ 之间能够很准确地匹配，具有一定抗噪声影响。对于亮度和对比度的变化，从实验的数据来看，根据亮度变化等式： $f_b = f + 255 \times d / 100$ ，当 $d \in [-26\%, 100\%]$ 之间时都能完全匹配，而根据对比度变化等式： $f_c = f + (f - f_{avg}) \times d / 100$ ，能够成功地匹配区间 $d \in [-99\%, 18\%]$ 。实验还使用了 12 dB 的高斯噪声分别加上 50% 的亮度变化和 100% 的亮度变化，也能成功匹配。

4.3 匹配速度

为了验证本算法在匹配速度上的性能，使用了一组不同尺寸大小的模板对一组 256×256 像素的图像进行了匹配实验，模板的大小从 34×34 到 64×64 。同时使用了不变矩算法进行了比较，实验显示本文的算法速度比较快(见图 6)。

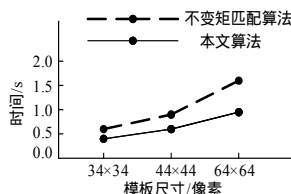


图 6 速度比较

(上接第 214 页)

4 实验结果

实验结果如图 5、图 6 所示。



(a)第 215 帧原始图像

(b)第 215 帧图像的检测结果

图 5 第 1 组视频



(a)第 301 帧原始图像

(b)第 301 帧图像的检测结果

图 6 包含运动的人和树等干扰因素的第 2 组视频

其中用深色标记视频中检测出的火焰。实验结果表明，本文提出的方法能够有效地检测出视频中的火焰，实时性好，错误率低，可以被用来进行火灾监控报警。

5 结束语

本文提出一种快速且鲁棒性强的旋转不变性异形模板匹配。该方法使用具有旋转不变性且计算量低的圆投影方法进行粗匹配，获取初步的候选点，然后使用基于轮廓的特征的参数模板实现目标的精匹配。算法的速度快，抗光照能力强，对于高斯噪声干扰也能准确匹配，能满足工业在线生产的要求。

参考文献

- [1] Brown L G. A Survey of Image Registration Techniques[J]. ACM Computing Surveys, 1991, 24(4): 326-376.
- [2] Zitová B, Flusser J. Image Registration Methods: A Survey[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21(11): 997-1000.
- [3] Maintz J B A, Viergever M A. A Survey of Medical Image Registration[J]. Medical Image Analysis, 1998, 2(1): 1-36.
- [4] Barnea D I, Sliverman H F. A Class of Algorithms for Fast Digital Image Registration[J]. IEEE Trans. on Computer, 1972, 21(2): 179-186.
- [5] Kimmo F, Gonzalo N, Esko U. Optimal Exact and Fast Approximate Two Dimensional Pattern Matching Allowing Rotations[C]// Proceedings of the 13th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching. NY, USA: ACM Press, 2002: 235-248.
- [6] Choi M S, Kim W Y. A Novel Two Stage Template Matching Method for Rotation and Illumination Invariance[J]. Pattern Recognition, 2002, 35(1): 119-129.

5 结束语

本文提出一种基于视频的、利用隐马尔可夫模型对火焰进行检测的方法。实验表明，利用建立隐马尔可夫模型的方法，具有实时性好、错误率和成本较低等优点。

该方法可以对视频中的火焰进行检测，也可以对实时的火灾进行监控报警。同时，它还可以作为安全监控系统的一部分，用于室内和室外的早期火灾检测。

参考文献

- [1] Foo S Y. A Rule-based Machine Vision System for Fire Detection in Aircraft Dry Bays and Engine Compartments[J]. Knowledge-based Systems, 1995, 9(8): 531-541.
- [2] Healey G, Slater D, Lin T, et al. A System for Real-time Fire Detection[C]//Proc. of CVPR'93. New York, USA: Elsevier Science Inc., 1993: 15-17.
- [3] Davis W D, Notarianni K A. NASA Fire Detection Study[R]. National Institute of Standards and Technology, Technical Report: NISTIR5798, 1996-03.
- [4] Chen Thou-Ho, Wu Ping-Hsueh, Chiou Y. An Early Fire-detection Method Based on Image Processing[C]//Proc. of IEEE ICIP'04. [S. l.]: IEEE Presss, 2004.
- [5] Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [6] Collins R, Lipton A, Kanade T, et al. A System for Video Surveillance and Monitoring[R]. Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Tech. Report: CMU-RI-TR-00-12, 2000-05.