面向角度一维投影模板的图像匹配方法

殷润民 李伯虎 樊淑萍

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院，北京 100083) (中国纺织科学研究院，北京 100025)

摘 要：针对交迭图像模板匹配中存在的模板选择和匹配判别两个关键环节，提出一种一维模板匹配方法.通过基于灰度差分割的模板选择原则降低亮度差和噪声的影响，同时利用线性插值获得面向角度一维灰度投影，最大化模板中的图像边缘信息，从而加快模板匹配过程.在面向角度投影模板的基础上进行改进 AD(Absolute Differences)指标的模板匹配判别，减少了因图像旋转带来的误匹配，并获得除匹配中心坐标外匹配图像相对参考图像的偏转角.通过不同情况下匹配结果在精度和速度上的分析，实验证明该方法应用在大部分真实交迭图像的匹配效果优异，同时运行速度能满足图像匹配应用的需要.

关 键 词：图像处理；图像匹配；模板匹配；灰度差

中图分类号：TP 391.41

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2007)05-0561-04

One-dimension angle-oriented projection template matching

Yin Runmin Li Bohu

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Fan Shuping

(China Textile Academy, Beijng 100025, China)

Abstract: Refer to two key stages in template matching between two overlapping images: template selection and iterative matching, an one-dimension angle-oriented projection template matching method was proposed. The matching process firstly evolved a template selection discipline based on gray level difference segmentation to reduce the sensibility to image noise and illumination changes. After the segmentation, a well post intensity projection into angle-oriented array by linear interpolation was used to accelerate matching process and to maximum the employment of edge information. The method at last implemented an angle-oriented reformed AD(absolute differences) matching principle both to reduce miss-matches conduced by viewpoint rotation and to obtain rotation between reference and target other than correspondences coordinates. With aid of analysis of matching process respect to different cases under consideration of speed and precision, experimental results proved that the proposed approach works well over most overlapping images and is fast enough for real time applications.

Key words: image processing; image matching; template matching; gray level difference

根据选择作为匹配参考内容的不同可以对图像匹配分为模板匹配、特征匹配和相关性匹配[1].传统的通过 SSD(Sum of Square Differences)或者 NCC(Normalized Cross-Correlation)模板匹配算法会因为视点和亮度变化而性能下降甚至无法正确工作[2].之后出现的一系列改进的算法[3-6]分别存在计算量大、对特征检测结果依赖大、未考虑视点变换带来的三维物体在二维图像投影上的

收稿日期：2006-07-07

作者简介：国家十五预研专题资助项目(413090303)

作者简介：殷润民(1979—)，男，广东湛江人，博士生，yinrunmin@163.com.

变形、容易出现局部误差、无法对存在偏转角的两幅图像进行正确匹配等问题.

针对交迭图像的模板匹配方法中存在的模板选择和匹配判别两个关键环节,本文提出一种基于灰度差分割的模板选择算法和面向角度一维投影映射的匹配判别算法.该模板选择算法使用灰度差信息,可以降低两幅图像亮度差异带来的影响.同时利用图像分割获得图像中边缘信息最集中的块作为模板.与一般的方形灰度模板不同的是,使用该模板选择算法获得的是圆形的模板,配合计算用于匹配的面向角度一维灰度投影.面向角度一维投影映射的匹配判别算法因其角度一致性,可以保证参考图像和目的图像间存在视点偏转情况下的正确匹配,而且匹配结果不仅包括匹配中心点坐标,还包括参考图像和目的图像之间的偏转角度.

1 模板选择

模板选择的出发点都是为了获得匹配判别所能利用的最大化信息,并考虑对图像变化包括对空间转换、亮度变化、噪声等能保持一致性.为了减少这些因素对模板选择一致性的影响,本文运用了基于灰度差统计信息进行边缘检测的原理[7].

首先是通过以处理点 $I(i,j)$ 为中心的 $(2n+1)\times(2n+1)$ 区域范围内的中值模糊降低图像高频噪声:

$$I_{\mathrm{m}}=M(I_{xy})$$

$$i-n\leqslant x\leqslant i+n \qquad j-n\leqslant y\leqslant j+n$$

其中 $M()$ 是取 $(2n+1)\times(2n+1)$ 个灰度值中的中间值函数.

然后利用灰度差统计累计和获得阈值 T_1 和 T_2 并进行下一步的低频过滤,得到与图像整体亮度无关的边缘图像[7]:

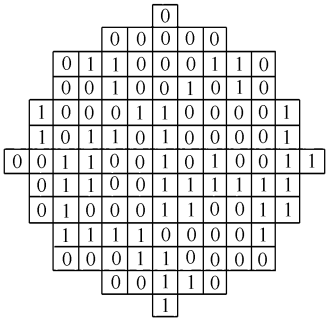
$$\Delta I_{ij}=\begin{cases}I_{ij}-I_k & |\ I_{ij}-I_k\ |\geqslant T_1\\ 0 & |\ I_{ij}-I_k\ |<T_1\end{cases}$$

$$\Delta S_I=\sqrt{\sum_{k=1}^{n}P_k\cdot\Delta I_{ij}^2} \qquad n=m^2-1$$

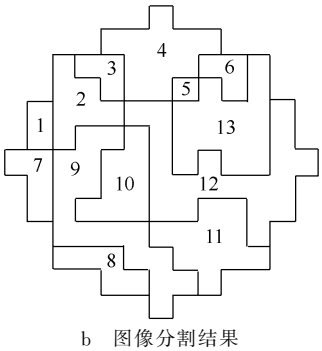
$$C_{\mathrm{E}}=\begin{cases}1 & \Delta S_I\geqslant T_2\\ 0 & \Delta S_I<T_2\end{cases}$$

其中,ΔI_{ij} 是目标点增强灰度差;I_{ij} 是目标点灰度值;I_k 是与目标点相邻的邻近点灰度值;ΔS_I 是增强灰度累计和;P_k 是邻近点与目标点灰度差的加权系数;m 是计算灰度差模板边长;C_{E} 是边缘点的判定准则,即当 $\Delta S_I\geqslant T_2$,对应的该中心目标点为边缘点.

最后进行基于灰度差统计过滤后图像的分割区域检测,并寻找区域数量最多的检测块充当模板(图1),并且保证其中心也为边缘点.



a 半径为5的检测图像块



b 图像分割结果

图1 基于灰度差的图像分割

模板的大小会直接影响到匹配的结果和效率.模板太小则可辨识特征会太少导致无法最终确定最佳匹配,增大模板虽然能够保证容纳够多的特征,但同时也会带来过多干扰信息,导致匹配程度下降且整个匹配过程性能下降.实验表明,传统的图像匹配模板为达到一定匹配能力,边长需要至少25个像素点.而使用基于角度的灰度一维投影映射模板,半径5~10个像素点能得到较好的效果,并且随着模板范围增加所带来的匹配过程附加计算量只与角度分割的细度有关,和模板边长无关.

2 面向角度一维投影的模板匹配

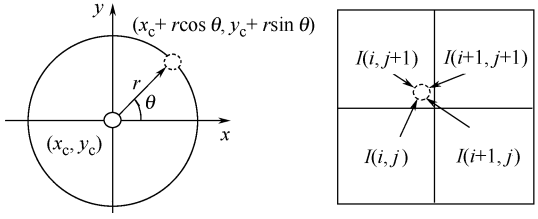
传统的模板匹配判别是简单的面向二维灰度序列,直接使用它们在以下情况下不能保持一致性:①图像旋转;②亮度迁移变化或亮度范围变化.本文提出的面向角度一维投影的模板匹配方法在匹配模板及其匹配指标上降低了上述问题的影响.

获得模板中心点坐标 $(x_{\mathrm{c}},y_{\mathrm{c}})$ 后,根据模板半径,可以按一定分割角度对模板进行灰度一维投

影映射计算(图 2a),获得模板的一维映射,定义为 $\omega(r,\theta)$(按单位角度分割后,环绕中心点坐标所得指定半径下灰度投影值序列,如设单位角度为 1°,则该投影是在模板上计算所得包含 360 个灰度投影值序列. 灰度投影值计算方法如下所述). 对应固定半径 r 和角度 θ 下的灰度投影可以描述为:$I(x^*,y^*)=I(x_c+r\cos\theta,y_c+r\sin\theta)$. 当其坐标$(x_c+r\cos\theta,y_c+r\sin\theta)$不为整数时,需要进行插值运算. 通过最近插值算法可能会导致半个像素的误差额,特别是在实体轮廓上的像素点显得尤其明显. 而线性插值通常只会因为累计平均的缘故使得结果在精度上有很小范围的损失. 因此使用线性插值方法[5](图 2b):

$$I(X^*,y^*)=(1-a)(1-b)I(i,j)+a(1-b)I(i+1,j)+b(1-a)I(i,j+1)+abI(i+1,j+1)$$

其中,i,j 是坐标取整后的值;a,b 是坐标小数部分.



a　灰度投影与选择的半径和角度之间的关系　　b　对非整坐标下像素灰度的线性插值

图 2　灰度一维投影原理

接着需要在目的图像不同位置(边缘点)上进行相同的一维灰度映射运算,定义为 $f(r,\theta')$. 最终匹配判别工作可以描述为变形 AD(Absolute Differences):

$$D(r,\theta')=\sum_{0^\circ\leqslant\theta,\theta'<360^\circ}|f(r,\theta')-\omega(r,\theta)|$$

$$0^\circ\leqslant\theta\qquad\theta'<360^\circ\qquad\theta'=\theta+\Delta\theta$$

考虑到图像旋转变形,需要寻找用作匹配判定的起始角度 θ' 与模板映射的起始角(可取 0°)间的角度差 $\Delta\theta$(图 3):

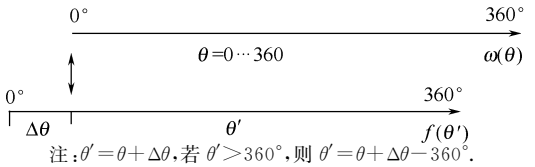
$$D(\Delta\theta)=\sum_{0^\circ\leqslant\theta<360^\circ}|\Delta f(\theta)-\Delta\omega(\theta)|$$

$$0^\circ\leqslant\Delta\theta<360^\circ$$

$$\Delta f(\theta)=(f(\theta+\partial\theta)-f(\theta))+(f(\theta)-f(\theta-\partial\theta))$$

$$\Delta\omega(\theta)=(\omega(\theta+\partial\theta)-\omega(\theta))+(\omega(\theta)-\omega(\theta-\partial\theta))$$

其中,$\partial\theta$ 指的是角度分割单位;$\Delta f(\theta)$和 $\Delta\omega(\theta)$分别对应模板映射和匹配窗口映射上进行的灰度差处理,通过比较不同 $\Delta\theta$ 下相关性 $D(\Delta\theta)$最小值从而获得最佳的 $\Delta\theta$.



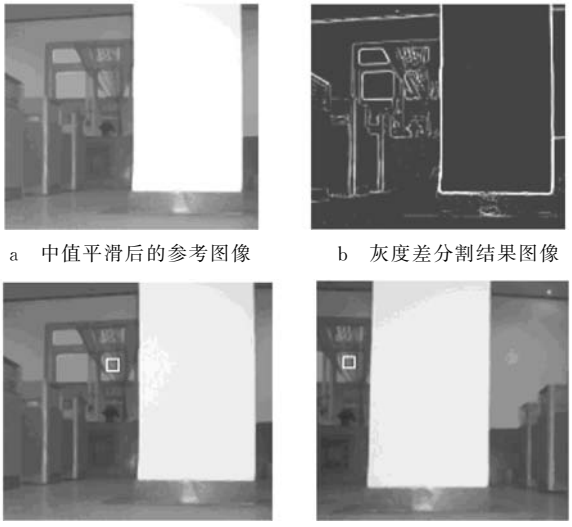
注:$\theta'=\theta+\Delta\theta$,若 $\theta'>360^\circ$,则 $\theta'=\theta+\Delta\theta-360^\circ$.

图 3　模板与检测窗口的灰度投影间起始角度匹配原理

$D(r,\theta')$最小值情况下,$\Delta\theta$ 就是目的图像相对参考图像的旋转角度. 即最大相关性判别结果.

3　实验结果分析

本文使用真实未校准图像,包括非平面场景图像(图 4)和平面场景图像(图 5),进行实验结果的分析,并与传统模板匹配中 SSD 算法以及 NCC 算法在工作速度上进行了比较.



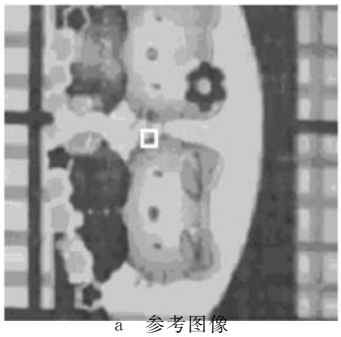
a　中值平滑后的参考图像　　b　灰度差分割结果图像

c　模板选择结果　　d　模板匹配结果

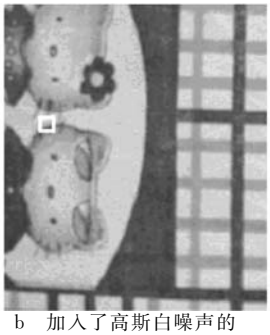
图 4　非平面场景图像匹配结果

首先参考图像进行中值平滑(图 4a)并通过灰度差统计获得边缘检测图像(图 4b),使用模板选择算法后可以得到半径为 5 的模板(图 4c). 然后在目的图像中循环运算一维灰度投影($r=5$, $\partial\theta=1$),通过相似性判定指标最终获得最佳匹配(图 4d). 从实验结果可以看到,即使加入了高斯白噪声(图 5b),或者目的图像发生了较大的旋转(图 5c),仍然能够获得合理的匹配结果,坐标偏差不大于 1 个像素点.

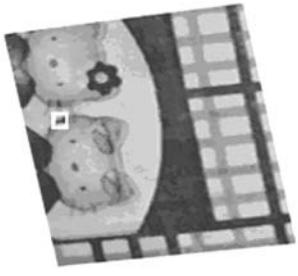
本方法在计算复杂程度上只和角度分割基本单元以及匹配的模板半径有关,复杂度由原来的 $O(M^2N^2)$变为 $O\left(\frac{360^\circ}{\partial\theta}r\right)$,在应对大模板时能够更快的获得匹配结果. 即使计算一维灰度投影会为整个匹配过程带来一定的附加计算时间,最终



a 参考图像



b 加入了高斯白噪声的模板匹配结果图像



c 旋转后目的图像模板匹配结果图像

图5 平面场景图匹配结果

结果在实现效率上仍然比取64×64模板的SSD算法和NCC算法要提高不少.表1是在Pentium 1.7 G、512 MB内存的计算机里使用各算法实现的多尺寸图像模板匹配平均使用时间对比.

表1 3种匹配方法的计算时间比较 ms

使用方法	真实图像实验时间	
	200×100	400×300
本法	411.273	979.594
SSD	1097.978	17642.250
NCC	2810.824	45517.005

4 结 论

由于交迭图像在采用传统模板匹配方法进行图像匹配时会对图像的亮度以及图像旋转显得很敏感,而且匹配结果对模板的尺寸要求高,这样不仅会带来计算量大的问题,同时受噪声影响明显.

本文提出了一种面向角度的一维灰度投影映射模板的图像匹配方法.它直接利用灰度差分割进行模板选择并在此基础上进行灰度投影,降低了对噪声的敏感程度;同时通过面向角度的灰度映射模板可以很好的解决图像旋转带来的匹配困难问题.本方法采用中值平滑和线性插值等计算量较小的算法实现,通过计算一维特殊的面向角度投影,使得匹配过程只和角度分割单元以及匹配的模板半径有关,降低了计算复杂度.使用本方法不仅可以准确获得匹配坐标,还可以得到图像旋转角,为进一步的图像分析处理提供依据.实验表明该算法效果优异并能满足实际应用对时间上的要求.

参考文献(References)

[1] Marketa P. Image matching and its applications in photogrammetry[D]. Denmark:Department of Development and Planning, Aalborg University, 2004

[2] Berg A, Malik J. Geometric blur for template matching [C]//Proc 2001 IEEE Conf Computer Vision and Pattern Recognition. Hawaii:IEEE Computer Science, 2001:607-614

[3] Habib A, Kelley D. Automatic relative orientation of large scale imagery over urban areas using modified integrated hough transform[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2001, 56(1):29-41

[4] Förstner W. A feature based algorithm for image matching [J]. International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, 1996, 26(1):150-166

[5] Kaczmarek K, Walczak B, Jong S, et al. Comparison of image-transformation methods used in matching 2D gel electrophoresis images[J]. Acta Chromatographica BGM,2003, 13(1):7-21

[6] 平洁,殷润民. 一种全景图快速生成算法及其实现[J].微计算机应用,2006, 27(1):59-62
Ping Jie, Yin Runmin. An algorithm for fast creating panoramic image and its implementation [J]. Microcomputer Applications, 2006, 27(1):59-62(in Chinese)

[7] 殷润民,平洁,柴旭东,等. 一种基于灰度差统计的边缘检测方法[J].计算机工程, 2006, l8(3):201-203
Yin Runmin, Ping Jie, Chai Xudong, et al. An edge detector based on gray level difference analysis[J]. Computer Engineering, 2006, 18(3):201-203(in Chinese)

(责任编辑:赵海容)