

基于对数极坐标变换和仿射变换的目标识别定位方法

张伟 任仙怡 张桂林 张天序

(华中科技大学图象识别与人工智能研究所图象信息处理与智能控制教育部重点实验室, 武汉 430074)

摘要 由于传统的模板相关匹配算法在目标图像发生较大旋转和放大时,定位结果可能会发生偏差,因此为了取得精度更高的目标识别结果,提出了一种基于对数极坐标变换粗匹配,结合仿射变换精匹配的目标图像识别定位方法,以用于在视场中自动搜索相对于模板图像有平移、旋转和尺度变化的目标图像。实验结果表明,该算法不仅定位精度高,而且相对于传统的模板匹配算法有更强的鲁棒性。

关键词 对数极坐标变换 仿射变换 相关匹配

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)09-1255-05

An Robust Object Locating Method Based on Log-polar Transform and Affine Transform

ZHANG Wei, REN Xian-yi, ZHANG Gui-lin, ZHANG Tian-xu

(Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430073)

Abstract The traditional correlation matching method has poor performance with large biases in the presence of the object's large scale change and rotation angles. So, in order to get more high precisely locating result, proposed a robust object locating method based on log-polar transform and affine transform which can locate the object misaligned by scale and rotation changes to the template. Experimental results showed that the algorithm not only causes high precisely locating result, but also more robust relative to the traditional correlation matching method.

Keywords log-polar transform, affine transform, correlation matching

1 引言

在目标图像识别定位过程中,视场中的目标图像往往与事先给出的模板图像存在差异,而且经常会发生尺度和旋转角度的变化,在这种情况下,传统的相关匹配方法可能性能下降或失效。由于傅里叶梅林矩具有一定的旋转和尺度不变性,其虽常被用来进行发生了尺度和旋转变化的目标图像配准^[1-4],但它所能处理的仅是尺度变化在2倍以内、旋转变化在 31° 以内,平移参数为图像尺寸的10%,

因此不能很好地处理目标发生任意角度旋转和更大尺度变化以及平移变化情况。

通常用于描述目标的尺度与旋转变化的模型是仿射模型,这种仿射模型可通过求取使得图像与原图像之间的相似度最大的6个变换参数来描述目标的运动,且可以较好地描述目标发生平面位移、旋转及尺度变化的情况,并可以实现图像的精确配准,其配准精度虽可达到亚像素级^[5,6],但仿射变换的初始参数值对它的收敛结果仍有很大的影响,即使通过人工选取目标框来设置仿射变换的初始参数值,其收敛结果有时也会不太理想,即往往因为陷入局

基金项目 武器与预研基金项目(51476010301JW0501)

收稿日期 2005-03-11 改回日期 2005-07-13

第一作者简介 张伟(1979~),男。2003年毕业于武汉工程大学,现为华中科技大学图象所硕士研究生。主要研究领域为图像分析与处理、智能控制、子空间模式识别、图像算法的硬件实现等方面的研究。E-mail: zhangwei0602@163.com

部最优值而找不到真正的目标位置,所以不适宜模板图像在大视场中搜索目标。也就是说,在大视场中搜索精确定位目标时,如何选取比较理想的仿射初始参数值是个非常关键的问题。

为解决上述问题,本文采用对数极坐标变换^[7-9]来估算目标在平面中发生平移、旋转和尺度变化情况下的变化参数。之所以采用对数极坐标变换,是因为当图像坐标变换的原点与目标发生变化后的中心重合时,目标图像的尺度和旋转变化在对数极坐标图像中表现为平移,这个特点称为对数极坐标变换的尺度和旋转不变性。它可以与模板匹配方法相结合用来估计目标的变化参数。

用对数极坐标方法估计出目标的变化参数后,就可将这些参数传递给仿射变换作为仿射初始参数值进行迭代最优算法搜索,这种基于对数极坐标变换和仿射变换相结合的模板相关匹配定位方法能够在复杂背景中获得较高的匹配精度,其可作为模板相关匹配算法的改进。

2 对数极坐标变换及其性质

相对于选定的坐标原点 $O(0,0)$,基于均匀取样的图像中像素的位置可以用笛卡尔坐标 (x,y) 表示,也可用极坐标 (ρ,θ) 表示,它们之间满足以下关系:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1)$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{y}{x}\right) \quad (2)$$

如果 w 与 z 为复数

$$z = x + iy = r(\cos\theta + i\sin\theta) = re^{i\theta} \quad (3)$$

$$w = u(z) + iv(z) = \ln z = \ln r + i(\theta + 2\pi) \quad (4)$$

则可以得到

$$u(r,\theta) = \ln r \quad (5)$$

$$v(r,\theta) = \theta + 2\pi \quad (6)$$

由式(1)~式(6)可以看出, z 空间(笛卡尔坐标)中坐标为 (x,y) 的点经过变换其映射到 w 空间(对数极坐标)中坐标为 (u,v) 。如果 z 空间中的目标相对于坐标原点发生了比例和旋转变化,例如把物体放大为原来的 λ 倍,旋转 α 角度,那么它变化后新的相应的极坐标为 $(\lambda r, \theta + \alpha)$,经过对数极坐标变换后就映射为

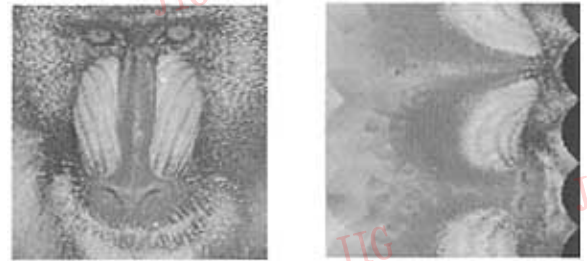
$$w = \ln z = \ln \lambda r e^{i(\theta + \alpha)} \quad (7)$$

$$u(r,\theta) = \ln r + \ln \lambda \quad (8)$$

$$v(r,\theta) = \theta + \alpha + 2k\pi \quad (9)$$

也即, z 空间中的目标比例变化相当于 w 空间中目标沿半径轴方向发生了位移,而 z 空间中的目标旋转变化则相当于 w 空间中目标在沿角度轴方向发生了位移,并以 2π 为周期位移,可见,对数极坐标变换具有尺度与旋转不变性^[1-6]。当目标变化后的中心点与坐标原点重合时,这种不变性成立。这样就可以利用它的这个特性来对目标进行搜索与识别。

如果在进行对数极坐标变换时,以图像的中心为变换中心,并且在对数极坐标图像中以旋转角度为横轴,以半径为纵轴,则可以通过对图像及其进行了仿射变换的图像做对数极坐标变换来观察它的平移和旋转不变性(如图1~图3所示)。

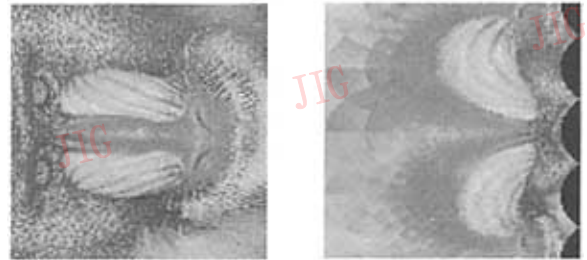


(a) 原图像

(b) 对数极坐标图像

图1 狒狒原始图像的对数极坐标变换

Fig.1 The log-polar coordinate transformation of the original image of baboon



(a) 图1(a)旋转90°图像

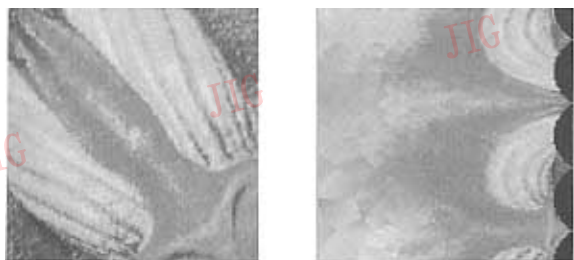
(b) 对数极坐标图像

图2 旋转90°狒狒图像的对数极坐标变换

Fig.2 The log-polar coordinate transformation of the image of baboon with 90° rotation

众所周知,互相关匹配方法经常被用来发现模板图像和目标图像之间的平移变化,虽然当这两幅图像存在尺度和旋转角度较大差异的情况下,这种互相关方法在笛卡尔坐标系下不再有效,但在对数极坐标空间中仍可以使用该方法来发现两幅图像的相位差。

其要注意的一点是,这里的相关不能以整个对



(a) 图1(a)旋转45°放大1倍后的图像

(b) 对数极坐标图像

图3 旋转45°狒狒图像的对数极坐标变换

Fig. 3 The log-polar coordinate transformation of the image of baboon with two-fold zoom and 45° rotation

极坐标图像来直接进行相关,因为图像的尺度变化无论是放大,还是缩小都会给对数极坐标图像中引入平移之外新的信息,如果是放大,那么对数极坐标图像的最上端将是放大以前的亚像素的信息,其不能直接用来做相关,而如果是缩小变换,那么对数极坐标图像的最下端将引入背景信息,也不能直接用来做相关,因此必须试图找出模板图像和目标图像两者的对数极坐标图像有着明确对应关系的部分来进行相关计算。也就是说,应该利用的是对数极坐标图像中部的信息来进行相关。由于可以根据具体问题设定一个目标尺度变化的范围,从而就可以确定应该利用对数极坐标图像的哪一部分的信息来进行处理。

3 基于极坐标变换的目标粗定位方法

当对数极坐标原点与目标发生变化后的中心重合时,变换后的目标就具有比例和旋转不变性。于是,若要在一个大视场中搜索一个特定的目标,则只需存储该目标的一个模板就够了。利用对数极坐标变换进行物体识别、场景分析和运动分析已有一些研究成果报告,而且它们往往都是假设已知到物体变化的中心位置,或者通过图像分割方法来找出目标后,再计算得出目标的质心位置,但这一前提往往是不能满足的,由于实际目标发生变化的中心位置往往并不能提前得知,因此若在大视场中搜索目标时,就必须采用穷举搜索的方法来进行,即对每一个可能的像素点,必须考虑以该像素点为中心发生变化的情况。

基于以上理由,本文提出的基于对数极坐标变换的目标自动粗定位方法的过程如下:首先根据模板计算出目标进行对数极坐标变换后的图像,然后

在大视场图中的每一个位置抠取与目标同样大小的区域,最后对该区域图像同样进行对数极坐标变换。若再对这两幅对数极坐标变换图像进行相似性度量,则可得到一个在该位置上的相似性度量值。此处用到的相似性度量准则是绝对差和相关(sum of absolute differences,简称 SAD)值,即

$$m = \sum_i \sum_j |f_1(i, j) - f_2(i, j)| \quad (10)$$

在对所有位置进行过这个度量后,即可选取对数极坐标变换图像与模板的对数极坐标变换图像最相似的那一块区域作为最后的搜索定位结果,由此结果就可以计算出目标的仿射变换的初始参数值。定位结果中,当原点与目标发生变化的中心不重合时,由于结果只是偏差在2个像素以内,角度变化也是比较细微,因此用仿射变换是可以校准的。

4 基于仿射变换的精确定位

一个坐标点经平移、旋转、缩放后的坐标可用仿射变换表示为

$$\begin{cases} u = a_1 + a_2x + a_3y \\ v = a_4 + a_5x + a_6y \end{cases} \quad (11)$$

这6个参数是通过使得输入图像 I_1 与经过这些参数变化的待配准图像 I_2 之间的相似度最大来求

$$d = \sum_{i=1}^N [I_1(x_i, y_i) - I_2(u_i, v_i)]^2 \quad (12)$$

然后就可以利用最优化方法求取使得这个目标函数取得最小值的6个参数。

5 目标定位实验结果与分析

为了验证本文提出的对数极坐标与仿射变换相结合的目标图像定位识别方法的可行性,通过设计不同目标图像进行了大量模拟试验,其变换定位结果见图4~图5,其中部分结果如表1所示(主机配置为PⅢ700,内存SDRAM256M)。

用对数极坐标粗定位方法来进行物体识别的试验结果如图6所示。

物体的真实放大倍数为2,旋转角度为顺时针旋转45°,真实的中心点位置为(85,186)。定位结果得到的参数为:放大倍数为2.0787,旋转角度为45.0000°,中心点位置为(85,186)。

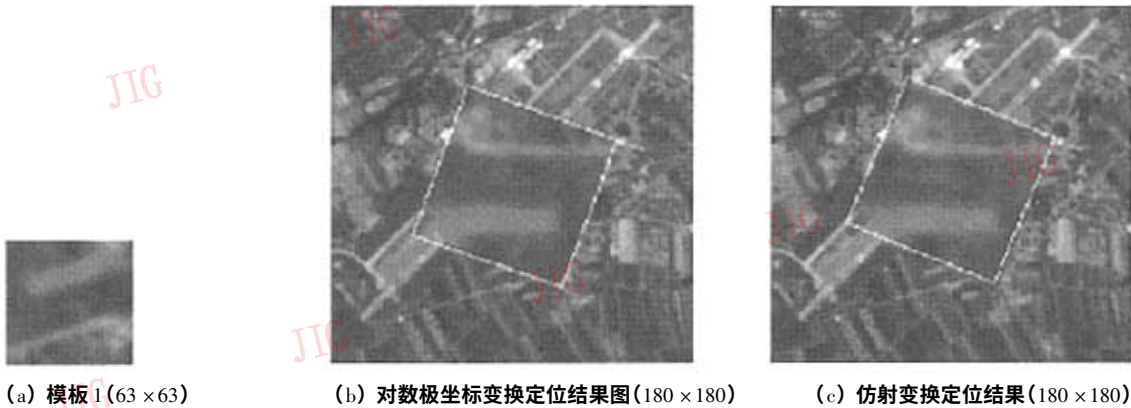


图 4 模板 1 两种变换定位结果

Fig. 4 The locating result of the template image



图 5 模板 2 两种变换定位结果

Fig. 5 The locating result of the template image

表 1 估计参数与实际参数对照

Tab. 1 Comparson between the estimation parameter and real parameter

模板	参数	旋转角度参数(°)	尺度变化参数	位置参数(x,y)
模板 1	实际参数	200 (160)	1. 538 4	(90. 5, 90. 5)
	对数极坐标变换估计参数	202. 5 (157. 5)	1. 584 2	(90, 88)
	仿射变换估计参数	200. 34 (159. 66)	1. 510 1	(90. 58, 90. 82)
	处理时间(s)		320	
	实际参数	150 (210)	0. 55	(90. 5, 90. 5)
模板 2	对数极坐标变换估计参数	146. 25 (213. 75)	0. 578 7	(89, 87)
	仿射变换估计参数	150. 37 (209. 63)	0. 545 4	(90. 06, 89. 5)
	处理时间(s)		476	

6 结 论

众所周知,当目标的尺度和方向具有较大变化

时,基于图像平移模型的相关匹配方法不能进行有效匹配,而本文提出的方法则不仅能克服这些畸变,而且可取得很好的定位识别效果。通过对试验结果进行的分析表明:对数极坐标变换不仅可以为仿射

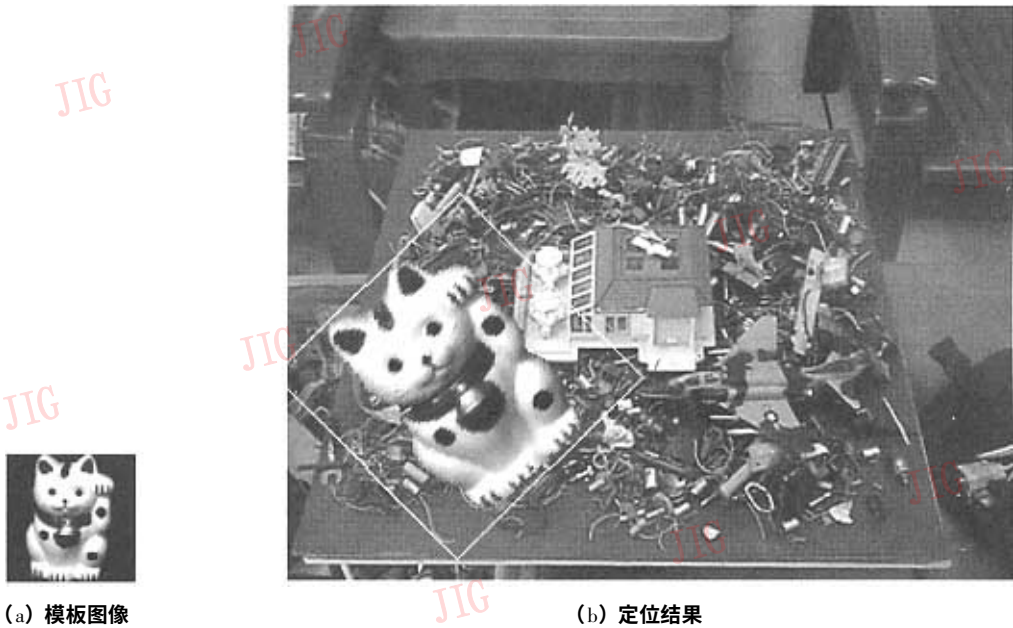


图 6 模板图像定位结果

Fig. 6 The locating result of the template image

变换提供比较理想的初始参数值,而且借助仿射变换,还可实现在视场中的目标识别定位。这种方法将为自动目标识别研究提供一种有效的思路。

参考文献 (References)

1 Casasentand D ,Psaltis D. Position, rotation, and scale invariant optical correlation[J]. Applied Optics, 1976, 15(7) 1793 ~ 1799.

2 Pratt W K. Digital image processing[M]. New York :John Wiley & Sons,1978.

3 Chen Q, Defrise M, Deconinck F. Symmetric phase-only matched filtering of fourier-mellin transforms for image registration and recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(12) 1156 ~ 1168.

4 Reddy B S, Chatterji B N. An fft-based technique for translation, rotation and scale-invariant image registration[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(8) 1266 ~ 1271.

5 Philippe Th 'evenaz, Urs E Ruttimann, Michael Unser. Apyramid

approach to subpixel registration based on intensity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(1) 27 ~ 41.

6 Press William H, Teukolsky Saul A, Vetterling William T, et al. Numerical recipes in C 2nd edition [M]. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 1993.

7 CHEN Chao-yang, DING Ming-yue, ZHOU Cheng-ping. A target tracking method based on log-polar coordinate mapping [J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(9) 1173 ~ 1175. [陈朝阳,丁明跃,周成平. 基于对数极坐标映射的目标跟踪方法[J]. 电子学报, 2001, 29(9) 1173 ~ 1175.]

8 Tistarelli M, Sandini G. On the advantages of polar and logpolar mapping for direct estimation of time-to-impact from optical flow[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(4) 401 ~ 411.

9 Morgan McGuire. An image registration technique for recovering rotation, scale and translation[R]. Technical Report, TR. 98-018, Nippon Electronic Company Research Institute, 1998 :1 ~ 29.