基于相位相关的图像匹配算法

赵宏伟,刘宇琦,程 禹,刘君玲

(吉林大学 计算机科学与技术学院,长春 130022)

摘 要:为了有效提高图像匹配算法的速度和精度,提出了一种基于相位相关的图像匹配算法。该算法先将基准图像和目标图像进行对数极坐标变换并提取变换后图像的轮廓作为特征区域;然后对两幅图像的轮廓区域分别进行距离轴和角度轴方向上的投影,最后通过比较投影分量的大小确定两者是否匹配。为了降低对整幅图像进行计算所带来的计算耗时,提出了一种分步采样的方法。实验结果表明,该算法执行速度快,抗噪声、压缩能力较强,当目标图像相对宿主图像发生旋转、缩放的变化时,仍能较准确地完成两者之间的匹配工作。

关键词:图像处理技术;图像匹配;对数极坐标变换;距离轴;角度轴

中图分类号:TP391 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-5497(2011)Sup.1-0183-06

Phase correlation-based image matching algorithm

ZHAO Hong-wei,LIU Yu-qi,CHENG Yu,LIU Jun-ling

(*College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun* 130012, *China*)

Abstract: In order to effectively improve the speed and accuracy of the image matching algorithm, this paper proposed an image matching algorithm. First, in order to get the contour of the image which can be used as the feature area, the Log-polar transformation was carried on on the reference image and the target image respectively. Then, project the contour area on the orientations of distance axis and angle axis separately. Finally, compare the projection value to determine whether the images match. In order to reduce the computation time which is brought by calculating the whole image, this paper proposed a method of sampling by step. Experiment results show that, this algorithm executes quickly, and it is robust on resisting the noise or JPEG compression. The images can be matched accurately, though the target image is rotated or zoomed relatively to the reference image.

Key words: image processing; image matching; log-polar transform; distance axis; angle axis

近些年来,图像匹配技术得到了人们广泛的关注,各种图像匹配算法相继出现,图像匹配的速度、精度、通用性以及抗干扰性等成为人们研究的重点[1]。而在众多的匹配方法中,基于图像像素值的匹配方法和基于图像特征的匹配方法仍是图像匹配研究的主流。前种方法算法简单,易于实现,国内外已有很多这方面的研究。后种方法是指在源图像和目标图像中提取对旋转、缩放、灰度变换以及比例的变化不敏感的特征对图像进行匹配[2-3]。通常来说,这种方法不直接依赖于像素

收稿日期:2010-11-03.

基金项目:吉林省自然科学基金项目(20101504);吉林省教育厅科学基金项目(2009604).

作者简介:赵宏伟(1962-),男,教授,博士生导师.研究方向:智能信息系统与嵌入式技术.
E-mail:zhaohw@jlu.edu.cn

通信作者:刘宇琦(1984-),男,硕士研究生.研究方向:图像处理与模式识别.E-mail:liuyuq@jlu.edu.cn

值,在提取特征时需要经过较复杂的图像处理,因而硬件实现起来比较困难。

目前,已有很多有关图像匹配的方法方面的文献。Stefano 等人利用柯西-施瓦兹不等式,提出了一种基于零均值正则化互相关函数的有界部分相关匹配方法[4]。该方法的提出,大大减少了匹配过程中所带来的繁琐计算量。李强等人在基于灰度图像匹配的方法上,对其进行了改进,将图像分割成一定大小的方块记为 R-块,计算每个 R-块的灰度值,并对其进行编码,最后通过各个 R-块的编码值的比较来实现图像的匹配[5]。罗钟铉等人将小波变换与投影特征相结合,提出了一种基于灰度的快速图像匹配方法[6]。为了减少匹配错误,该方法在小波变换的每一层设置了阈值,因而减少了匹配时间。Corvi[7]采用聚类的方法初始化变换模型的平移和旋转参数,并采用最小距离的方法对特征点进行进一步的匹配。陈志刚等人提出了一种新的点特征松弛匹配算法[8],该方法具有比例和旋转不变的特性。针对文献[9]对图像配准中的特征提取问题,提出了一种基于自动选取标记点的弹性图像配准方法。该方法根据算术-调和均值距离测度 AHM 实现图像全局配准,并用三次均匀 B 样条实现了图像的弹性配准。

本文在上述背景基础之上,通过对图像匹配技术的学习,以及对图像匹配方法的研究现状的了解,实现了一种基于相位相关的图像匹配算法。该算法先将源图像转换为二值图像,接着对二值图像进行对数极坐标变换,将其转换为 LP 图像,然后对 LP 图的距离轴和角度轴投影统计量的特征提取,最后对提取的特征值进行相似性匹配。由于算法匹配过程是基于目标图像的轮廓,故对于一定程度的噪声、JPEG 压缩等攻击操作而言,此算法具有较强的鲁棒性。实验表明,该算法执行速度较快,当目标图像相对于基准图像发生旋转,缩放等操作时,能准确地完成两者之间的匹配工作。

1 对数极坐标变换

对数极坐标变换源于对人类视觉机制的研究。其大致过程为先对图像进行极坐标变换,再对极坐标变换的结果进行对数变换。在笛卡儿坐标系中,可以按照以下公式将点(x,y)映射到对数极坐标中的点(r,θ)[10]:

$$\begin{cases} r=\ln(\sqrt{x^2+y^2}) \\ \theta=\arctan(y/x) \end{cases} \tag{1}$$

其逆过程可按式(2)表示:

$$\begin{cases} x=\exp(r)\cdot\cos\theta \\ y=\exp(r)\cdot\sin\theta \end{cases} \tag{2}$$

在对图像进行极坐标变换时,往往取图像的形心作为变换中心,这样做的目的是消除图像平移所带来的影响。在极坐标系下,点(ρ,θ_ρ)可以按照以公式(3)映射到对数极坐标内的对应点(r,θ):

$$r=\ln(\rho),\theta=\theta_\rho \tag{3}$$

设目标的尺度变化因子为 k,旋转变化因子为 ψ,(r,θ)发生尺度和旋转变化后的对应点为(r',θ'),则存在:

$$\begin{cases} r'=\ln(k\cdot\rho)=\ln(k)+\ln(\rho)=\ln(k)+r \\ \theta'=\theta+\psi \end{cases} \tag{4}$$

由式(4)知,当目标图像缩放尺度为 k,旋转变化角度为 ψ时,对应 LP 图像的变化是:目标在距离轴上平移了 $\ln(k)$个单位,在角度轴上平移了 ψ个单位。可见,目标图像的旋转,缩放操作反映在相应的 LP 图像中只是目标区域的位置发生了改变,因此可以很好地将 LP 变换的这个特点应用到图像匹配过程。

2 基于相位相关的图像匹配算法

本文的图像匹配过程包括:图像输入,图像预处理,提取图像匹配有用信息,图像匹配以及输出匹配结果。图 1 给出了图像匹配的一般流程图。

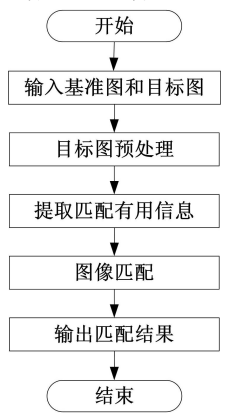


图 1 图像匹配的一般流程图

Fig.1 General flow chart of image matching

下面对其中几个关键步骤做详细介绍。

2.1 目标图预处理

该过程又可分为两个步骤完成,即目标图像

的二值化和定位二值图像形心过程。具体如下:

(1)使用源图像的平均灰度 T 作为阈值,对目标图像进行二值化操作,生成二值图像 $F(x,y)$。为了降低算法的空间复杂性,可用数组存储二值化图像;

(2)按式(5)(6)(7)完成二值化图像 $F(x,y)$形心(x_0,y_0)的定位过程[11]:

$$S(x)=\sum_{y=0}^{n-1}F(x,y),S(y)=\sum_{x=0}^{m-1}F(x,y) \tag{5}$$

$$N=[\sum_{x=0}^{m-1}S(x)+\sum_{y=0}^{n-1}S(y)]/2 \tag{6}$$

$$\begin{cases} x_0=\dfrac{1}{N}\sum_{x=0}^{m-1}S(x)\cdot x, \\ y_0=\dfrac{1}{N}\sum_{y=0}^{n-1}S(y)\cdot y \end{cases} \tag{7}$$

式中:m 为图像的宽;n 为图像的高;$S(x)$和 $S(y)$分别为图像在 X,Y 方向上的投影统计量;N 为图像总的像素数。

2.2　二值图像对数极坐标变换

本算法主要是对图像轮廓进行匹配,对于采样原点的部分可以不采样或少采样。因此可以计算出一个采样半径下限。其计算表达式如式(8)所示[12]:

$$\zeta=\frac{\ln(S)}{\ln(M)}\cdot R \tag{8}$$

这里,只对半径大于 ζ的部分进行采样。S 表示图像轮廓区域离采样原点最近的距离;M 表示二值图像中离采样原点最远的距离;R 表示 LP 图像的距离轴长度。

(1)使 LP 图的距离轴和角度轴都以一定的跳度递增,为了使采样点与二值图像分辨率的规模相适应。跳度计算公式如式(9)所示:

$$tiao=2^{-\log\frac{\max(a,b)}{2\ln[\max(a,b)]}} \tag{9}$$

(2)根据跳度修正 R 和 ζ,省略多余小数部分,以优化代码,减少计算量。如式(10)所示:

$$\begin{cases} R=R-R(\mathrm{mod}\ tiao) \\ \zeta=\zeta-\zeta(\mathrm{mod}\ tiao) \end{cases} \tag{10}$$

(3)使用式(2)重获目标图像中的采样点,以形心 (x_0,y_0)为变换中心,采用间接重采样法对目标图像进行对数极坐标变换以获得 LP 图像。

可见,优化后的 LP 图像的分辨率为$[(R-\zeta)/tiao]\cdot(2/tiao)$,其中,$[(R-\zeta)/tiao]$为距离轴的像素数,$(2/tiao)$为角度轴的像素数。

2.3　LP 图像匹配

本部分对 LP 图像的距离轴和角度轴投影统计量进行计算,所得统计量为匹配的主体。令 W_p 为基准图的 LP 图像的轮廓区域宽度,W_q 为目标图的 LP 图像的轮廓区域宽度,匹配具体过程如下:

(1)计算距离轴投影统计量并分割出目标图像的轮廓区域,找出轮廓区域的左右边界 α,β并对距离轴区间$[\alpha,\beta]$进行距离轴投影统计量的计算。

(2)将基准图和目标图的 LP 图像的轮廓区域宽度之差与一个事先规定的阈值 χ进行比较,如果前者大于后者,则直接判定匹配失败;否则,按公式(11)进行距离轴投影统计量匹配:

$$D_j=\frac{1}{m}\cdot\sum_{i=l}^{l+m-1}|N_p(i)-N_q(i)| \tag{11}$$

式中:$m=\min(W_p,W_q)$;$l=1,2,\cdots,|W_p-W_q|+1$,$N_p(i)$,$N_q(i)$分别表示目标 LP 图和基准 LP 图的距离轴上的投影量。设定相似度阈值 σ_T,若有 $\min(D_l)<\sigma_T$,则继续进行;否则,匹配失败。

(3)角度轴相似度比较算法与距离轴投影类似,具体如式(11)所示。不同的是,在式(11)中,$m=W_p$,$l=1,2,\cdots,W_p$。$N_p(i)$,$N_q(i)$分别表示目标 LP 图和基准 LP 图角度轴向投影量,设定角度轴相似度阈值为 σ_T,如果有 $\min(D_l)<\sigma_T$,则停止计算,并认定是目标。

3　仿真实验及分析

本算法程序实现的开发环境为 Microsoft Visual studio 2008,实验使用的基准图像,目标图像及相关步骤产生的结果如图 2 所示。其中,(a1)为 128 * 200 大小的基准图像,(a2)对目标区域逆时针旋转 90 度,缩小 1.5 倍并进行一定程度位移之后的图像,(a3)为非目标图像。(b1),(b2),(b3)分别对应了这三幅图像的采样点图,(c1),(c2),(c3)分别为基准图像、目标图像及非目标图像 LP 变换之后的结果。由图可知,该算法可以根据目标区域的大小和位置决定采样点的分布,在采样过程中只将目标轮廓作为感兴趣的特征,并且根据采样半径下限参数决定采样半径的起始大小,进而忽略了目标区域内部的相关信息,有效地降低算法的计算量。由图 2(c1),(c2),(c3)可知,目标区域的轮廓集中显示在 LP 图像的右侧,方便于寻找该区域的轮廓作为算法匹配的特征信息。

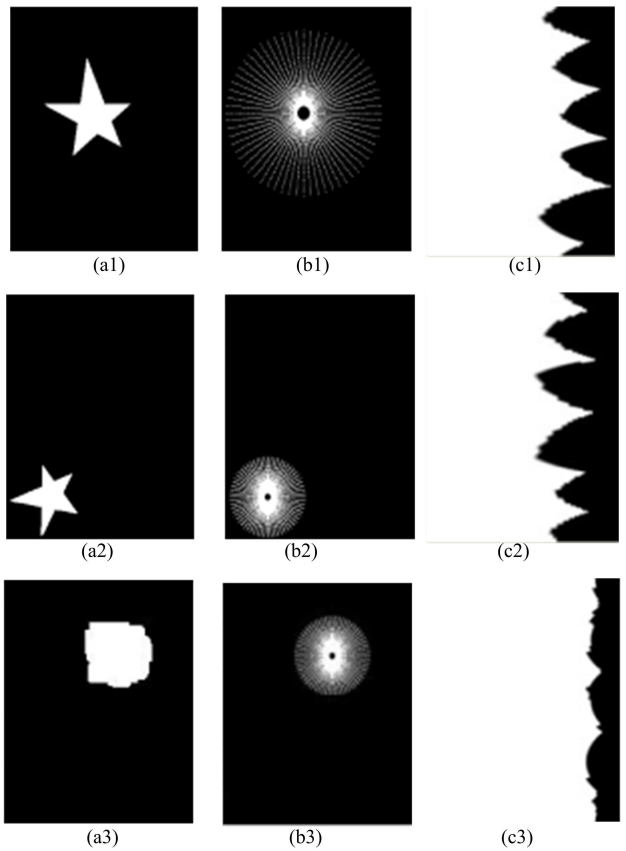


图2 实验图像、采样点分布及LP变换后图像

Fig.2 Experimental images, sampling distribution and the LP transformed image

在距离轴投影及角度轴投影匹配过程中,取$\eta=5$作为匹配阈值,对于不同图像距离轴投影结果如图3所示。其中,W_d表示轮廓区域的宽度。由图可见,(a)(b)两幅图像对应的距离轴投影图像是相类似的,而(c)图则与两者相差甚远。经计算,(a)(b)图像之间$\min(D_i)$值为3.053 20$<\eta$,而(a)(c)之间该值为11.25478$>\eta$,说明(b)对应的图像与基准图像匹配成功,(c)对应的图像匹配失败。

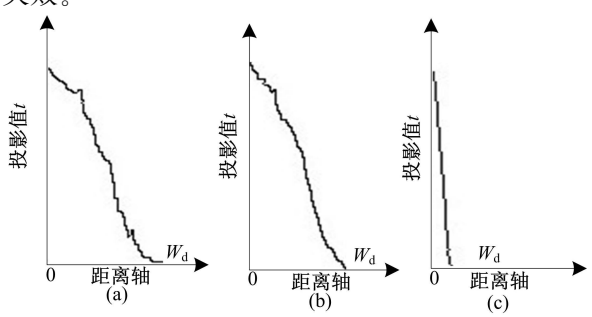


图3 不同LP轮廓图像距离轴投影后的图像

Fig.3 Projections of Contours of different LP images on distance axis

因为当目标图像相对于基准图像发生旋转,缩放等操作时,相应的LP图像中目标区域的轮廓仅仅发生位移的改变,为了保证能正确匹配角度轴上的轮廓投影,需要对基准图像的LP变换后的图像进行扩展。如图4所示,(a)(b)分别为基准图像和目标图像角度轴投影之后的图像,(c)为(a)进行轮廓扩展之后的图像,扩展过程即对(a)进行水平方向的一次复制。由图可知,当对基准图像逆时针旋转时,表现在LP角度轴投影上仅仅是整个轮廓区域右移了一段距离,轮廓区域的形状并没有发生变化,这便给角度轴上的投影匹配带来可能性,因为我们可以通过遍历基准LP图像角度轴的方式检测是否能够找到与目标轮廓相匹配的投影区域,若存在这样的区域,则说明目标图像匹配成功,否则,目标图像匹配失败。通过比较(b)(c)两幅图像得知,前者是后者的一个"部分"拷贝,可见,对基准图像进行缩放和旋转,生成的目标图像经过LP变换之后在角度轴投影上能得到较准确地匹配。

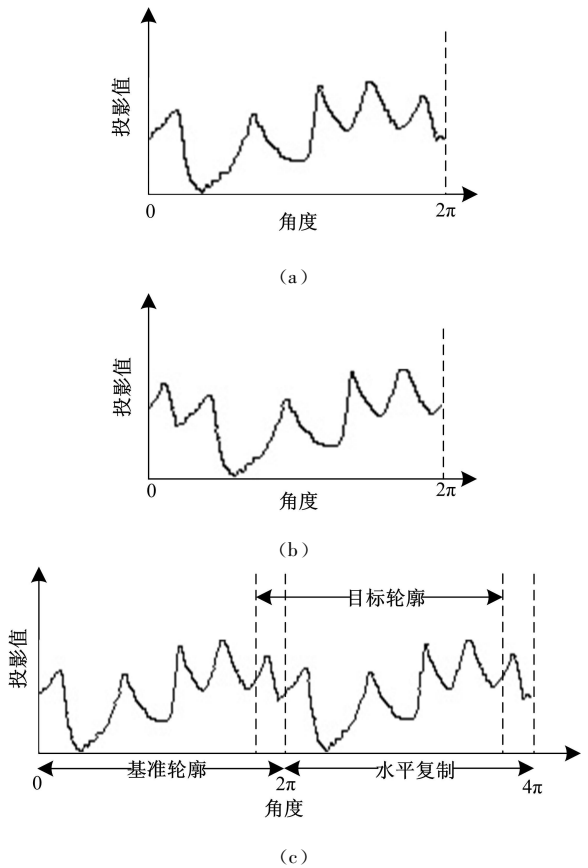


图4 不同LP轮廓图像角度轴投影后的图像

Fig.4 Projections of Contours of different LP images on angle axis

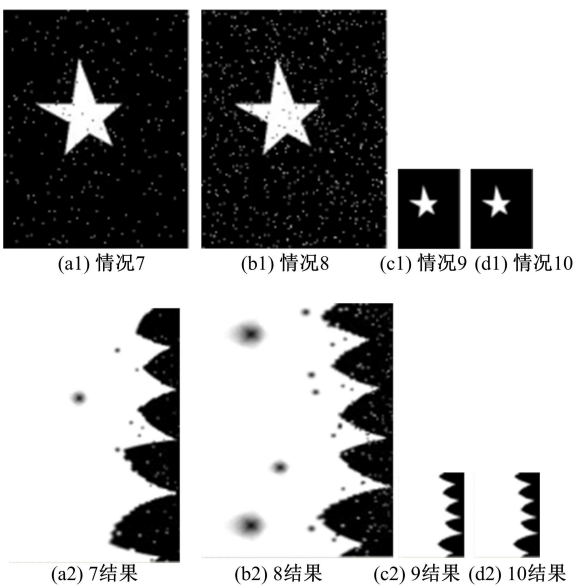
为了进一步验证算法的匹配精度,我们使用500幅不同大小的目标图像,50幅不同大小的非

目标图像进行测试。500 幅图像被分成 10 组,其中每组都对应了目标图像相对于基准图像的操作处理类型。将每幅图像与原图分别按照本文算法和文献[9]算法进行匹配,统计正确匹配的图像数目如表 1 所示,其中,(a)～(k)分别对应这 10 组测试图像。可见,相对于文献[9],本算法能更有效地抵抗目标图像的旋转、缩放攻击,这主要得益于对数极坐标变换所具有的旋转、缩放不变性,反映在对数极坐标系中只是目标区域的位置发生了改变。由表 1 可知,实验所给出的非目标图像都得到了正确的识别。图 5 以式(7)(8)(9)(10)四种情况为例给出图像区域轮廓定位效果图,由于整个匹配过程是基于图像轮廓的,使得 JPEG 压缩操作以及噪声添加等处理对算法的匹配精度影响不大,可见算法鲁棒效果明显。

表 1　使用不同算法统计正确匹配的图像数目

Table 1　Statistical numbers of correctly matching images by using different algorithms

	修改类型	文献[9]	本文
(1)	旋转 45°	48	48
(2)	旋转 135°	47	49
(3)	缩放 2 倍	46	49
(4)	缩放 1/2 倍	46	48
(5)	旋转 45°+缩放 2 倍	42	45
(6)	旋转 45°+缩放 1/2 倍	41	43
(7)	缩放 2 倍+噪声 2%	41	43
(8)	缩放 2 倍+噪声 5%	42	44
(9)	缩放 1/2 倍+JPEG80	42	44
(10)	缩放 1/2 倍+JPEG40	43	45
(11)	非目标图像	5	0



(a1) 情况7　(b1) 情况8　(c1) 情况9 (d1) 情况10

(a2) 7结果　(b2) 8结果　(c2) 9结果 (d2) 10结果

图 5　不同攻击方式下的轮廓图

Fig .5　Profile images under different attcaks

从时间复杂度角度分析,本文算法在进行 LP 变换之前先对原基准图像进行采样,并且将采样点以及 LP 变换所需的三角函数值存放到数组中,这样就避免了因重复计算而带来的额外开销。并且,我们仅仅将图像目标区域的轮廓作为特征信息,而忽略了目标内部的信息内容,这样进一步减少了算法的运算量。图像匹配过程共涉及$(m-1)\times(|W_p-W_q|+1)$次加运算,1 次除运算。实验抽取了表中目标图像中的 5 组,针对每组图像统计了使用本算法和文献[9]算法的系统运算时间,如表 2 所示。

表 2　不同算法进行图像匹配所需时间(ms)

Table 2　Time required for different image matching algorithm(ms)

	文献[9]	本文
第一组	425	327
第二组	471	385
第三组	524	445
第四组	353	231
第五组	457	364

注:仿真实验环境:操作系统为 Microsoft Windows XP Professional Service Pack 3;编程环境为 Visual Studio 2008;CPU 为 AMD 7750,2 .7GHz;内存为 2GB

4　结束语

在传统算法的基础上,提出了一种基于对数极坐标变换的图像匹配算法,该算法对传统的算法进行了改进,通过提取对数极坐标变换后的坐标投影统计量作为图像特征,实现了图像之间的相似性匹配。实验表明,该算法执行速度较快,能抵抗一定范围内的噪声,JPEG 压缩等攻击,当目标图像相对于基准图像发生旋转,缩放等操作时,能较准确地完成两者之间的匹配工作。

参考文献:

[1]唐永鹤.基于特征点的图像匹配算法研究[D].长沙:国防科学技术大学,2007.

Tang Yong-he.Investigation of image matching algorithm based on feature points[D].Changsha:National University of Defense Technology,2007.

[2]Leila M G,Manjunath B S.Registration techniques for multisensor remotely sensed image[J].PE&RS,1996,62(9):1049.

[3]杨光,田地,李军,等.基于投影特征的快速图像匹配方法[J].吉林大学学报:工学版,2010,40(5):1340-1344.

Yang Guang,Tian Di,Li Jun,et al.Fast image matc-

hing method based on projective feature[J].Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition),2010,40(5):1340-1344.

[4] Stefano Luigi D, Mattoccia S.ZNCC-based template matching using bounded partial correlation[J].Pattern Recognition Letters,2005,26:2129-2134.

[5] Li Qiang,Zhang Bo.A fast matching algorithm based image gray value[J].Journal of Software,2006,17(2):216-222.

[6] 罗钟铉,刘成明.灰度图像匹配的快速算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(5):966-970.
Luo Zhong-xuan,Liu Cheng-ming.Fast algorithm of image matching[J].Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics,2005,17(5):966-970.

[7] Corvi G Nicchiotti.Multiresolution image registration[C]//Proc of International Conference on Image Processing,1995,3:224-227.

[8] 陈志刚,宋胜锋,李陆冀,等.基于相似原理的点特征松弛匹配算法[J].火力与指挥控制,2006.31(1):49-51.
Chen Zhi-gang, Song Sheng-feng, Li Lu-ji, et al. Point pattern relaxation matching based on similarity principle[J]. Fire Control and Command Control, 2006.31(1):49-51.

[9] 杨金宝,刘常春,胡顺波.基于算术调和均值距离测度的弹性图像配准[J].吉林大学学报:工学版,2009,39(5):1390-1394.
Yang Jin-bao, Liu Chang-chun, Hu Shun-bo. Arithmetic harmonic mean divergence measure for elastic image registration[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition),2009,39(5):1390-1394.

[10] 李刘林,沈海斌,潘辉.细化参数的对数极坐标变换图像纹理特征提取算法[J].浙江大学学报:理学版,2009,36(2):162-164,215.
Li Liu-lin, Shen Hai-bin, Pan Hui. Robust feature extraction arithmetic based on parametrical log-polar transformation for texture image[J],Journal of Zhejiang University(Science Edition),2009,36(2):162-164,215.

[11] 严江江,丁明跃,周成平.一种基于对数极坐标变换的快速目标识别算法[J].智能系统学报,2008,3(4):370-376.
Yan Jiang-jiang,Ding Ming-yue,Zhou Cheng-ping.A fast target recognition algorithm based on LPT[J], Caai Transactions on Intelligent Systems, 2008, 3(4):370-376.

[12] 冯月霞.用TMS320C50实现图像目标的形心捕获[J].光子学报,2001,4(4):455-456.
Feng Yue-xia.Realizing captrue of centroid of target image by using TMS320C50[J].Journal of Photon, 2001,4(4):455-456.