

doi: 10.7690/bgzdh.2013.08.024

仿射不变性特征提取在目标识别中的应用

胡欣¹, 许新芳², 陈娇¹

(1. 总装重庆军代局驻绵阳地区军代室, 四川 绵阳 621000; 2. 总装重庆军代局驻广元地区军代室, 四川 广元 628017)

摘要: 从不同角度、距离获取的图像中提取不受视点因素影响的仿射不变特征, 是图像目标识别、图像几何校正、景象匹配、图像检索等领域的共性问题。从仿射几何的角度出发, 在对仿射变换、仿射不变性进行研究的基础上, 利用仿射几何的不变性提取仿射不变特征量。针对同底面积比基元进行目标识别存在的问题, 引入改进局部不变量, 并提出 3 种基元特征提取算法, 以排除锯齿点干扰进行角点提取。Matlab 仿真分析过程中, 对图像进行基元特征提取, 采用改进局部不变量进行计算、比较及识别, 能够有效建立图像特征值比较模型。实验结果表明: 该局部不变量能较好地识别相同目标, 用于不同目标间的分类识别时能取得好的分类效果。

关键词: 仿射变换; 仿射不变性; 不变特征提取

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Affine Invariability Feature Extraction in Application of Target Recognition

Hu Xin¹, Xu Xinfang², Chen Jiao¹

(1. PLA Presentation Office in Mianyang District, PLA Military Representation Bureau of General Equipment Headquarters in Chongqing, Mianyang 621000, China;

2. PLA Presentation Office in Guangyuan District, PLA Military Representation Bureau of General Equipment Headquarters in Chongqing, Guangyuan 628017, China)

Abstract: It is common problems in image target recognition, image geometric correction, scene matching, image retrieval and other areas that extracted from viewpoint factors affine invariant feature from different angles and distance of image acquisition. Based on the affine transformation, affine invariance study use of affine geometric invariability extraction of affine invariant feature quantity starting from the point of view of affine geometry. According to the same base area ratio primitives for target recognition problems into improving local invariant, and puts forward three kinds of primitive feature extraction algorithm to eliminate sawtooth point interference with angle point extraction. Do image elementary feature extraction, using improved local invariant calculation, comparison and recognition in Matlab simulation analysis process. It can effectively establish image characteristic value comparison model. The experimental results show that the local invariant can more accurately recognize the same goal, and it can obtain better classification effect when used for different target classification recognition between.

Key words: affine transform; affine invariant feature; invariant feature extraction

0 引言

基于图像的目标识别和分类方法很多, 从全局和局部仿射不变特征提取研究方向上, 重点体现在 2 个方面: 一方面是不变特征的应用研究, 注重于如何将成熟、经典的方法用于新的领域, 解决新的问题; 另一方面是不变特征的理论及提取方法的研究, 集中在从新的角度理解不变性, 建立描述不变特征提取问题的新的数学模型, 研究稳健、实用的不变特征提取方法^[1]。

虽然特征提取理论和方法研究在不断深入, 但仍存在以下问题: 1) 仿射不变特征提取的数学模型, 当用“精确”的、单一的模型来描述图像之间复杂的、非全局的变换时, 实际情况往往比模型描述的问题复杂。2) 部分特征提取方法, 尤其是部分局部仿射不变特征提取方法的技巧性强, 缺乏理论

上的解释, 不易用合适的数学模型来描述, 从而不能对这些方法进行系统的研究和改进^[2]。近年来相关学者提出了许多仿射不变特征提取方法, 但都只是对某种或某几种变换具有不变性。不变特征提取方法的性能各有差异, 没有哪一种方法能解决所有变化因素影响下的不变特征提取问题, 这也说明了不变特征提取方法仍具有广阔的研究空间。

图像之间的仿射变换实质上是像素坐标之间的仿射变换, 从理论上讲, 图像内容不随仿射变换而变化, 图像之间的差异主要由抽样和插值引起^[3]。因此, 可以从仿射几何的角度研究图像之间的仿射变换, 利用仿射几何的不变性提取仿射不变特征量。笔者主要以 2 个三角形的同底面积比基元作为局部特征提取不变量 I , 随后考虑到三点共线时 I 值变大的问题引入改进函数 L 。采用对图像进行轮廓提取, 选取仿射不变性特征对目标进行识别^[4]。

收稿日期: 2013-02-03; 修回日期: 2013-03-16

作者简介: 胡欣(1987—), 男, 四川人, 本科, 助理工程师, 从事通信与信息系统研究。

1 引入局部仿射不变量 L

局部特征是指依赖于图像的局部区域而构成的特征，当图像的某一部分有形变时，仍有部分特征维持不变，如图 1。

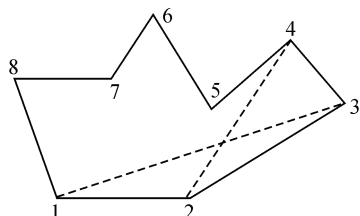


图 1 局部特征的选择

多边形的每一条边形状信息不够丰富，难以从中提取出对识别有效的特征，笔者将多边形每条边和它前后各一顶点联合考虑，每条边与它相邻的前后各一顶点连成 2 个三角形，以这 2 个三角形的同底面积比基元作为局部特征，这个局部特征具有较丰富的形状信息。组成这 2 个同底三角形的 4 个顶点外的其他顶点的变化不影响这个局部特征^[5]。

以多边形的每条边作为底边，该边的前后各一个顶点与该边组成 2 个三角形，计算这 2 个三角形的面积比。记连接顶点 $I, i+1$ (其中顶点 $n+1$ 与顶点 1 重合) 的边为第 i 条边，用 v_i 表示，其中 $i=1,2,\dots,n$, n 为多边形的顶点个数，用 I_i 表示以第 i 条边为底的与它前后两个顶点连接的 2 个三角形的面积比，即

$$I_i = \frac{S_{\Delta i-1,i,i+1}}{S_{\Delta i,i+1,i+2}} \quad (1)$$

同底面积比是一个局部不变量，与某条边相邻的 2 个顶点外的其他顶点位置的变化不影响这个不变量，所以可以用同底面积比实现部分遮挡平而多边形的识别，但是如果直接用同底面积比基元 I 进行目标识别，存在的问题是：在组成三角形的顶点中，如果有 3 点接近共线， S_i (三角形的面积) 的值就会接近于零，当以这个面积作为分母时，就会使得 I 的值很大，这时 I 会对图像的数字误差和特征点的提取误差相当敏感，影响不变量的可区分性。

针对这个问题，笔者引入如下函数：

$$L = \frac{e^I - 1}{e^I + 1} \quad (2)$$

因为 I 是仿射不变量，所以 L 也是仿射不变量。

L 随着 I 单调增加，且当 $I \rightarrow \infty$ 时， $L \rightarrow 1$ ，当 $I \rightarrow -\infty$ 时， $L \rightarrow -1$ 。当 I 在大的范围内变化时， L 随着 I 变化缓慢，这就使得当有三点接近共线时，不变量的变化范围限制在一个小的范围内。因此，可以用 L 代替 I 作为仿射不变量用来识别部分遮挡物体。

2 二维空间目标识别的具体实现

目标识别的过程一般为：从图像或图形中提取结构或者统计特征，与已知模型库中的模型相匹配，找到该物体所属的类别。整个过程可分成 3 个阶段：

1) 预处理阶段：对接收到的图像目标进行噪声滤除和图像分割，以便获得用于目标特征选择与计算的图像或者图形。

2) 特征提取阶段：从图像或图形中选择与抽取能反映目标基本形状与属性的特征，抽取的特征应遵循的原则：它使同一类目标的相似性大，不同目标的差异性大，这个阶段是物体识别的最为关键的阶段，所选择特征的好坏将直接影响到识别的结果。

3) 物体特征的自动分类阶段：根据抽取的特征，利用匹配策略实现物体描述和模型描述间的匹配，识别出图像中有什么类型的物体，并反映出物体在图像中的位置和方向。如果在识别中要利用有关目标的先验知识，则称为基于模型的目标识别^[6]。

笔者主要完成目标识别的前 2 个阶段即预处理与特征提取阶段。

从仿射几何的角度提取二维空间目标的仿射不变特征，具体设计流程如图 2 所示。笔者首先提取图像的边缘，在对角点进行检测的基础上，基于仿射不变定理求解出局部仿射不变量，最后将局部仿射不变量应用于图像的目标识别中。

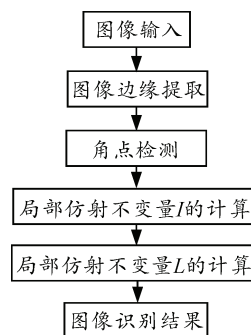
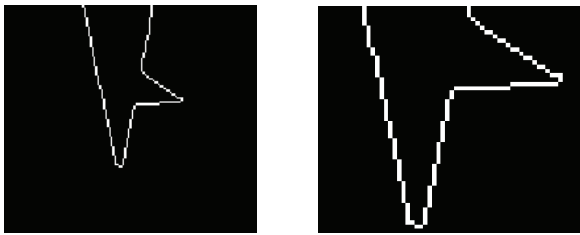


图 2 二维空间目标识别设计流程

直接利用图像的边缘，求解出局部仿射不变量不仅数据量大，而且没有实际价值，因此可以选取图像中具有特殊结构的点，如角点或连接点，这些点的结构在图像发生尺度、旋转等线性几何变换时保持不变，但角点或连接点的检测和准确定位往往依赖于检测算法的性能。

由于将目标放大后尺度变小，图像边缘不可避免会存在锯齿，如图 3 所示，这给角点提取带来了困难，可以综合使用下列 3 种算法来逐步排除锯齿点的干扰，最终找出目标边缘角点，为下一步提取特征不变量铺平道路。



(a) 大尺度下比较平整 (b) 小尺度下出现锯齿

图 3 不同尺度下的线段

算法一：计算面积。

计算图像边缘中每相邻 3 点坐标构成的面积并设定阈值，如果为边缘锯齿，相邻 3 点构成的面积较小，如果为边缘角点，相邻 3 点构成的面积较大，因此阈值设定合适时可以排除部分锯齿点。

算法二：去除同值坐标点。

由于角点与其相邻坐标点不会发生 X 轴或 Y 轴同值的现象，因此当图像边缘坐标集中相邻坐标点出现 X 轴或 Y 轴同值时，可判定为非角点予以排除。

算法三：计算斜率。

经过上述 2 种方法的处理已经可以筛选出大部分非角点，但仍有一些点未能排除，此时可分别求出余下的点集中相邻三点坐标斜率绝对值并进行比较，阈值设定合理时即可得出图像边缘角点坐标集。

3 Matlab 仿真过程

利用仿射几何性质的不变特征提取方法都需要对图像进行基元特征提取，利用所得到的点、线或区域等基元构造不变特征，因此特征量的性能在很大程度上依赖于基元特征提取算法。

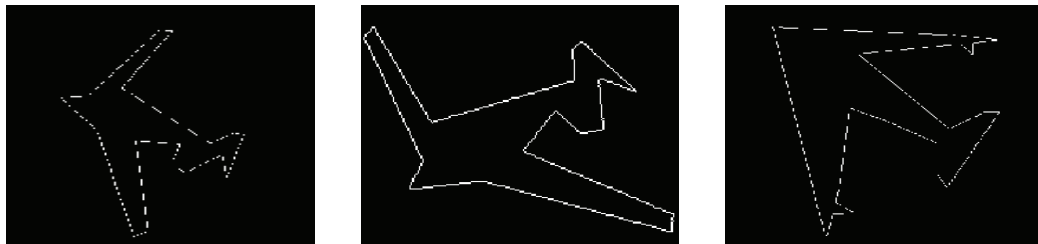
为了能够验证目标识别的准确性，首先提取飞机模型 1 的二值图像 1-A(图 4(a))，通过观察可以看出此模型有 17 个角点，然后将图像 1-A 经过扭曲、旋转、拉伸后得到图像 1-B(图 4(b))，最后再提取飞机模型 2 的二值图像 2-A(图 4(c))。



(a) 飞机模型 1-A (b) 飞机模型 1-B (c) 飞机模型 2-A

图 4 飞机模型原图

运用 Matlab 中的.M 函数 boundaries 将图像边缘转化为数组，提取图像边缘轮廓并用.M 函数 bound2im 重构图像。如图 5 所示。



(a) 飞机模型 1-A

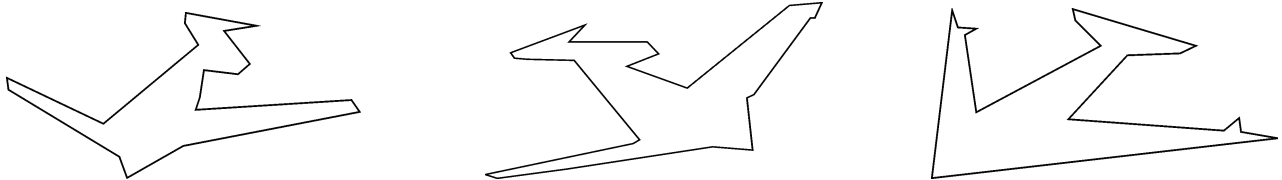
(b) 飞机模型 1-B

(c) 飞机模型 2-A

图 5 飞机模型边缘提取

通过针对角点提取问题介绍的 3 种算法，在 Matlab 中编写出对应具体程序，将 3 种算法综合运

用，可以提取出图像角点。角点集的重构图像如图 6 所示。



(a) 飞机模型 1-A

(b) 飞机模型 1-B

(c) 飞机模型 2-A

图 6 飞机模型角点集重构

采用改进局部不变量 L 来进行计算、比较、识别目标。

1) 从角点坐标集 $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 中，按顺序抽取 4 个顶点 $A_i, A_{i+1}, A_{i+2}, A_{i+3} (i=1, \dots, n)$ 并依次编号为 N_1, N_2, N_3, N_4 。

2) 以 N_2, N_3 为底边计算该 4 点组成的 2 个同底三角形面积比 I ，计算改进的不变量 L 。

3) 返回 1)，直到 $i=n-3$ 结束。

计算过程如图 7 所示。

分别对图像 1-A、1-B、2-A 中对应的每条特征边求不变量 L 并进行比较，所得结果见表 1、表 2。

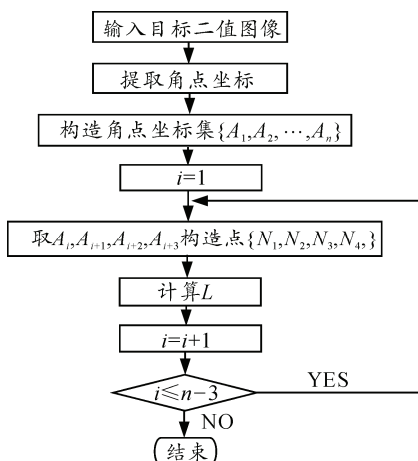


图 7 目标不变量提取流程

表 1 飞机模型 1-A 与 1-B 的不变量 L 比较结果

不变量 L	1-A	1-B	距离(ΔL)
L ₁	0.605 6	0.841 7	0.236 1
L ₂	0.511 1	0.535 6	0.024 5
L ₃	0.046 3	0.026 3	0.020 1
L ₄	0.963 4	0.947 2	0.016 2
L ₅	1.000 0	1.000 0	0.000 0
L ₆	0.084 4	0.188 6	0.104 2
L ₇	0.420 5	0.462 1	0.041 6
L ₈	0.318 1	0.296 7	0.021 4
L ₉	0.704 1	0.659 4	0.044 7
L ₁₀	0.664 3	0.681 1	0.016 8
L ₁₁	0.169 7	0.176 9	0.007 2
L ₁₂	0.115 5	0.104 4	0.011 1
L ₁₃	0.895 4	0.916 9	0.021 5
L ₁₄	0.372 7	0.394 8	0.022 1
L ₁₅	0.310 7	0.302 0	0.008 6
L ₁₆	0.872 0	0.787 3	0.084 7
L ₁₇	0.376 5	0.420 2	0.043 7

表 2 飞机模型 1-A 与 2-A 的不变量 L 比较结果

不变量 L	1-A	2-A	距离(ΔL)
L ₁	0.605 6	0.999 3	0.393 7
L ₂	0.511 1	0.692 0	0.180 9
L ₃	0.046 3	0.058 0	0.011 7
L ₄	0.963 4	0.099 1	0.864 3
L ₅	1.000 0	0.929 4	0.070 6
L ₆	0.084 4	0.999 4	0.915 0
L ₇	0.420 5	0.122 0	0.298 5
L ₈	0.318 1	0.532 6	0.214 5
L ₉	0.704 1	0.993 8	0.289 7
L ₁₀	0.664 3	0.024 7	0.639 6
L ₁₁	0.169 7	0.223 0	0.053 2
L ₁₂	0.115 5	1.000 0	0.884 5
L ₁₃	0.895 4	0.997 8	0.102 3
L ₁₄	0.372 7	0.227 6	0.145 1
L ₁₅	0.310 7	0.106 6	0.204 1
L ₁₆	0.872 0	0.011 2	0.860 8
L ₁₇	0.376 5	1.000 0	0.623 5

4 实验结果分析

分析表 1 与表 2 中的数据可以大致看出，对于同一个测试样本，不同仿射变换下的特征值近似相等，对于不同测试样本特征值差异性较大。

为了让实验结果更具说服力，增强应用性，将表 1 中 1-A 与 1-B 的所有不变量距离求平均得出平均距离 $L_{ab}=0.042 6$ ，同理可得出表 2 中 1-A 与 2-A 的平均距离 $L_{ac}=0.392 7$ 。可以看出，相同目标的不

变量平均距离很小，而不同目标的不变量平均距离较大。因此当阈值设定合理时就可以基本实现二维目标识别的目的。

为直观表示特征值之间的关系，将特征值绘制为折线形式，图中每个样本的特征值 L 用不同的符号表示，再将同一样本 17 个 L 值连成折线(图 8)。

从中可以看出，飞机模型 1-A、1-B 的特征值折线基本吻合，说明对于同一种模型，从其仿射变换形式中提取的特征值近似相等，特征之间的差异主要由仿射变换后生成新图像时的插值误差造成，证明了文中方法的有效性。同时，比较飞机模型 1-A、1-B 和 2-A 的特征折线可以看出，对于不同模型，特征值在折线形式及取值上都有较大差异，这种性能使得特征值 L 用于不同目标间的分类识别时能取得好的分类效果。

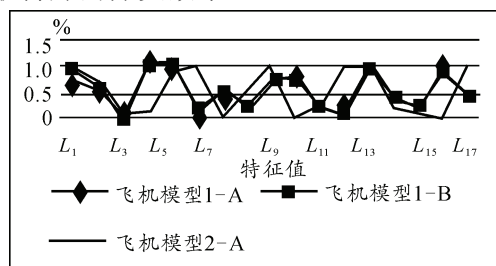


图 8 3 个样本的特征值折线

5 结束语

笔者从仿射几何的角度出发，在对仿射变换、仿射不变性进行研究的基础上，考虑到三点共线时 I 值变大，利用仿射不变性引入改进型仿射不变量 L，提出 3 种改进算法修正模型锯齿问题。通过模型仿真表明，文中算法能建立图像特征值比较模型。但对目标识别的第 3 阶段，即物体特征的自动分类阶段以及如何确定两幅图像目标的对应特征边应做深入研究。

参考文献：

- [1] 周娇, 李端明, 曹泰峰. 导弹图像特征提取算法及系统架构[J]. 兵工自动化, 2011, 30(3): 90-93.
- [2] 孙即祥, 等. 模式识别中的特征提取与计算机视觉不变量[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001: 187-206.
- [3] 姜文志, 顾佼佼, 胡文莹, 等. 基于多模型结合的军事命名实体识别[J]. 兵工自动化, 2011, 30(10): 90-93.
- [4] 张斌, 常雷, 童钟灵. 基于矩的图像归一化技术与 Matlab 实践[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(4): 75.
- [5] 孙即祥, 王晓华, 等. 模式识别中的特征提取与计算机视觉不变量[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001: 153-165.
- [6] 张桂梅. 完整和部分遮挡物体的识别机理和算法研究[D]. 博士学位论文. 北京: 国防工业出版社, 2006: 35-41.