

一种新的红外假目标示假效果评价方法

张品¹, 陈亦望^{1,2}, 戴蒙²

(1.解放军理工大学工程兵工程学院, 江苏南京210007, 2.解放军总参南京科技创新工作站, 江苏南京210007)

摘要: 提出一种新方法, 解决了红外图像中目标每个面的准确分解问题, 通过分解假目标图像综合数据评价假目标红外的示假效果。利用目标可见光曲率图像边界信息的易获得性分解目标图像, 获取目标可见光图像各面的边界坐标, 确定对应的目标红外图像各面边界。使用仿射不变矩实现对三维多面体假目标红外示假效果的综合量化评价。车辆目标评价实验表明, 该方法具有很好的有效性、可操作性和稳定性。

关键词: 图像分割; 曲率; 仿射不变矩; 效果评价

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8891(2010)03-0152-05

A New Method for Effect Evaluating of Infrared Decoys

ZHANG Pin¹, CHEN Yi-wang^{1,2}, DAI Meng²

(Engineering Institute of Corps Engineers, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China)

Abstract: A new evaluating method is proposed. The method resolve the problem how to disassemble each plane of target exactly. By segmenting the target image, we can synthesizing the data for effect of decoy in infrared band. This method achieves the coordinate of each plane edge of target's visible image by making use of the easy-achieving character of boundary of curvature image. The each plane of the target's IR image could be confirmed by the coordinate. Then the affine invariant moments were used to evaluate the effect of decoy in IR band. This method was effective, exercisable and steady proved by the test of car-targets.

Key words: image segmentation, curvature, affine invariant moments, Evaluation

引言

军事假目标红外示假效果的评价在军事红外伪装技术中具有重要意义。目前对假目标示假效果的评价方法多建立在人主观判断的基础上, 受心理影响大, 效率较低。近年利用计算机图像处理技术的客观评价方法, 对目标图像的获取环境、拍摄角度要求苛刻, 给伪装效果评价带来一定的困难。为此提出一种不受目标放置角度影响的假目标红外示假效果评价方法。如果将假目标看作多个平面组成的多面体, 就可将红外图像分解为以目标面为单位的一组图像分别处理, 综合评价假目标的红外示假效果。

但是由于目标的红外辐射在不同环境不同时间的状态是不断变化的, 难以区分每个面的边界, 所以无法直接从红外图像中准确分割出目标各个面。而利用可见光曲率图像边界信息的易获得性, 可以较准确的分割目标的各个面, 因此可以使用与红外图像拍

角度相同的可见光图像确定目标的面边界坐标, 得到目标多面体每个面的红外图像。

得到真、假目标对应面图像后, 通过仿射不变矩进行比较, 克服了拍摄角度不同的问题。三维物体在二维平面上的成像过程在数学上可以用透视变换来描述, 当目标与观察者的距离远大于目标的尺寸时, 二维仿射变换可以近似为透视变换。由于仿射不变矩具有对平移、旋转、尺度以及仿射变换的不变性, 可以运用于各种复杂条件下的目标识别^[1-3]。谢好婵^[4]、路鹰^[5]、李兴唐^[6]等人已将其成功运用到目标识别中。

仿射不变矩对于识别三维空间中的二维平面目标具有很好的效果, 但是对于三维物体, 因无法知道目标深度信息, 所以仅使用仿射不变矩无法达到很好的效果。但是, 对于由多个平面围成的三维多面体, 如果能得到每个面的图像, 就可以分别对多面体的每一个面使用仿射不变矩。通过结合仿射不变矩与红外三维目标的面分割方法, 将任意角度得到的假目标各

收稿日期: 2009-12-14.

作者简介: 张品, (1981-), 男, 博士研究生, 河北张家口人, 研究方向: 伪装数字化评价技术。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10372038); 总参科技创新资助项目。

面与同一时间拍摄到的真实目标各面的仿射不变矩相比较, 使用仿射不变矩作为红外假目标的示假效果的评价指标, 综合每个面的比较数据, 对假目标进行量化评价。

1 理论基础和判别方法

1.1 使用主曲率获得可见光图像面边界特征

军事目标绝大多数为多边形平面组成的多面体, 需要寻找一种有效的边界提取算法, 快速准确的将相邻面连接线找到。已有的边缘检测方法基本利用典型边缘检测算子, 每种边缘检测方法都是针对某个问题提出的, 提取的边缘线要么不连续, 要么噪声太多, 而且这些方法对图像光照强度的变化需要手动设置阈值, 没有一种方法能确定目标面边界的需求^[10]。

相邻面连接处的光学图像灰度变化明显, 曲率发生突变。本文使用基于曲面曲率的边缘检测方法提取相邻面的连接线, 准确分割出目标各面图像。该方法可以自动、完整的提取多面体的边界特征, 不需要任何的手动操作。田莹^[8]等已在车牌识别中证明该方法计算简单, 具有较强的实用性。

目标图像在三维灰度空间的分布可以看作是一个曲面, 曲面上位于边缘处的灰度变化较大, 因此该位置的曲率就会大于周围灰度变化平缓处的曲率。把曲面表示为 $z=f(x, y)$, 其中 (x, y) 是灰度图像的位置坐标, z 表示对应位置的灰度信息。在三维空间坐标系中, 图像中任意像素都可以用坐标 (x, y, z) 来表示。曲率图中边缘结构比基于梯度的方法得到的更加清晰, 进一步阈值化曲率图像, 即可得到目标图像各面的特征边缘。

1.1.1 曲率图像计算

曲面上最重要的曲率包括高斯曲率、平均曲率以及最大主曲率和最小主曲率, 用 f 表示 $f(x, y)$, 则曲面函数的一阶和二阶微商可分别表示为:

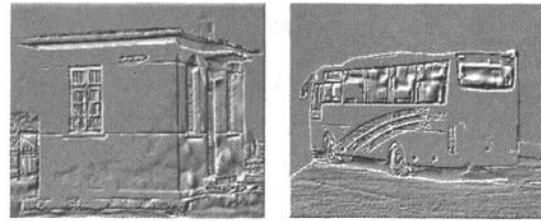
$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x}, \quad f_y = \frac{\partial f}{\partial y}, \quad f_{xx} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, \quad f_{yy} = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$
$$f_{xy} = f_{yx} = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}$$

曲面的法向量 n 以及高斯曲率 K 、平均曲率 H 、最大主曲率 k_1 和最小主曲率 k_2 可由曲面函数的微商表示为:

$$n = \frac{(-f_x, -f_y, 1)}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2}}, \quad K = \frac{f_{xx}f_{yy} - f_{xy}^2}{(1 + f_x^2 + f_y^2)^2}$$

$$H = \frac{1}{2} \frac{(1 + f_y^2)f_{xx} + (1 + f_x^2)f_{yy} - 2f_x f_y f_{xy}}{(1 + f_x^2 + f_y^2)^{3/2}}$$
$$k_1 = H + (H^2 - K)^{1/2} \quad (1)$$

由多项式拟合求灰度曲面微商值的近似值^[4], 并将求出的微商值代入式(1), 求出图像中每个像素点的高斯曲率和平均曲率, 继而求出主曲率 k_1 的值, 然后把 2 个主曲率值分别量化为灰度值则形成曲率图像, 如图 1 所示, 图中灰度越深表示曲率值越大。灰度图像中有较大的灰度突变处, 就是曲率 k_1 的局部极大值。根据曲率信息可以得到曲面较弯曲地方, 而目标曲率最大的地方恰好是各个多边形面的交线, 因此能较准确快捷的得到目标的各个面的边界特征。



(a)建筑物曲率图 (b)机动车曲率图

图 1 目标的曲率图像

Fig.1 Curvature image of targets

1.2 确定目标红外图像中各个面的边界

目标的红外图像只反映了目标的红外辐射出射度, 并不能清晰地分辨出目标各个面的边界。为了较精确的对假目标各个面的红外示假效果做出量评价, 必须较准确的得到目标各个面的红外分割图像。这里使用进行面的识别。由于从同一角度拍摄到的目标红外图像和可见光像是可以匹配的, 因此只要从同角度的可见光目标图像中得到某个面的边界坐标, 就可以据此坐标在红外图像中较精确的提取出目标某个面的红外图像。

1.3 仿射不变矩

文献[11]中已证明, 即使相似的目标其图像做各种扭曲变换后, 相似图像的实际仿射不变矩数值仅仅在理想数值曲线附近产生微小变化, 相似图像间的仿射不变矩依然存在明显差别, 可以清晰地将看似相似目标分辨出来。因此, 我们采用仿射不变矩作为评价红外假目标的数学理论依据, 假目标与真实目标间各对应面的仿射不变矩数值越接近说明假目标对真实目标的模拟越成功。

图像在几何上的各种变形可用数学变换形式描述或是近似。对于因二维平面在三维空间中旋转造成的几何变形用二维仿射变换来表示。正确识别三维空间的二维平面目标, 必须找出对二维仿射变换具有不

变性的特征量。仿射不变矩作为一种基于矩特征的特征量,对于二维仿射变换具有不变性,是一种比较经典的特征提取技术。Flusser 和 Suk^[7]在几何矩的基础上导出了具有仿射不变特性的仿射矩。这里给出基本几何矩的表达式。

区域 D 内图像函数 $f(x, y)$ 的 $p+q$ 阶原点矩为:

$$M_{pq} = \iint_D x^p y^q f(x, y) dx dy$$

区域 D 内图像函数 $f(x, y)$ 的 $p+q$ 阶中心矩为:

$$u_{pq} = \iint_D (x - x_0)^p (y - y_0)^q f(x, y) dx dy$$

式中: (x_0, y_0) 为图像重心 $\begin{cases} x_0 = M_{10} / M_{00} \\ y_0 = M_{01} / M_{00} \end{cases}$ 。

所导出的仿射不变矩的表达式:

$$F_1 = (u_{20}u_{02} - u_{11}^2) / u_{00}^4,$$

$$F_2 = \frac{\begin{bmatrix} -u_{30}^2 u_{03}^2 + 6u_{30}u_{21}u_{03} \\ -4u_{30}u_{12}^3 - 4u_{21}^3 u_{03} + 3u_{21}^2 u_{12} \end{bmatrix}}{u_{00}^6}$$

$$F_3 = \frac{\begin{bmatrix} u_{20}(u_{21}u_{03} - u_{12}^2) \\ -u_{11}(u_{30}u_{03} - u_{21}u_{12}) \\ +u_{02}(u_{30}u_{12} - u_{21}^2) \end{bmatrix}}{u_{00}^7}$$

$$F_4 = [u_{20}^3 u_{03}^2 - 6u_{20}^2 u_{11}u_{12}u_{03} - 6u_{20}^2 u_{02}u_{21}u_{03} + 9u_{20}^2 u_{12}^2 + 12u_{20}u_{11}^2 u_{21}u_{03} + 6u_{20}u_{11}u_{02}u_{30}u_{03} - 18u_{20}u_{11}u_{02}u_{21}u_{12} - 8u_{11}^3 u_{30}u_{03} - 6u_{20}u_{02}^2 u_{30}u_{12} + 9u_{20}u_{02}^2 u_{21}^2 + 12u_{11}^2 u_{02}u_{30}u_{12} - 6u_{11}u_{02}^2 u_{30}u_{12} + u_{20}^3 u_{03}^2] / u_{00}^{11}$$

$$F_5 = [u_{40}u_{04} - 4u_{13}u_{31} + 3^2_{22}] / u_{00}^6$$

$$F_6 = [u_{40}u_{04}u_{22} + 2u_{31}u_{22}u_{13} - 4u_{40}u_{13}^2 - 4u_{04}u_{31}^2 - u_{22}^3]$$

1.4 红外多面体识别步骤

三维多面体的定义是:由有限个空间平面围成的三维物体。假定多面体目标为 A ,以特征集 T 表示目标 A 所有表面特征 $S_i(F)$ 的集合。

$$T = \{S_i(F) | i=1, \dots, n\}$$

式中: n 为总面数,目标的每一个面特征 $S_i(F)$ 其中 F 表示面 S 的平面特征。在这里我们使用仿射不变矩 F 作为其平面特征。

按照以下步骤进行评价:

1) 采集三维真、假目标同一时间的可见光、红外图像;

2) 因为曲率的计算包含二阶导数^[9],为了得到鲁棒性的特征提取结果,用我们较早提出的方法^[12]消除图像噪声点;对相同角度拍摄的可见光图像进行曲率计算,产生曲率图像;

3) 使用我们较早提出的方法^[13]对曲率图像进行目标各面的边界提取,寻找边界拐点,拐点既是多边形各条边的端点,从而确定目标的可见光图像面边界。

4) 将获得的各面边界坐标匹配于目标红外图像之上,提取目标各个面的红外图像。

5) 提取真、假目标各个面的红外图像后,分别计算红外目标各个面的放射不变矩,建立仿射不变矩集 $S_i(F)$,比较真、假目标各个面的不变矩差别。假目标与真目标红外图像各个面间的仿射不变矩越接近,假目标的红外示假效果越好。分别比较两个面的仿射不变矩差别,综合两个面的比较结果,对假目标的红外示假效果作出评价。

2 试验

1) 使用民用车辆假目标图像进行实验。计算曲率,分别得到曲率图像,如图 2。

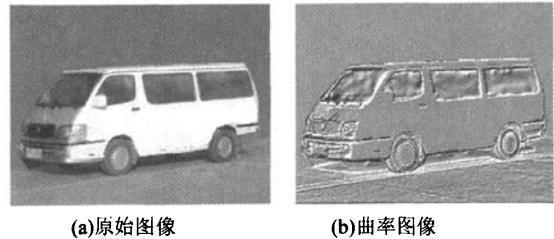


图 2 目标曲率图像

Fig.2 Original image and Curvature image

2) 提取曲率面边界,获得对应的红外图像面边界坐标,如图 3。

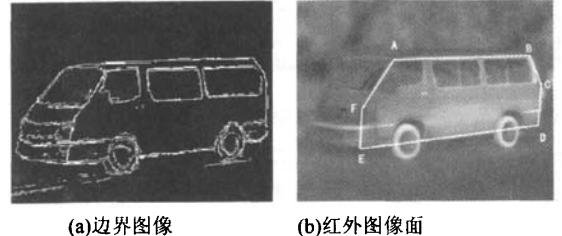


图 3 目标边界图像

Fig.3 Edge image and Surface edge of IR image

3) 选取对应的目标红外图像面,如图 4。

4) 比较真假目标对应的面的仿射不变矩,表 1

为汽车真目标各个面的仿射不变矩,表2为汽车假目标I各个面的仿射不变矩,表3为汽车假目标II各个面的仿射不变矩。

5) 比较假目标与真目标个个面的红外图像仿射不变矩的差异,如图5。

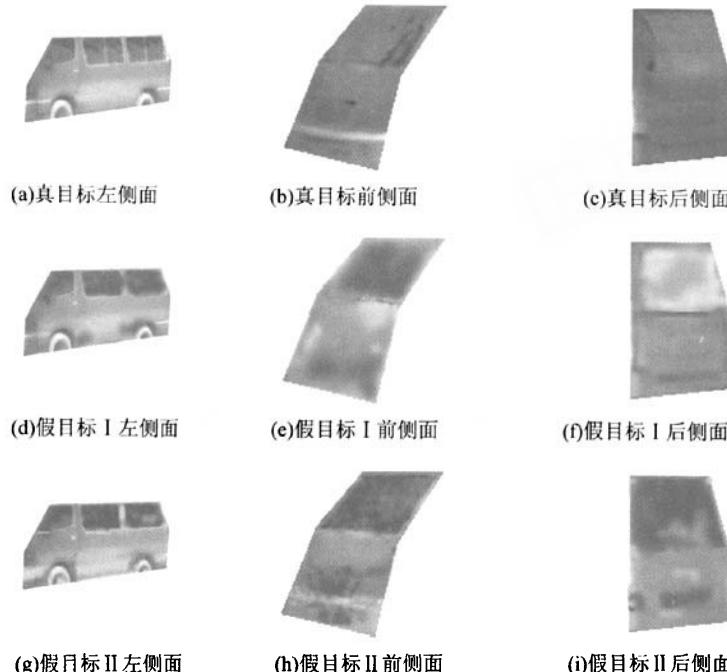


图4 获取的目标红外图像面

Fig.4 Every surface of targets

表1 真目标各面的仿射不变矩

Table 1 Affine moment invariants of each surface of real target

	$F_1/10^{-4}$	$F_2/10^{-4}$	$F_3/10^{-4}$	$F_4/10^{-4}$	$F_5/10^{-4}$	$F_6/10^{-4}$
A1	5.174	-1.732	-2.179	4.383	8.796	6.741
A2	6.835	-1.537	-1.946	4.128	8.221	7.013
A3	8.793	-2.684	-3.589	6.697	9.508	9.274

表2 假目标I各个面的仿射不变矩

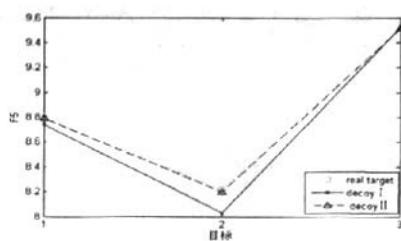
Table 2 Affine moment invariants of each surface of decoy I

	$F_1/10^{-4}$	$F_2/10^{-4}$	$F_3/10^{-4}$	$F_4/10^{-4}$	$F_5/10^{-4}$	$F_6/10^{-4}$
A1	5.231	-1.753	-2.442	4.379	8.743	6.712
A2	6.339	-1.642	-1.799	4.102	8.029	6.993
A3	8.547	-2.629	-3.556	6.664	9.524	9.105

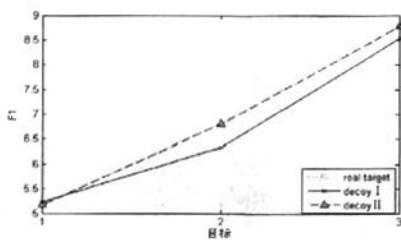
表3 假目标II各个面的仿射不变矩

Table 3 Affine moment invariants of each surface of decoy II

	$F_1/10^{-4}$	$F_2/10^{-4}$	$F_3/10^{-4}$	$F_4/10^{-4}$	$F_5/10^{-4}$	$F_6/10^{-4}$
A1	5.171	-1.729	-2.170	4.378	8.789	6.704
A2	6.802	-1.541	-1.939	4.120	8.203	7.009
A3	8.776	-2.693	-3.592	6.692	9.513	9.269



(a) F_1 的比较



(b) F_3 的比较

图 5 真目标与假目标 I、II 的仿射不变矩比较

Fig.5 The affine invariant moments of real target contrasts with decoy I and decoy II

通过实验数据可以看出,假目标II与真目标红外图像各个对应面仿射不变矩更为接近,说明假目标II的红外示假效果较假目标I要好。经过3组较有经验的判读人员对实验图像进行判读,证明了假目标II更接近真实目标的红外特征,具有更好的示假效果。说明了本文方法的有效性。

3 结论

针对分辨率较高的大目标图像,运用曲率寻找目标面边界的方法,结合前期的边界提取算法,可以得到准确、清晰、光滑、连通性好的面边缘,且受光照强度变化的影响较小,较真实地反映了原图像的面边界结构特征。通过实验评价结果表明,在不同视角,不同的尺度的情况下,基于仿射不变矩的判别算法都能很好的对假目标的红外示假效果图进行较精确的分析,不需要真、假目标图像的拍摄角度完全相同,具有较好鲁棒性,较易从二维图像中判别出三维多面体真、假目标对应面中的差别。该方法也有一定局限性,对分割具有一定要求,所以当可见光图像亮度不同或者红外图像分辨率不够、图像比较模糊的情况下就会对识别产生很大的影响。但由于假目标评价时一般在背景相对单调,光照较正常的实验场所中进行,因此该方法具有较好的有效性和稳定性。

参考文献:

- [1] J. Flusser, T. Suk. A moment-based approach to registration of images with affine geometric distortion[J]. *IEEE Trans. Geosci Remote Sensing*, 1994, 32: 382-387.
- [2] J. Flusser, T. Suk. A Moment-Based Approach to Registration of Images with Affine Geometric Distortion[J]. *IEEE Transactions on Geo Science and Remote Sensing*, 1994, 32(2): 382-387.
- [3] Bassam, Bamieh, Rui J. P. de Figueiredo, A general moment-invariants-attributed-graph-method for three-dimensional object recognition from a single image[J]. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1986, RA-2(1): 71-80.
- [4] 谢好婵. 空中回转体目标识别算法的研究[J]. 传感器与微系统, 2008, 27(10): 66-69.
- [5] 路鹰, 张天序, 史继川. 基于仿射不变矩的三维多面体特征匹配识别[J]. 计算机与数字工程, 2007, 35(10): 104-106.
- [6] 李兴唐, 肖立华, 王思雯. 仿射变换的飞行器识别[J]. 光学精密工程, 2009, 17(2): 402-408.
- [7] J. Flusser, T. Suk. Pattern recognition by affinemoment invariants[J]. *Pattern Recognition*, 1993, 26: 167-174.
- [8] 田莹, 苑玮琦. 基于曲面上曲率的人耳结构特征提取方法[J]. 光电工程, 2008, 35(4): 98-102.
- [9] 孙家广. 计算机图形学: 第三版[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998: 366-390.
- [10] 杨莉, 杨华. 红外假目标关键技术及其应用[J]. 红外技术, 2006, 28(9): 531-534.
- [11] 基于飞机目标的仿射不变矩研究基于飞机目标的仿射不变矩研究[J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2003,(S1): 36-38.
- [12] 陈亦望, 张品, 傅强. 一个基于 Hausdorff 距离的图像消噪新方法[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版. 2008(5):42-43.
- [13] 陈亦望, 张品, 傅强. 基于 HAUSDORFF 距离的红外假目标客观评价方法[J]. 红外技术, 2008, 29(1): 21-23.