

# 基于三阶累积量的图象特征提取新方法

唐文彬 郝重阳 张宇

(西北工业大学电子与信息工程研究所, 西安 710072)

**摘要** 利用高阶累积量(HOS)的性质推导出了根据三阶累积量求图象特征集的“不变性”算法。得出的二维特征集,不但具有对图象的平移、旋转和比例变化的不变性、对附加高斯噪声的抑制作用、不存在相位丢失问题(它是关于图象信息的全描述),而且不需要进行对数坐标的傅氏变换,因而计算简化、实时性高。仿真试验结果证明了该方法的有效性。

**关键词** 三阶累积量, 平移、旋转和比例变化不变性, 特征提取, 目标识别

## 1 引言

有效的图象矢量的构造与特征的提取,是目标识别的一个重要手段和前提。而基于高阶累积量的图象特征矢量构造与特征的提取,又是其中一个新的研究方向。

传统的目标识别方法往往具有这样那样的弊端或缺憾。最流行、最广泛使用的匹配滤波法,在有白色高斯噪声的一维和二维信号处理中有良好的效果。但如果信号有一个未知的位移甚至被旋转或进行比例变换,该方法的使用便受到很大的限制;另外一种方法,利用图象的二阶三阶矩导出并证明了7个不变矩组具有对图象平移、旋转和比例变化的不变性,但不具备对高斯噪声的抑制性;还有:Casasent通过傅立叶变换保持图象平移不变性、通过对数一极坐标变换实现图象的旋转和比例变化不变性。但变换产生的结果不在笛卡尔坐标空间,且有相位信息丢失的问题;H. J. Dohse利用对数一极坐标变换进行的目标识别获得了图象的旋转和比例变化不变性,却牺牲了图象平移不变性;G. H. Ganland用表示图象边缘信息的傅立叶变换描绘子实现了三种不变性,但不能区分具有相同边界的目标;通过对图象信

号的能量谱、圆函数的展开而获得的原灰度分布值的二次信号,也具有一定的不变性,但是由于二次信号不同程度地丢失了图形的几何特征,使这类方法的应用也受到了限制。

本文从三阶累积量函数的两个偏置矢量的分布特征出发,利用HOS的性质推导出求图象特征集的算法,由此而得出的作为识别依据的图象特征变换集合,不仅具有对图象平移、旋转和比例变化的不变性,对高斯噪声的抑制作用,不丢失图象的相位等信息,而且,还克服了参考文献中需对对数坐标进行傅氏变换的计算复杂缺点,从而使计算量大大减少、实时性大大提高。仿真试验证明该方法的特征提取效果足够好,是一种实时性好的特征提取新方法。对战场环境目标识别尤为有利。

## 2 基于三阶累积量的图象特征提取方法的提出

### 2.1 不变性算法的导出

设 $h(x, y)$ 为二维决定性离散图象信号,能量有限。图象尺寸为 $N \times N$ ,即 $x, y \in [0, 1, \dots, N-1]$ 。则其三阶累积量函数的表达式可定义为

\* 航空科学基金资助课题(No. 95D53040)

收稿日期:1997-12-30;收到修改稿日期:1998-04-27

$$h_3(I_1, I_2) = \sum h(I)h(I+I_1)h(I+I_2) \quad (1)$$

这里  $I_1 = (x_1, y_1)^t; I_2 = (x_2, y_2)^t$  是两个独立的偏置矢量。

若在二维图象域内产生了位移  $d$ , 现在考虑  $s(I) = h(I+d)$  其三阶累积量的表达式为

$$s_3(I_1, I_2) = h_3(I_1+d, I_2+d) = \sum h(I+d)h(I+d+I_1)h(I+d+I_2) \quad (2)$$

比较式(1)与式(2)可以发现

$$s_3(I_1, I_2) = h_3(I_1, I_2) \quad (3)$$

经过三阶累积量的计算已消除了位置平移的影响。

若图象既有平移, 又有旋转和比例变化, 即

$$s(I) = h(MI+d) \quad (4)$$

$$M = k \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) & -\sin(\theta_0) \\ \sin(\theta_0) & \cos(\theta_0) \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中  $k$  为幅度变化因子,  $\theta_0$  为角度变化因子。则

$$s_3(I_1, I_2) = h_3(MI_1+d, MI_2+d) = h_3(MI_1, MI_2) \quad (6)$$

均转化为极坐标表示, 即

$$s_3([\rho_1, \theta_1], [\rho_2, \theta_2]) = h_3([k\rho_1, \theta_1+\theta_0], [k\rho_2, \theta_2+\theta_0]) \quad (7)$$

对式(7)的两端在  $\rho_1$  轴  $\rho_2$  轴上进行积分得

$$s_j([\rho_1, \theta_1], [\rho_2, \theta_2]) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} s_3([\rho_1, \theta_1], [\rho_2, \theta_2]) d\rho_1 d\rho_2 \quad (8)$$

$$h_j([\rho_1, \theta_1, \theta_2], [k\rho_2, \theta_2+\theta_0]) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} h_3([k\rho_1, \theta_1+\theta_0], [k\rho_2, \theta_2+\theta_0]) d\rho_1 d\rho_2 \quad (9)$$

$$s_j(\theta_1, \theta_2) = h_j(\theta_1+\theta_0, \theta_2+\theta_0)/k^2 \quad (10)$$

该式把对极轴的比例变化转化到二维信号的取值上, 可以通过归一化处理消除其不同。接着极角取一定的量化等级, 把极角量化化分为若干个离散值, 把式(10)的两端按照极角量化的离散值进行傅立叶变换, 根据二维离散信号傅立叶变换的平移性质得

$$SJ_3(\Theta_1, \Theta_2) = (HJ_3)(\Theta_1, \Theta_2) \times \exp(j2\pi(\Theta_1 + \Theta_2)\theta_0)/k^2 \quad (11)$$

观察上式两端便可得出以下结论:

(1)对于相同的角频率值, 上式的两端的模值仅相差  $k \times k$  倍, 可以通过归一化处理消除。说明通过归一化处理后式(11)两端的模值在相同的角频率值是相等的。由此我们可以利用幅值信息构造特征变换集合。

(2)式(11)的两端的相位角的差值为

$$d\omega = \omega_{SJ} - \omega_{HJ} = 2\pi(\Theta_1 + \Theta_2)\theta_0 \quad (12)$$

由该式看出两个信号的相位角不相等, 而且其差值随变量  $\Theta_1, \Theta_2, \theta_0$  而变化, 说明该方法保留了相位信息。对  $d\omega$  求二阶偏导数得

$$\frac{\partial^2 d\omega}{\partial \Theta_1^2} = \frac{\partial^2 d\omega}{\partial \Theta_2^2} = \frac{\partial^2 d\omega}{\partial \Theta_1 \partial \Theta_2} = \frac{\partial^2 d\omega}{\partial \Theta_2 \partial \Theta_1} = 0 \quad (13)$$

表明也可以利用相位信息构造特征变换集合构造相位角二阶偏导数矩阵

$$Z = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 d\omega}{\partial \Theta_1^2} & \frac{\partial^2 d\omega}{\partial \Theta_1 \partial \Theta_2} \\ \frac{\partial^2 d\omega}{\partial \Theta_2 \partial \Theta_1} & \frac{\partial^2 d\omega}{\partial \Theta_2^2} \end{bmatrix}$$

### 2.2 不变性特征集合的导出

现在利用幅值信息和相位信息来构造特征变换集合。定义是一个对原始图象的平移、旋转和幅值的变化具有不变性的特征集合

$$L = \{Q(\Theta_1, \Theta_2), Z\} \quad (15)$$

其中  $Q(\Theta_1, \Theta_2)$  是上述方法中得到的经过角度傅立叶变换的归一化幅值信息, 是特征集合中的相位信息, 即相位角二阶偏导数矩阵。但是在实际操作过程中, 一般的导数计算常用数字差分来近似, 这种方法的计算量很大, 实际应用较难实现, 且由于在实际目标识别过程中, 所识别的对象为有限个具有稳定几何特征的目标, 利用特征集合中的幅值信息即可基本保证识别出目标, 且大大节省计算量, 故略去特征集合中的相位信息。简化后的特征变换集合为

$$L = \{Q(\Theta_1, \Theta_2)\} \quad (16)$$

到此, 便可根据特征变换集合实现平面平移, 旋转和比例变化不变性的原理, 按照下述步骤构造出不变性集合:

- (1)计算图象基于两个偏置矢量  $I_1, I_2$  的三阶累积量的值。
- (2)化各偏置矢量的直角坐标形式为极坐标形式。
- (3)对各自极轴进行积分。
- (4)对各自极角离散化取值, 进行傅立叶变换。
- (5)取出幅值信息构造特征变换集合式(16)所示  $L$ 。

## 3 利用不变性集合进行图象特征提取和识别的计算机仿真

### 3.1 图象特征提取仿真

利用图象数据对特征变换集合  $L$  关于图象平面平移、旋转和比例变化不变性提取出目标图象的特

征,以便结合常规模式识别方法进行具体目标图象的识别。目标图象的不变性特征集合与识别的计算机仿真结果如图1所示。其中(a)对飞行器目标原始灰度级图象附加高斯噪声后的图象,(d)为(a)的特征变换集合  $L$  的分布;(b)为对飞行器目标原始灰度

级图象进行平移、旋转和比例变化后的图象,(e)为(b)的特征变换集合  $L$  的分布;(c)为与(a)形状比较相似的另外一种飞行器目标原始灰度级图象,(f)为(c)的特征变换集合  $L$  的分布。

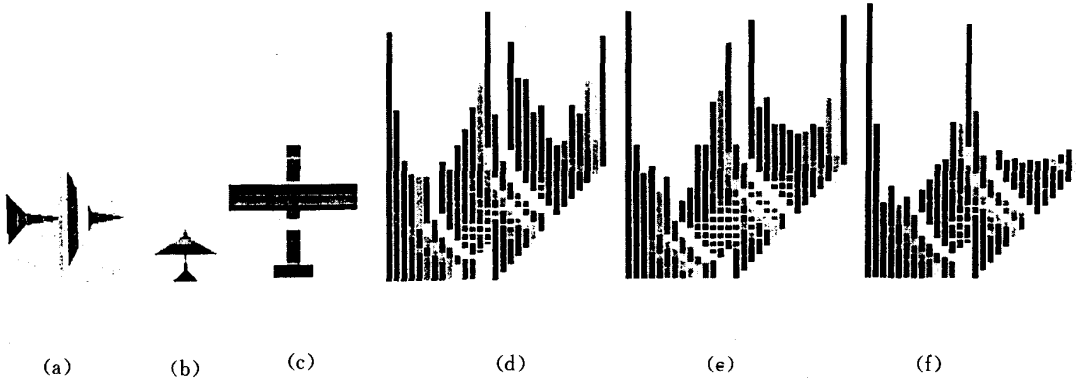


图1 飞行器目标的灰度级图象及其不变性变换集合图

从仿真结果可以看出:

(1)(e)和(d)很相近,足够好地体现了与本文推导结果的一致性 — 特征变换集合  $L$  具有三个不变性。

(2)(e)和(d)的相近,也同时说明该特征变换集合  $L$  确实对高斯噪声有抑制作用,与理论分析<sup>[5]</sup>一致。

(3)由(f)与(d)、(e)的对比可知,本文方法抑制作用对目标形状反应明显,故有利于很好地进行目

标识别。

### 3.2 飞机目标识别仿真

如图2所示,三种飞机对应的各自的不变性特征集合量不同的。由此实际目标的不变性变换集合图可以看出不同的不变性特征集合的确表征不同的目标,用这种方法进行目标识别是可行的。

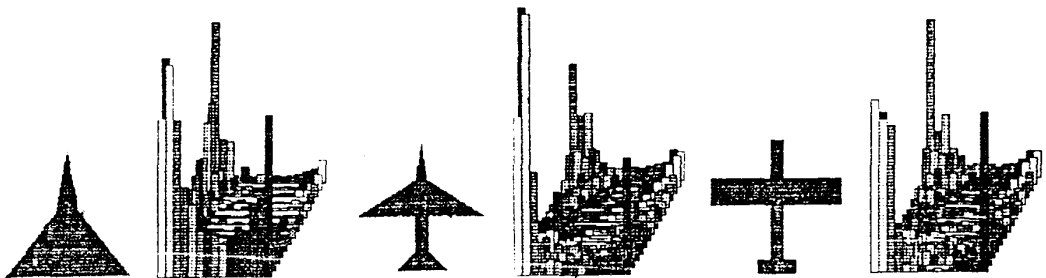


图2 三种飞机的二值图象及其不变性变换集合图

## 4 结论

利用三阶累积量来提取二维目标图象的特征,具有平面平移、旋转和比例变化不变性以及高斯噪声的抑制作用,是一种有效的目标特征提取和识别新方法。

## 参考文献

- 1 Michail K. Tsatsanis, Georgios, B. Giannakis. Object and Texture Classification Using Higher Order Statistics. *IEEE Trans on pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1992, 14(7): 733~750.
- 2 Ganland G H. Fourier Preprocessing for Handprint Character Recognition. *IEEE Tans on Computer*, 1972, C-21, (2): 195~200.

- 3 Fukushima K, Migake S, Ito T. Neocognitron. A Neural Model for a Mechanism of Visual Pattern Recognition. *IEEE Trans on Sys, Man and Cytb*. 1983,13(5):826~834.
- 4 郭东等. 基于三阶自相关的图象不变性变换研究. *中国图象图形学报*, 1997,2(1):25~30.
- 5 张贤达著. 时间序列分析—高阶统计方法. 北京:清华大学出版社, 1996:17~24.



**唐文彬** 1998年4月于西北工业大学获信号与信息处理学科硕士学位,其硕士论文被西北工业大学研究生院评为优秀论文。现在浙江大学计算机系攻读博士学位。感兴趣的领域是图象处理、数据融合、人工智能等。已发表论文3篇。



**郝重阳** 西北工业大学电子与信息工程研究所所长、教授。曾在德国合作研究,为德方客座教授。兼任中国图象图形学学会常务理事,《中国图象图形学报》、《数据采集与处理》编委等职。感兴趣的领域是图象工程、信号处理等。



**张宇** 西北工业大学“硕士—博士连读”研究生。感兴趣的领域是图象图形工程、虚拟现实和信号处理等。已发表“基于二维子带分解的图象边缘检测”等论文。

## A Novel Method for Extracing Image Feature Based on Triple Cumulation

Tang Wenbin, Hao Chongyang, Zhang Yu

(*Electronic and Information Engineering Institute, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072*)

**Abstract** Phenomenon of missing often occur at the description of images by corrleration function with order 1 and 2. However, the triple cumulation of 2-D images, which possess translation invariance and insensitivity to gauss noise, is a complete representation of images. In this paper, a new algorithm based on the propertes of translation invariance and insensitivity to gauss noise is suggested for the extraction of feature vector from images. The feature vector can be used for target recognition for the reason that it is invariance of shift, rotation and scaling. The simulation experiments are carried out to show the effectiveness of the new method.

**Keywords** Triple cumulation, Translation, rotation and scaling invariance, Feature abstraction, Target recognition

## 1999年《计算物理》征订单

《计算物理》于1984年创刊,是北京应用物理与计算数学研究所主办的计算物理学科的学报。由《计算物理》编辑部编辑、出版、发行。《计算物理》旨在反映计算物理学科的新方法、新成果、新进展,促进国内外学术交流,开展学术讨论,跟踪学科前沿,发展我国的计算物理事业,为社会主义四个现代化服务。

《计算物理》被我国第一部具有较高权威性的《中文核心期刊要目总览》列为物理学类核心期刊。刊登的主要内容是使用第三手段研究物理、化学、生物、工程、力学、原子能、气象、地质、海洋、石油、航天、医学、能源、经济等方面问题所得到的研究成果及学术论文,此外,还刊登学术研究简报、有关诸物理方面的软件介绍等。

《计算物理》以各学科借助电子计算机进行科学研究与探索的科学研究人员、工程技术人员、高等院校师生和研究生为对象。

《计算物理》双月刊,每期定价8元,全年六期,刊费48元。欢迎单位和个人及时订阅。

刊费邮汇寄:北京8009信箱《计算物理》编辑部(邮政编码100088)

或信汇:单位名称:北京应用物理与计算数学研究所

开户行:中国工商银行北京分行营业部 帐号:881319-92