

# 基于特征向量的 SAR 图像目标识别方法研究

王义敏, 秦永元, 安锦文

WANG Yi-min, QIN Yong-yuan, AN Jin-wen

西北工业大学 自动化学院, 西安 710072

College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

E-mail: mywhyah@126.com

WANG Yi-min, QIN Yong-yuan, AN Jin-wen. Target recognition in SAR images based on feature vector. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(30): 186-188.

**Abstract:** Hu moment invariants, describe the characteristics of the region, are widely used in pattern recognition. However, due to image noise, especially speckle noise in SAR images, Hu moment invariants no longer maintain its perfect performance. Accordingly, in this paper, a novel feature vector which combines Hu moment invariants and four affine moment invariants and gray peak, mean and variance coefficient of target area in SAR images is proposed. The feature vector not only describes target regional shape but also characterizes gray statistical distribution of local target region in SAR images. The simulations of target recognition and classification in two different resolution SAR images preferably indicate that the feature vector is effective and acquires high target recognition performance.

**Key words:** SAR image; feature extraction; classification and recognition

**摘要:** 用于描述区域特征的 Hu 矩不变量在模式识别中得到广泛使用。然而在噪声影响下, 尤其是 SAR 图像中严重的相干斑噪声, Hu 矩不变量不再保持其完美的性能。以 Hu 七个矩不变量为基础, 结合 SAR 图像的特点, 引入四个仿射矩不变量和 SAR 图像中目标区域的峰值、均值和方差系数, 构成 SAR 图像中目标识别的特征向量。该特征向量体现了 SAR 图像区域目标的形状特征和区域的灰度信息。通过对两种不同分辨率下的 T72 坦克 SAR 图像的目标识别仿真实验, 均获得了较好的目标识别效果, 说明所选取的 SAR 图像目标识别的特征向量是有效的, 具有较强的目标识别性能。

**关键词:** SAR 图像; 特征选择; 目标识别和分类

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.30.057 **文章编号:** 1002-8331(2008)30-0186-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

## 1 引言

目前用于对目标进行分类识别的特征包括矩不变量<sup>[1]</sup>、Fourier 描述子<sup>[2]</sup>、Hough 变换<sup>[3]</sup>、形状矩阵<sup>[4]</sup>等。这些特征量对平移、旋转和伸缩变换所求取的特征都能保持不变。相对于描述边界的算子(如 Fourier 描述子), 矩不变特征量包含了区域的全部信息, 因而是模式识别中应用最广泛的模式特征。但是, 矩不变量存在在图像噪声的影响下, 尤其是 SAR 图像存在有强的相干斑噪声的条件下, 所求得的 SAR 图像区域目标的 Hu 矩不变量无法保证其不变性的特点。因此单纯依靠 Hu 矩不变量实现对 SAR 图像目标的识别是不稳定的, 还应该根据 SAR 图像的特点和目标的表征形式, 选取其它有效的特征量。

SAR 主要反映了观察区域目标的两类特性: 电磁散射特性和结构特性。对于同一区域目标的 SAR 图像, 一方面由于 SAR 成像条件和几何关系的影响, 即使对于同类目标, 其所成的 SAR 图像会产生较大的灰度变化和差异。另一方面由于受到 SAR 相干成像过程中产生的斑点噪声的影响, 同类目标区域的

灰度值在某一均值上也会发生很大的变动。使得 SAR 图像表现出比光学图像更多的灰度细节和信息。因此在对 SAR 图像目标的识别中, 不仅要目标区域的形状特征进行描述, 而且还需要对 SAR 图像的目标灰度信息进行有效的描述。

本文针对多 T72 坦克的 SAR 图像, 在 Hu 七个不变矩特征的基础上, 引入反映仿射不变特征的四个仿射不变矩以及反映 SAR 图像中目标区域灰度变化的峰值、均值和方差系数, 从而组成目标识别的特征向量, 在相应的判决准则下, 对 T72 坦克的 SAR 图像进行识别。

## 2 特征向量和判决准则的选取

基于特征量的模式识别方法主要包括两大步骤: 一是提取可表示模式的特征量, 二是在特定的分类准则下, 确定待识别目标所属的类。

### 2.1 特征向量的选取

矩是用来描述归一化的灰度级图像目标区域的统计属性

**基金项目:** 国家部委预研基金资助项目(the Pre-Research Foundation of China Ministries and Commissions)。

**作者简介:** 王义敏(1968-), 男, 博士, 研究方向: SAR 图像中的目标检测、识别和跟踪。

**收稿日期:** 2007-11-29

**修回日期:** 2008-01-11

的物理量,中心矩 $\mu_{pq}$ 是描述物体区域 $R$ 中灰度重心分布的度量。对于二维( $N \times M$ )的数字图像 $g(x,y)$ ,其 $p+q$ 阶规格化的中心矩 $\eta_{pq}$ 的定义为:

$$\eta_{pq} = \mu_{pq} / \mu_{00}^r \quad (1)$$

这里 $r=(p+q+2)/2, p+q=2,3,\dots, \mu_{pq}$ 为:

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q g(x,y) \quad (2)$$

其中 $\bar{x}, \bar{y}$ 表示区域重心(质心)的坐标,可以由下式确定:

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (3)$$

在规格化中心矩的基础上,Hu 提出一套具有尺度不变性、平移不变性和旋转不变性的矩不变量<sup>[4]</sup>,即 Hu 不变矩量组:

$$\begin{cases} \phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \\ \phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ \phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} - \eta_{03})^2] \\ \phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \phi_7 = (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} - \eta_{03})^2] + \\ (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{cases} \quad (4)$$

Hu 七个矩不变量在无噪声的情况下具有完美的不变特性,但是,在有噪声的情况下,求得的矩不变量并不是严格不变的。由于 SAR 图像中斑点噪声的存在,Hu 不变矩很难保持相对的稳定性,受到各种不同成像条件的影响,而且 Hu 不变矩特征对于仿射变换不再保持其不变性的特点,因而引入反映仿射不变特征的矩不变量组<sup>[5]</sup>,定义如下:

$$\begin{cases} I_1 = (\mu_{20}\mu_{02} - \mu_{11}^2) / \mu_{00}^4 \\ I_2 = [\mu_{03}^2\mu_{30}^2 - 6\mu_{30}\mu_{21}\mu_{12}\mu_{03} + 4\mu_{30}\mu_{12}^2 + 4\mu_{21}^3\mu_{03} - 3\mu_{21}^2\mu_{12}^2] / \mu_{00}^{10} \\ I_3 = [\mu_{20}\mu_{21}\mu_{03}\mu_{12}^2 - \mu_{11}(\mu_{30}\mu_{03} - \mu_{21}\mu_{12}) + \mu_{02}(\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{21}^2)] / \mu_{00}^7 \\ I_4 = (\mu_{20}\mu_{03}^2 - 6\mu_{20}\mu_{11}\mu_{12}\mu_{03} - 6\mu_{20}\mu_{02}\mu_{21}\mu_{03} + 9\mu_{20}\mu_{02}\mu_{12}^2 + \\ 12\mu_{20}\mu_{11}\mu_{21}\mu_{03} + 6\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{03} - 18\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{21}\mu_{12} - \\ 8\mu_{11}^3\mu_{03}\mu_{30} - 6\mu_{20}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} + 9\mu_{20}\mu_{02}\mu_{21}^2 + 12\mu_{11}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} - \\ 6\mu_{11}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{21} + \mu_{02}^3\mu_{03}^2) / \mu_{00}^{11} \end{cases} \quad (5)$$

在对 SAR 图像区域灰度信息的描述方面<sup>[6]</sup>,灰度均值表现了区域灰度变化的基点,目标区域的灰度在此基础上变化。而灰度方差系数反应了区域灰度变化的动态范围,是斑点强度的一个度量。同时在异质表面上,总的方差系数是雷达反射系数的方差的积分,反映了目标对电磁波的反射特性。因此方差系数不仅可以用于纹理分析,也可以用于自适应滤波。由于以上的原因,目标区域的灰度峰值、均值和方差系数反映了目标区域的灰度信息和灰度的变化,可以作为目标识别的有效特征量。其中方差系数的定义为:

$$Var = \frac{\sigma}{\mu} \quad (6)$$

结合区域矩不变量和 SAR 图像目标灰度信息的描述参

量,得到用于描述 SAR 图像目标识别分类的特征向量为:

$$X = [\phi_1 \ \phi_2 \ \phi_3 \ \phi_4 \ \phi_5 \ \phi_6 \ \phi_7 \ I_1 \ I_2 \ I_3 \ I_4 \ f_{\max} \ \mu \ Var]^T \quad (7)$$

## 2.2 最近邻分类准则<sup>[7]</sup>

分类器的目标是识别未知输入模式所属的类。在分类过程中,根据特征向量之间的相似性度量,在某一分类准则下,如最近邻决策准则、距离判决准则等,以确定未知模式所属的类。在众多的分类准则中,最近邻分类法是非参数分类的最重要方法之一。

假定有 $c$ 个类别 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_c$ ,每类有表明样本类别的样本 $N_i$ 个, $i=1,2,\dots,c$ 。则可以规定类 $\omega_i$ 的判别函数为:

$$g_i(x) = \min_i \|x - x_i^k\|, k=1,2,\dots,N_i \quad (8)$$

其中 $x_i^k$ 的下标 $i$ 表示 $\omega_i$ 类, $k$ 表示 $\omega_i$ 类 $N_i$ 个样本中的第 $k$ 个, $\|x - x_i^k\| = [(x - x_i^k)^T (x - x_i^k)]^{1/2}$ 。

按照上式,决策规则可以写为:

$$\text{若 } g_i(x) = \min_i g_i(x), i=1,2,\dots,c \quad (9)$$

$$\text{则: } x \in \omega_i \quad (10)$$

即最近邻决策规则。

## 3 目标分类的步骤

本文对 T72 坦克目标的基本分类步骤如下:

(1)假设 SAR 图像数据为 Weibull 统计分布模型,在设定虚警率为 0.001 的条件下,对 T72 坦克的 SAR 图像,运用基于全局恒虚警(CFAR)目标检测方法进行图像分割,获得可能目标的二值分割图像和半阈值分割图像。

(2)在分割后的目标二值图像中,提取出各个可能的目标候选区域,对各个待识别的目标区域计算相应的目标识别的矩特征向量和仿射不变量。

(3)在半阈值化后的 SAR 图像中,计算相应待识别的目标区域的灰度峰值、均值和方差系数,从而获得目标识别的特征向量 $X$ 。

(4)在最近邻决策准则下,实现目标的识别。

## 4 仿真结果及分析

仿真环境为:仿真软件为 Matlab 6.1。计算机 Intel<sup>®</sup> Pentium<sup>®</sup> 4 CPU 2.80 GHz,512 MB 内存。

文中选取两种不同分辨率(分别为 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 、 $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$ )下的多目标 T72 坦克的 SAR 图像(图像来自 NASA),SAR 图像如图 1~图 4。

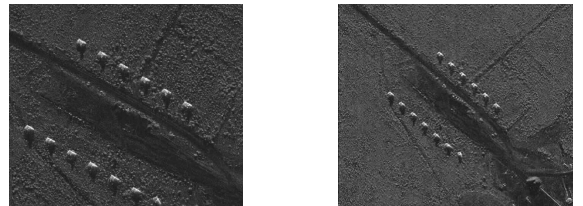


图 1 T72 SAR 图像(0.3 m×0.3 m) 图 2 T72 SAR 图像(0.5 m×0.5 m)



图 3 T72 识别图像(0.3 m×0.3 m) 图 4 T72 识别图像(0.5 m×0.5 m)

由表 1 可以看出:

(1)在分辨率为 0.3 m×0.3 m 的 T72 坦克目标的识别中,有 16 个可能的坦克目标,其中 13 个坦克目标全部识别,剔除了 3 个虚假的杂波目标,目标的正确识别率为 100%。

(2)在分辨率为 0.5 m×0.5 m 的 T72 坦克目标的识别中,在 17 个可能的坦克目标中,识别为坦克的有 15 个目标,剔除了 2 个虚假的杂波目标,而另外的 2 个杂波被识别为坦克,目标的正确识别率为 86.7%。

表 1 两种不同分辨率下 T72 坦克的识别结果

分辨率	实际目标数	检测目标数	识别目标数	误识别数
0.3 m×0.3 m	13	16	13	0
0.5 m×0.5 m	13	17	15	2

对于不同分辨率下的 T72 坦克 SAR 图像,运用相同 SAR 图像的分割和目标识别策略,在分辨率为 0.3 m×0.3 m 下的目标识别效果明显好于在分辨率为 0.5 m×0.5 m 下的识别效果。即在高分辨率下目标的正确识别率高于低分辨率下的正确识别率。

## 5 结论

本文主要研究 SAR 图像的目标识别。首先分析了 Hu 矩不变量和四个仿射矩不变量,结合 SAR 图像目标特点,提出了一种新的 SAR 图像目标识别特征向量的选取。以 Hu 七个不变矩特征为基础,引入 SAR 图像中目标区域灰度的均值和方差系数,从而组成 T72 坦克识别的特征向量。该特征向量具有以下

(上接 134 页)

- [3] Samar V. Single sign-on using cookies for Web applications[C]// Proceedings IEEE 8th International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, 16-18 June 1999: 158-163.
- [4] Zhao Gang, Zheng Dong, Chen Ke-fei. Design of single sign-on[C]// Proc of IEEE Int'l Conf on E-Commerce Technology for Dynamic

(上接 174 页)

域和背景区域及边界处的前景区域和背景区域。

## 5 数值实验结果与评价

图 3 给出了分别利用差分法、方向图法以及本文方法对图 1(公开指纹图像库 FVC2000)的分割结果,从图中可以看出,本文方法对图像的分割效果明显优于另外两种方法。



图 3 三种方法分割效果的比较

为进一步说明本文方法的分割效果,采用如下常用的指标进行评价:

前景区域误分为背景区域的概率:  $P_1 = P(\omega_1/\omega_0)$ ;

背景区域误分为前景区域的概率:  $P_2 = P(\omega_0/\omega_1)$ ;

两种误分的平均概率:  $\bar{P} = (P_1 + P_2) / 2$ 。

表 1 给出了三种方法的评价指标,从表中数据的对比可以看出,本文方法不论对于前景区域还是背景区域的判断均比另

特点:一方面描述了 SAR 图像区域目标的形状特点,另一方面描述了 SAR 图像中目标区域的灰度信息。

通过对两种不同分辨率下的 T72 坦克 SAR 图像的目标识别进行仿真,实验结果表明均获得了较好的目标识别效果,在分辨率为 0.3 m×0.3 m 条件下,正确识别率为 100%,在分辨率为 0.5 m×0.5 m 条件下,正确识别率为 86.7%。说明所选取的 SAR 图像目标识别的特征向量是有效的,而且在高分辨率下目标的识别效果明显优于低分辨率下目标的识别效果。

仿真结果表明本文提出的目标识别特征向量具有较强的目标识别性能。

## 参考文献:

- [1] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. IRE Trans Infor Theory, 1962: 179-187.
- [2] Persoon E, Fu K S. Shape discrimination using fourier descriptors[J]. IEEE Trans Syst, Man Cybern, 1977, 7(3): 170-179.
- [3] Ballard D H. Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shape[J]. Patt Recogn, 1981, 13(2): 111-122.
- [4] Taza A, Suen C Y. Discrimination of planar shapes using shape matrices[J]. IEEE Trans Syst Man Cybern, 1989, 19(5): 281-289.
- [5] Flusser J, Suk T. Pattern recognition by moment invariants[J]. Pattern Recognition, 1993, 26: 167-174.
- [6] Matre H. 合成孔径雷达图像处理[M]. 孙洪,译.北京:电子工业出版社,2005.
- [7] 边肇祺,张学工. 模式识别[M]. 2版.北京:清华大学出版社,2000. E-Business, 2004: 253-256.
- [5] 裴艳琴,杨寿保,房向明,等. 基于 SAML 的网格策略部署和认证机制[J]. 计算机工程, 2007, 33(1): 170-172.
- [6] 庞红玲,张浩军,武东英. 使用 XKMS 的开放式网格服务的证书验证方案[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(6): 132-134.
- [7] 武文丽,黄永忠,陈海勇. 基于安全断言标记语言实现单点登陆[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(4): 785-788.

表 1 图像分割结果对比 (%)

	方差法	方向法	本文方法
$P_1$	1.33	1.44	0.21
$P_2$	3.78	3.22	1.03
$\bar{P}$	2.56	2.33	0.62

外两种方法准确、误分率低。

## 6 结束语

本文提出的指纹图像分割算法,不仅能够有效抑制噪声对分割过程的影响,并且对于不同对比度(尤其是对比度较低)的图像能够实现准确分割,效果优于传统的方差法和方向法。

## 参考文献:

- [1] 赵金辉, 顾亮勋, 曲文斌. 指纹预处理算法研究[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(15): 2777-2778.
- [2] 赵磊, 杨路明, 吴建辉. 指纹图像预处理新方法[J]. 计算机应用, 2007, 27(4): 929-931.
- [3] Mehtre B M, Murthy N N, Kapoor S. Segmentation of fingerprint images using the directional image[J]. Pattern Recognition, 1987, 20(4): 429-435.
- [4] Rathank, Chens, Jaina. Adaptive flow direction-based feature extraction in fingerprint images[J]. Pattern Recognition, 1995, 28(11): 1657-1672.