

# 一种基于 Rough 集与 SVM 的目标识别方法\*

马迎军<sup>1</sup>,王治富<sup>1</sup>,黄 雷<sup>2</sup>,刘维龙<sup>1</sup>

(1 96363 部队,甘肃天水 741020; 2 西北工业大学自动化学院,西安 710072)

**摘 要:**主要研究了基于粗糙集和支持向量机的模式分类技术,结合遥感图像中军用飞机目标识别进行了理论分析和实验研究。基于粗糙集和支持向量机算法的优势,设计了基于粗糙集和决策有向无环图的支持向量机模式识别分类器,对分类的性能进行了分析研究,利用粗糙集理论中属性约简方法去除冗余属性,降低飞机特征维数,提出使用决策有向无环图支持向量机进行训练并对待识别目标预测。

**关键词:**目标识别;不变矩;复数矩;粗糙集;支持向量机

**中图分类号:**TP391.41 **文献标志码:**A

## Method of ATR Based on Rough Set Theory and SVM

MA Yingjun<sup>1</sup>,WANG Zhifu<sup>1</sup>,HUANG Lei<sup>2</sup>,LIU Weilong<sup>1</sup>

(1 No.96363 Unit,Gansu Tianshui 741020,China;

2 School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:**In this paper, technique of pattern recognition based on rough set and support vector machine, combined with the airplane recognition for optical remote sensing images is analyzed and researched. A classifier based on the advantage of rough set and directed acyclic graph support vector machines(DAGSVM) is designed. By means of comparable research and result analysis of classifier, some satisfied research fruit is obtained. A pattern recognition classifier based on rough set and support vector machine is designed in this paper and the classified arithmetic based on rough set and DAGSVM combined with R-DAGSVM. As a result, this method provides a high recognition precision and speed with high capability of anti-disturbance to improve the performances of classifier effectively.

**Keywords:**automatic target recognition; invariant moment; complex number moment; rough set; support vector machine

## 0 引言

识别方法基本思想是根据特征提取算法获取的特征向量对待识别对象赋一个类别标记,研究人员已经提出了多种目标识别方法,最具有代表性的方法是基于 Hu 矩不变量的 K 近邻方法、基于人工智能的知识基系统以及基于纹理特征的 BP 神经网络等等。但仍存在很多问题,以上几种方法都有一个共同的缺点:计算复杂度大,在模糊图像情况下目标特征不稳定,不适合于遥感图像中军用飞机识别的实时性和准确性。为避免现有目标识别技术的缺陷,文中提出了基于粗糙集<sup>[1-3]</sup>(rough set theory)与支持向量机<sup>[4]</sup>(SVM)相结合的目标识别算法。针对目标大小及模

糊程度的改变采用在多尺度上计算目标矩特征(经推导得出不受图像模糊影响的矩不变量),然后经粗糙集计算约简属性,消除无关信息,之后由支持向量机分类器进行训练并对待识别飞机目标预测输出其型号。

## 1 分类器结构

遥感图像是由侦察机、无人侦察机以及航天遥感侦察卫星等侦察工具,并运用这些工具从高空拍摄到机场的俯视图。通过光学摄像机获取敌方地面军事目标的遥感图像后,接下来就是如何对这些图像进行解译,即判图。以往,主要是通过人工的方式进行判图,人工判图处理的速度慢,周期长,无法满足现代军事应用的需要。因此,借助

\* 收稿日期:2008-01-22

基金项目:国家自然科学基金(60675015)资助

作者简介:马迎军(1978-),男,辽宁人,硕士,研究方向:粗糙集理论研究、视频跟踪、图像和视频处理。

计算机对数字图像进行解译可以实现智能判图,能突破人工判图处理速度的瓶颈,将取代人工判图,成为人们获取军事信息的重要手段。

文中设计一种遥感图像军用飞机型号识别的模式识别分类器,即基于粗糙集与支持向量机的模式识别分类器,利用粗糙集理论处理数据,消除冗余信息,进行特征提取,进而送到支持向量机分类器进行训练。基于粗糙集与支持向量机的模式识别分类器结构图如图 1 所示。

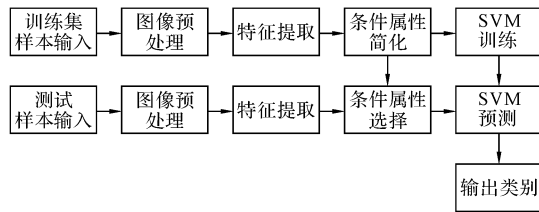


图 1 基于粗糙集与支持向量机的目标识别分类器结构图

本算法的基本思想是对适应遥感图像中军用飞机目标各种可能的尺度及模糊程度表现形式,快速准确识别目标。建立各种飞机多尺度矩特征模型,可以自适应遥感图像中的军用飞机目标,再经过粗糙集与支持向量机结合算法,可得到效果最优的识别结果。

## 2 关键算法

### 2.1 目标特征提取

目标识别的关键技术有两个部分:特征提取和识别方法。特征提取基本思想是对目标图像的不变量特征加以数字化并提取其特征,最具有代表性的目标特征是角点、矩和纹理。

所谓特征提取,就是对于识别对象的某些特性加以数字化的过程。物体可以用纹理和形状两种类型的特征来表述,文中所研究的飞机图像目标,其表面光滑,有规则的几何外形,纹理信息较弱,几何信息突出,因此选用几何形状特征来描述<sup>[5]</sup>。

#### 2.1.1 Hu 不变矩

Hu 最早提出了矩的概念<sup>[6]</sup>,并推导出了矩的一系列基本性质,进一步证明了矩的平移不变性、比例不变性和旋转不变性。

设已知数字图像的灰度分布为  $f(x, y)$ , 则

其二维  $(p + q)$  阶矩定义为:

$$m_{pq} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M i^p j^q f(x, y) \quad (1)$$

中心矩定义为:

$$\mu_{pq} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M (i - \bar{i})^p (j - \bar{j})^q f(x, y) \quad (2)$$

显然中心矩具有平移不变性:

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{\gamma}}, \gamma = (p + q)/2 + 1 \quad (3)$$

以下为 7 个不变矩的计算公式:

$$M_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (4)$$

$$M_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (5)$$

$$M_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (6)$$

$$M_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (7)$$

$$M_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (8)$$

$$M_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (9)$$

$$M_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (10)$$

#### 2.1.2 复数矩

复数矩是由 Abu-Mostafa 和 Psaltis<sup>[6]</sup> 提出的。二维函数  $f(x, y)$  的  $(p, q)$  阶复数矩  $C_{pq}$  的定义为:

$$C_{pq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (x + iy)^p (x - iy)^q f(x, y) dx dy \quad (11)$$

其中  $p, q$  为非负整数,且  $i = \sqrt{-1}$ 。若  $f(x, y)$  是非负实数,那么  $C_{pq}$  也是非负实数,并且  $C_{pq}$  是  $C_{qp}$  的复数共轭。复数矩可表示为传统规则矩的线性组合:

$$C_{pq} = \sum_{r=0}^p \sum_{s=0}^q \binom{p}{r} \binom{q}{s} (-1)^{q-s} (i)^{(p+q)-(r+s)} m_{r+s, (p+q)-(r+s)} \quad (12)$$

### 2.2 基于粗糙集的属性约简方法

应用上节已经建立的与尺度和模糊度有关

的多级不变矩特征库,利用粗糙集理论中属性约简方法去除冗余属性、降低飞机特征维数来获得飞机特征库的最优属性约简,建立新属性集。

新属性集是利用专家经验合并几组最优或较优的约简属性集,具体步骤如下:

1) 根据粗糙集约简方法得到一系列约简属性集,依次搜索出几组约简属性集,要求每一组的属性不能相同(核属性除外);

2) 把这几组属性集组合成一组新的属性集,如果这个新属性集的属性个数超过了属性总数目的 50% 或者搜索到最后一个就停止本次搜索返回上一步,否则进入下一步;

3) 通过 1) 和 2) 步的循环执行,可以找出所有符合要求的属性集。假如得到了几组新的属性集,就需要根据专家经验选择出一组最符合实际要求的属性集。

### 2.3 决策有向无环图支持向量机 (DAGSVM)

决策有向无环图支持向量机<sup>[7]</sup>是目前理论上比较完善的一种多值分类算法,相对于一对多(1-v-r)与一对一(1-v-1)方式,该算法建立了对推广性的界的理论分析。指出推广误差取决于无环图的大小以及在各个决策节点处的边界,而与原样本空间的维数无关。

训练阶段,决策有向无环图方式所需训练的子分类器与一对一方式下的子分类器一样,也是  $k(k-1)/2$  个。但在测试阶段,该方式构造一个带有根节点的二值有向无环图,该图共有  $k(k-1)/2$  个内部节点和  $k$  个叶节点,其中每个内部节点对应一个二值支持向量机分类器,每个叶节点对应一个类标记。

文献[4]对其提到的几种多值支持向量机分类算法进行了比较,得出如下的结论:对于大规模问题,一对一方式和决策有向无环图方式更适于实际应用。二者所需的训练时间相当,测试阶段决策有向无环图方式更快一些。

因此,文中的多类支持向量机采用的是基于决策有向无环图的支持向量机 (DAGSVM)。SVM 核函数采用径向基(RBF)核函数:

$$(K(A, B))_{ij} = \exp(-\gamma \|A_i - B_j\|^2)$$

$$i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, k$$

其中  $A \in R^{m \times n}, B \in R^{n \times k}, \gamma$  是一个正的常数(核函数的跨度系数)。训练中采用五重交叉验证来选择参数  $(C, \gamma)$ ,其中  $C$  是惩罚参数,  $\gamma$  是 RBF 函数的跨度系数。

### 3 算法仿真及其分析

文中实验通过 3DSMAX 软件创建图像样本库,规格为  $256 \times 256$  的二值图像(0,255),在 MATLAB 中对实验图像加高斯模糊并自动放缩窗口至目标大小。用 VC++ 及 MATLAB 7.1 程序设计语言实现了文中提出的方法。

在实验中使用 libSVM 软件,并对该软件进行了必要的改进。实验中比较了 1-v-1, 1-v-r, DAG(DAGSVM)。为了减少核函数中参数的搜索范围和搜索时间,根据经验,在实验中只使用径向基核函数(RBF 核函数):

$$(K(A, B))_{ij} = \exp(-\gamma \|A_i - B_j\|^2)$$

$$i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, k \quad (13)$$

其中  $A \in R^{m \times n}, B \in R^{n \times k}, \gamma$  是一个正的常数(核函数的跨度系数)。

整个流程可以参考图 1,算法仿真具体实施如下:

1) 建立多级不变矩特征库。在实际成像条件下不变矩取值会存在各种不稳定影响因素,特别是在计算小尺寸(大尺度)目标的不变矩时往往会产生较大误差。因此有必要建立与尺度和模糊度有关的多级不变矩特征数据库。使用分级特征库能显著提高目标识别的准确度。

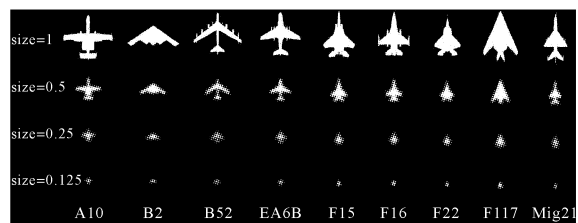


图 2 尺寸 Size = 1, 0.5, 0.25, 0.125 的 9 种不同形状飞机 4 尺度多级图像模型库

文中利用自建的用于分类识别的 9 种飞机的 4 尺度目标模型,如图 2,提取在目标图像发生模糊的情况下仍保持不变的 16 个特征,包括 6 个 Hu 矩、两个 4 阶不变矩和 8 个复数矩,由式(4)~式(10)以及式(12),可计算组成特征向量建

立特征库,见表 1。

表 1 16 个特征对照表

序号	特征	序号	特征
1	$M_2$	9	$Re(C_{30} C_{12} C_{02})$
2	$M_3$	10	$Re(C_{40} C_{12}^2 C_{02})$
3	$M_4$	11	$Re(C_{50} C_{12} C_{02}^2)$
4	$M_5$	12	$Re(C_{40} C_{12} C_{03})$
5	$M_6$	13	$Re(C_{50} C_{12}^2 C_{03})$
6	$M_7$	14	$Re(C_{50} C_{02} C_{03})$
7	$M_8$	15	$Re(C_{50} C_{12} C_{04})$
8	$M_9$	16	$Re(C_{50} C_{05})$

2) 利用粗糙集约简属性, 组建新属性集, 降低矩特征库维数。采用粗糙集中的属性频度算法, 其主要思想是考虑差别矩阵的全体属性组合, 一个非核属性若在差别矩阵中出现的次数较多, 说明这个属性在辨别两个决策不同的对象中所起的作用较大, 应首先选入属性约简中, 同时包含这个属性的所有属性组合同时剔除。

经计算产生 4 组约简属性集, 分别是表 1 中: 属性 2、3、9、10、11、15, 其中, 属性 2 和 3 是核属性, 属性 9、10、11、15 是重要属性, 因此 9 类军用飞机新属性集包括属性 2、3、9、10、11、15, 由此可

将 1) 中建立的矩特征库约简为表 2 形式。

表 2 目标经约简后的特征对照表

序号	特征	序号	特征
2	$M_3$	3	$M_4$
9	$Re(C_{30} C_{12} C_{02})$	10	$Re(C_{40} C_{12}^2 C_{02})$
11	$Re(C_{50} C_{12} C_{02}^2)$	15	$Re(C_{50} C_{12} C_{04})$

3) 基于决策有向无环图支持向量机预测。对一个飞机测试样本  $x$ , 首先将其输入根节点分类器, 由该分类器的输出决定飞机测试样本下一步的走向(0 向左, 1 向右); 接着, 第二个分类器的输出决定飞机测试样本再下一步的走向; 以此类推直至飞机测试样本达到某叶节点, 该叶节点的值就是所代表的飞机类别。将经过约简后的四尺度矩特征模型作为训练样本带到支持向量机中进行训练, 并对 1782 个测试样本进行预测。

4) 识别结果。用 A-10 攻击机、B-2、B-52 轰炸机、EA-6 侦察机和 F-15、F-16、F117、F-22、MIG-21 战斗机做实验, 为了作出对比, 先选择属性数为 16 个(未用粗糙集进行属性约简), 进行分类比较实验。识别结果如表 3 所示。

表 3 九种不同类型飞机型号识别结果(属性为 16 个)

识别方法	属性数	输入飞机/架	正确识别/架	参数 C	跨度系数 $\gamma$	时间/ms	识别率/%
1-v-l			1704	32	0.0078125	343	95.6229
1-v-r	16	1782	1692	128	0.0078125	313	94.9495
DAG			1704	22.62741	0.015625	250	95.6229

下面用 2) 建立的新属性集(2, 3, 9, 10, 11, 15) 对上述 9 类飞机做比较实验, 如表 4 所示。

表 4 九种不同类型飞机型号识别结果(属性为 6 个)

识别方法	属性数	输入飞机/架	正确识别/架	参数 C	跨度系数 $\gamma$	时间/ms	识别率/%
1-v-l			1673	2	0.5	281	93.8832
1-v-r	16	1782	1656	0.5	0.5	234	92.9292
DAG			1687	2	0.5	188	94.6689

5) 实验分析。以上实验可以反映在图 3 中, 从图 3 可以明显看出, 在属性数为 16 的情况下, DAG 方法不管在识别效果还是在识别速度上都优于 1-v-l 和 1-v-r, 特别是经过粗糙集约简使得属性数为 6 的情况下, DAG 方法的优势更加明显。在类间差别减小的情况下, 粗糙集与 DAGSVM 结合方法, 抗干扰能力强。

大量的实验证明, 文中所提出的方法相对于其它方法, 具有以下特点:

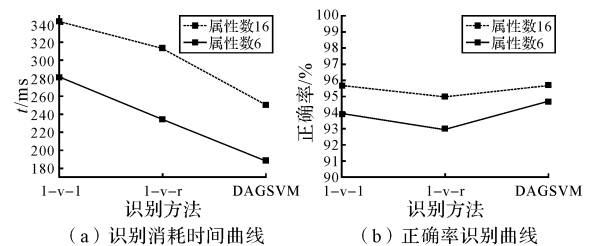


图 3 实验的曲线分析

1) 由于采用多尺度矩特征模型方法, 每一级内的矩特征在该级的尺度变化范围内是相对稳定

(下转第 225 页)

表 1 给出了采用不同方法时的关机点速度和落点偏差。从结果可以看出实时修正的方法误差小于  $8\text{m}(\Delta = \sqrt{(-3.57)^2 + (-6.61)^2} \approx 7.51)$ 。

表 1 不同需要速度修正策略的比较

	关机点时间 /s	关机点速度 / (m/s)			落点偏差 /m	
		$v_{zk}$	$v_{yk}$	$v_{zk}$	纵向	横向
不修正	200.6	4712.309	794.529	68.268	-6390.0	-12072.4
射前修正	188.3	2801.133	442.221	32.012	432.2	85.5
实时修正	183.1	1802.934	374.078	21.312	-3.57	-6.61

### 4 结论

补偿模型(1)、(2)考虑了地球物理摄动因素中,对远程弹道导弹显式制导中需要速度影响最大的地球扁率和扰动引力以及再入大气阻力 3 个因素。经过数学推导<sup>[5]</sup>和模型变换、简化,提出了补偿计算公式(4)和算法的计算步骤。通过

(上接第 222 页)

的,可以适应各种尺度及模糊程度的飞机目标;

2)采用粗糙集,能够减少属性数目的同时不影响分类性能,可提高识别速度;

3)支持向量机是专门针对小样本情况,具有较高的泛化能力和较好的推广能力。

### 4 结语

文中着重研究了遥感图像中军用飞机识别分类的问题,针对以往目标识别算法的缺陷,提出了多尺度矩特征模型和基于粗糙集与支持向量机相结合的算法,使得本方法具有以下特点:可适应不同尺度和模糊程度的飞机目标;利用粗糙集消除冗余属性,可提高识别速度;利用支持向量机可提高预测分类精度。

参考文献:

[1] Pawlak Z. Rough set[J]. International Journal of

表 1 的仿真算例可知:

1)文中提出的需要速度的补偿计算模型能够有效提高需要速度的精度,极大地减小落点偏差,提高了命中精度;

2)需要速度的补偿计算可以射前和实时修正,实时修正的效果更好。

参考文献:

[1] 陈磊,王海丽,任莹. 弹道导弹显式制导的分析与研究[J]. 宇航学报, 2001,22(5):44-50.  
 [2] 张金槐,贾沛然. 远程火箭精度分析与评估[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1995.  
 [3] 黄柯棣. 系统仿真技术[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1998.  
 [4] 李连仲. 弹道飞行器自由飞行轨道的解析解法[J]. 宇航学报,1982(1):1-17.  
 [5] 曾绍标. 应用数学基础[M]. 天津:天津大学出版社,1993.

Computer and Information Science, 1982, 11(5): 341-356.

[2] Pawlak Z. Information system theoretical foundations[J]. Information systems, 1981, 6(3):205-218.  
 [3] Pawlak Z. Rough sets[J]. Communications of the ACM, 1995, 38(11):89-95.  
 [4] 范昕炜. 支持向量机算法的研究及其应用[D]. 杭州:浙江大学,2003:50-61.  
 [5] 王晓红. 矩技术及在图像处理与识别中的应用研究[D]. 西安:西北工业大学,2001:8-34.  
 [6] 张天序. 成像目标自动识别[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,2005.  
 [7] Platt J C, Cristianini N, Shawe-Taylor J. Large margin DAGs for multiclass classification [Z]. Neural Information Processing Systems (NIPS99), 1999.