

doi: 10.7690/bgzd.2014.03.023

# 基于空中目标识别的特征提取与选择

田瑞娟<sup>1</sup>, 杨帆<sup>2</sup>

(1. 中国兵器工业第五八研究所军品部, 四川 绵阳 621000; 2. 总装备部重庆军代局 重庆 400060)

**摘要:** 为从冗杂的海量信息中提取出有效的特征数据和信息, 对空中目标识别的目标特征进行研究。介绍目标跟踪识别系统, 从搜索雷达的目标回波信号特征、目标光谱成像特征、目标姿态与运动特征、目标特征选择与融合等方面进行目标识别特征提取, 生成图像与特征数据库, 并对选取的目标特征进行多特征融合的识别精度验证。结果表明: 提取与选择的目标特征在识别中取得较满意效果, 能证明选取的空中目标特征在目标识别算法中的可靠性。

**关键词:** 空中目标; 特征提取; 识别

**中图分类号:** TJ03 **文献标志码:** A

## Features Extraction and Selection of Air Target Recognitions

Tian Ruijuan<sup>1</sup>, Yang Fan<sup>2</sup>

(1. Department of Armament Products, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China; 2. PLA Representative Bureau of General Armament Department in Chongqing, Chongqing 400060, China)

**Abstract:** For extracting valid feature data and information from massive data, research on target feature of air target recognition. Introduce target tracing recognition system, carry out target recognition feature extraction from searching radar target echo signal feature, target spectral imaging feature, target gesture, motion feature, target feature selection and fusion. Create image and feature data base, and carry out multi-features fusion recognition accuracy validation for selected target feature. The results show that the extracted and selected target feature received great effect, the reliability of selected air target feature in target recognition method is proved.

**Keywords:** aircraft target; feature extraction; recognition

## 0 引言

快速准确地发现、识别和确认目标是战场上夺取信息优势、把握有利攻击时机、取得战役胜利的关键。空中目标探测和识别技术的深入研究是为了将空中打击目标从复杂的背景环境中尽可能地剥离出来, 通过知识学习, 实现对目标的类型确认, 进而完成对目标的威胁评估, 为快速打击提供判定和决策依据。现代战场中, 随着科技的不断进步, 用于目标探测的手段不断增加, 同时为目标的探测和识别提供了更多的信息, 如何从冗杂的海量信息中提取出有效的特征数据和信息则是目标探测和最终识别的关键。

笔者通过对目标识别的探测手段、目标识别系统及相应特征提取进行研究, 最终采用多光谱的目标特征融合方法实现目标特征选择, 并通过 SVM 识别算法和 BP 神经网络识别算法进行了识别精度验证。

## 1 目标跟踪识别系统

采用何种目标特征进行识别, 决定了目标识别系统的架构。目标识别系统如图 1 所示。其中, 探测传感器要依据所针对目标的大致已知信息进行选

择, 如常用的探测系统选用搜索雷达、可见光摄像机、红外摄像机和雷达测距机。对远距离目标的识别, 采用成像无法获取时, 一般采用雷达进行探测, 对回波数据进行分析 and 特征提取, 当目标接近时, 目标通过成像传感器, 如紫外传感器、红外传感器及可见光传感器可实现一定特征成像情况下, 雷达探测和识别成为辅助手段。激光测距机和光电转台相关信息的获取, 可实现对目标方位、距离等特征提取, 为目标的威胁识别提供数据。目标探测与跟踪模块对目标或疑似目标进行检测、跟踪和虚警剔除处理<sup>[1]</sup>, 并计算目标的光谱特征数据, 在目标特征选择模块中, 对输入的目标特征运用一定的选择机制进行梳理和选择, 送入目标识别模块, 与目标特征库中的特征样本进行学习、训练与识别, 完成目标的识别与特征库的补充。

## 2 目标识别特征提取

### 2.1 搜索雷达的目标回波信号特征

雷达作为侦察系统的重要组成部分, 担负着远距离目标的提前预警功能, 而通过雷达的回波信号的分析处理, 如回波幅度序列起伏表征的目标强度特征、回波序列的相位变化表征的目标微动特征等,

收稿日期: 2013-10-26; 修回日期: 2013-11-22

作者简介: 田瑞娟(1972—), 女, 天津人, 硕士, 高级工程师, 从事图像处理、机器视觉技术研究。

在一定程度上可实现目标识别功能。而通过这些特征数据综合处理，可初步将飞机目标大致从云、鸟等无关信号中区分出来，也将飞机目标与炮弹目标区分开来，并为目标光谱成像的目标检测提供导引，减少系统目标识别的总体时间。

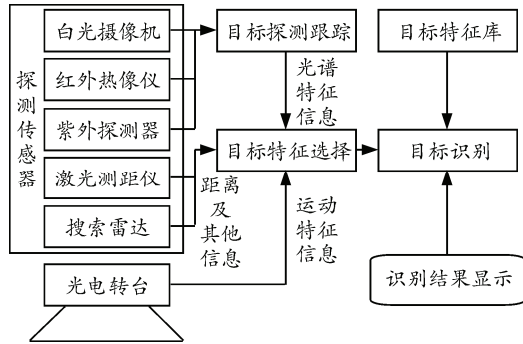


图1 空中目标识别系统

在本文中，首先，炮弹与飞机和云层等大目标的区别是点目标与面目标的区别，点、面目标的区分由目标回波方位宽度阈值确定。其次，由目标穿越雷达波束的时间和位置点，确定目标速度，而云层相对没有运动特征。

### 2.2 目标光谱成像特征

目标的光谱成像特征复杂、多样，也是空中目标识别研究的重点。

由于成像环境等的影响，光谱图像的目标往往出现被遮挡等情况，造成目标局部特征丢失，提取的目标特征不完整，影响目标成像特征识别精度，因此，选择何种目标特征进行目标识别则显得尤为重要。文中的目标成像特征提取流程如图2所示。

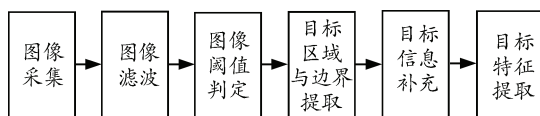


图2 目标成像特征提取流程

目标的成像特征主要包括以下几点：

#### 1) 几何特征。

图像的边界、面积等几何形状特征是其最基本的特征。但由于空中目标处于不断运动的状态中，因此所选取的几何特征应当对目标区域的方向和大小变化不敏感。通常的集合特征如曲线的斜率与曲率、伸长度、凹凸性、分散度、拓扑特征等，而目标复杂度、目标最小外接矩形的长宽比，以及角点特征则常用来实现目标的形状特征提取。复杂度即指目标区域的周长面积比；目标最小外接矩形的长宽比反映了目标的几何特征；角点特征具有旋转和平移不变性，几乎不受光照条件的影响，具有良好

的抗干扰性能，可通过 SUSAN 或 Harris 角点检测算法提取，通过筛选求得初始角点的角点集<sup>[2-3]</sup>。

文中的目标几何特征选择 Harris 方法，使用式(1)计算  $M$  值作为检测角点的依据：

$$M = \langle I_x \rangle^2 \langle I_y \rangle^2 - \langle I_x I_y \rangle^2 - K(\langle I_x \rangle^2 + \langle I_y \rangle^2) \quad (1)$$

式中： $I_x$ 、 $I_y$  分别是原图像沿水平和垂直方向的一阶梯度值； $\langle \rangle$  是高斯滤波算子，系数  $K$  的值可以调整角点检测的敏感度。

#### 2) 灰度特征。

当目标距离传感器较远时，目标区域的轮廓较模糊，则需要结合图像的灰度信息来描述目标的特征。通常采用的特征包括均值灰度差、平均梯度强度和均值对比度等。

笔者采用均值对比度作为目标的灰度特征。均值对比度公式为：

$$\text{ratio} = ((\sum_{i \in A} f_i(x, y) / \text{num}_A) / (\sum_{j \in B} f_j(x, y) / \text{num}_B)) \% \quad (2)$$

其中： $A$  为目标区域； $B$  为局部背景区域； $\text{num}_A$  和  $\text{num}_B$  分别为两区域的像素个数。

#### 3) 统计特征。

矩特征反映了图像灰度的统计分布情况，根据提取信息的形式，分为全局矩特征和局部矩特征<sup>[4]</sup>。常用的全局矩特征如 Hu 矩、Zernike 矩、Pseudo-Zernike 矩等，提取的是图像全局信息，小波矩作为局部矩特征，既具有小波变换提取图像局部特征的能力，同时又具有不变性。而 Hu 不变矩特征是一种被广泛应用的统计特征，是图像中具有平移、缩放和旋转不变性的数学特征。文中的目标统计特征选用 Hu 不变矩特征。

离散状态下的二维函数  $f(x, y)$  的  $(p+q)$  阶原点矩和  $(p+q)$  阶中心矩为：

$$m_{pq}^n = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N x^p y^q f(x, y) \quad (3)$$

$$\mu_{pq}^n = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y)$$

其中  $(\bar{x}, \bar{y})$  为灰度图像  $f(x, y)$  的灰度质心。

归一化的中心矩为：

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}^n}{\mu_{00}^n} \quad r = \frac{p+q+2}{2}, p+q = 2, 3, \dots \quad (4)$$

在归一化中心矩的基础上，Hu 定义 7 个分量，这些分量对物体的大小、位置、方向具有不变性。Hu 利用归一化的二阶矩和三阶矩构造了 7 个不变矩函数式：

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\
 M_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\
 M_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (\eta_{03} - \eta_{21})^2 \\
 M_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\
 M_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\
 &\quad (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (5) \\
 M_6 &= (\eta_{20} - \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \\
 &\quad \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\
 M_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\
 &\quad (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]
 \end{aligned}$$

由于 Hu 不变矩变化范围大, 且有可能为负值, 因此在实际使用中, 变量  $M_i$  取绝对值的对数, 即:

$$M_i = \lg |M_i| \quad (i = 1, 2, \dots, 7) \quad (6)$$

4) 光谱辐射特性。

红外热像仪及紫外探测器, 分别从红外波段和紫外波段实现空中目标的辐射探测。不同的空中目标, 其辐射强度和分布有很大的差异。飞机的辐射主要包括发动机壳体及尾喷管的辐射、尾焰辐射以及高速飞行的蒙皮辐射。

在一定飞行高度下, 蒙皮温度可用式 (7) 计算:

$$T_s = T_a(1 + 0.164 Ma^2) \quad (7)$$

其中:  $T_s$  为飞机蒙皮温度;  $T_a$  为周围大气温度;  $Ma$  为飞行马赫数。大体从亚音速到 3 倍音速内, 蒙皮辐射的波段主要在  $8 \sim 12 \mu\text{m}$ , 其次是  $3 \sim 5 \mu\text{m}$ <sup>[3]</sup>。

光谱辐射特征复杂, 在建立不同目标、不同气象、不同探测手段、不同探测距离和不同探测角度等情况下的特征数据库基础上, 进行该特征的选择。

2.3 目标姿态与运动特征

通常的目标识别研究都是以图像特征为基础的, 在实际应用中, 通过成像传感器获得的目标图像往往因为外界环境的影响, 造成一定程度的目标图像特征信息丢失或缺损, 仅仅通过图像的方式进行目标识别, 其识别率难以满足要求, 而实时获取目标姿态信息与运动特征则成为图像目标识别方式的重要补充。

目标姿态信息的提取, 可通过转台对目标的跟踪过程的转动轨迹和雷达测距获取的数据分析, 得到空中目标相对于载体的姿态、方位、高度和速度等数据, 从而将在识别过程中目标特征库提取的特征和图像搜索范围降低, 提高配准几率。

目标姿态信息是计算目标速度信息的基础。首先建立以转台为原点的坐标系, 在稳定跟踪状态下, 以一定时间间隔  $t$  内的前后时间节点的转台俯仰角

$\Phi$ , 方位角  $\theta$  和激光测距的距离  $L$ , 分别计算两时刻飞机的三维坐标  $A(x_1, y_1, z_1)$  和  $B(x_2, y_2, z_2)$ , 如图 3 采用两点式建立直线方程, 通过计算直线斜率, 结合转台转角信息, 实现在当前视角下在摄像机坐标下的飞机俯仰角和航向角的确定。

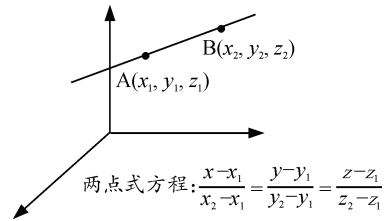


图 3 飞机姿态直线方程

飞机的速度为

$$V = \frac{1}{t} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (8)$$

2.4 目标特征选择与融合

目标特征的选择是分阶段进行的。在目标探测初期, 目标距离较远, 雷达处于识别阶段, 目标的高度、速度和截面积是主要特征参数, 采取加权求和方式初步识别目标类型。目标距离较近时选择特征目标的成像特征、几何特征和运动特征, 以加权组合方式进行目标识别。

设两特征向量分别为  $\alpha$  和  $\beta$ , 融合后的特征向量为  $\gamma$ 。加权求和融合方式的  $\gamma$  为

$$\gamma = w_1 \alpha + w_2 \beta \quad (9)$$

加权组合融合方式的  $\gamma$  为

$$\gamma = \begin{bmatrix} W_1 \times \alpha \\ W_2 \times \beta \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中,  $\sum w_i = 1, 0 \leq w_i \leq 1, i = 1, 2$ 。

2.5 图像与特征数据库生成

要实现对空中目标的识别, 必须生成庞大目标图像与特征数据库, 且保证是多角度、全方位的录入。故针对每种空中目标图像数据库的建立方式有:

- 1) 采用 CCD 相机对目标模型拍摄, 按照在俯仰、方位视点坐标每变换  $5^\circ$  视场角进行一次拍摄。
- 2) 通过 3D 虚拟软件或设备录入 3D 仿真产生的模拟飞行目标的可见光、红外和紫外图像数据。
- 3) 通过大量的现场跟飞实验和演习, 采集最真实的飞行目标在各种气候环境下的图像数据。

采集的目标图像样本统一归一化成  $64 \times 64$  像素分辨率的样本图像。目标的特征数据可通过对图像库的目标图像数据进行特征数据提取完成。图 4 为

部分 F16 战机的 3D 模型的多角度图像数据。图 5 为部分负样本图像数据。



图 4 目标图像数据库正样本

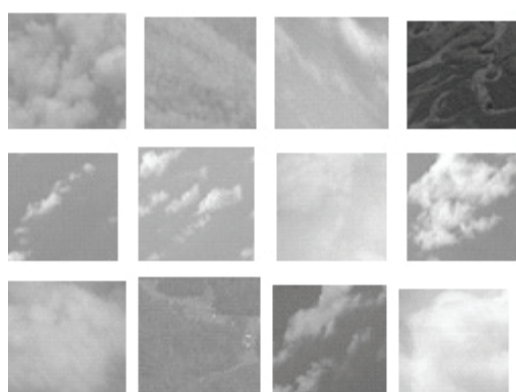


图 5 目标图像数据库负样本

### 3 目标识别验证

在现阶段的实验室算法验证阶段，针对图像的目标特征数据进行目标识别精度验证，验证的识别

\*\*\*\*\*

(上接第 79 页)

表 3 摇摆试验仿真数据

条件/ (°/Hz)	俯仰摇摆高低向误 差/(")	方位摇摆方位向误差/ (")
11/1	8.0	7.7
11/2	12.0	11.9
11/3	26.9	15.2
11/5	50.0	30.0
15/3	36.7	21.0
20/3	49.0	23.0
30/3	1.2	35.0

由表 3 可知，随着摇摆幅度的加大和频率的升高，瞄准线稳定误差变大，在摇摆角度为 11'，频率为 3 Hz 的条件下，瞄准线稳定误差小于 1'，仿真结果满足上反射镜稳定系统的技术指标要求，一定程度上说明用 Matlab/Simulink 模块构建的上反射镜稳定系统模型有效。

### 4 结束语

笔者对上反射镜稳定系统的构成及工作原理进行了分析，并利用 Matlab/Simulink 模块建立了上

算法采用 BP 神经网络和 SVM(支持向量机)2 种算法。训练 F16 飞机正样本 776 幅，负样本 2 000 幅，测试 F16 飞机样本 60 幅(未训练)，F22 飞机 13 幅，负样本 80 幅。

实验结果证实，采用 BP 神经网络识别算法得到 60 幅 F16 飞机的识别率达 87.6%，13 幅 F22 飞机的识别率为 83.6%；采用 SVM 识别方法得到 60 幅 F16 飞机的识别率为 91.2%，13 幅 F22 飞机的识别率为 92.3%。

### 4 结论

在简单背景下，对目标特征清晰的样本进行识别算法验证，提取与选择的目标特征在识别中取得了较满意的效果，但离实际需求还有差距。如何在实际复杂背景环境中实现对目标实时的检测、跟踪与识别，提升目标识别的准确率，是以后研究重点。

### 参考文献：

- [1] 田瑞娟. 基于快速区域标签运算的目标跟踪算法研究[J]. 兵工自动化, 2008, 27(9): 75-78.
- [2] 王晓军. 不变矩在图像特征提取及目标识别中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2011(1): 52-54.
- [3] 刘金龙, 刘启忠, 郭虎生. 一种基于多光谱特征的空中目标识别方法[J]. 四川兵工学报, 2011(9): 78-79.
- [4] 李晓静. 基于特征融合的目标识别技术的研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2011: 28-31.
- [5] 曹海青, 王军欣. 基于全局和局部特征的目标识别研究[J]. 微型机与应用, 2011(14): 41-43.

反射镜稳定系统数学模型，然后通过摇摆仿真试验对该模型的战技指标进行了初步验证。通过对该模型的仿真、计算可以得到不同激励下的瞄准线稳定误差。分析结果证明，笔者构建的上反射镜稳定系统模型是有效的。

### 参考文献：

- [1] 朱竞夫. 现代坦克火控系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 63-88.
- [2] 中国人民解放军总参谋部军训和兵种部. 04 式履带式步兵战车构造与使用[M]. 北京: 解放军出版社, 2007: 292-296.
- [3] 郭秀中. 惯导系统陀螺仪理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996: 232-234.
- [4] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2005: 63-64.
- [5] 李保海. 扰性陀螺仪数字化伺服系统设计研究[D]. 天津: 天津大学电气与自动化工程学院, 2005: 21-23.
- [6] 何卫国, 谈乐斌, 潘孝斌. 基于 Simulink 的火炮反后坐装置仿真分析[J]. 兵工自动化, 2012, 31(11): 41-43.