

文章编号: 1672-2892(2011)01-0030-04

## 基于最小平方误差的辐射源识别

张云雯<sup>a</sup>, 姚景顺<sup>b</sup>, 陈晓曦<sup>a</sup>, 沈振华<sup>a</sup>

(海军大连舰艇学院 a.研究生2队; b.作战指挥系, 辽宁 大连 116018)

**摘要:** 针对测量参数不确定所造成的辐射源不能正确识别问题, 提出一种基于最小平方误差模型的识别方法。该方法首先计算辐射源的特征参数相对于数据库中相应特征参数的平方误差, 然后利用最小平方误差来确定辐射源隶属度。该模型与几何距离度模型、云模型相比, 在识别辐射源类型时, 增加了雷达特征参数(重复频率、脉宽和天线扫描周期)的多值性和相关性, 仿真结果表明, 该方法的正确识别率比前2种方法分别高出5%和40%。

**关键词:** 雷达; 辐射源识别; 隶属度; 雷达参数数据库

中图分类号: TN957.51

文献标识码: A

## Emitter recognition based on Least Square Error model

ZHANG Yun-wen<sup>a</sup>, YAO Jing-shun<sup>b</sup>, CHEN Xiao-xi<sup>a</sup>, SHEN Zhen-hua<sup>a</sup>

(a.Postgraduate Team 2; b.Department of Operational Commanding, Dalian Navy Academy, Dalian Liaoning 116018, China)

**Abstract:** To tackle with the parameter uncertainty in emitter recognition problem, a recognition method based on least square error model is presented. First, the square error of characteristic parameters is calculated relative to those in database for the emitter, then, the degree of membership of the emitter is determined based on least square error. Unlike geometrical distance model and cloud model, the proposed model takes multi-values and correlation of each parameter(PRF, PW and ASV) into account. Simulation results show that the emitter recognition rate of this model is higher than that of the geometrical distance model and cloud model by 5% and 40% respectively.

**Key words:** radar; emitter recognition; degree of membership; radar parameters database

在现代舰载电子侦察中需要进行雷达辐射源识别问题, 即依据截获的辐射源特征参数, 判断属于数据库中的哪一型雷达。由于环境干扰以及电子侦察设备本身的测量误差, 截获的雷达辐射源特征参数与雷达实际参数相比具有一定的随机性和模糊性, 雷达的重复频率(Pulse Repeating Frequency, PRF)、脉冲宽度(Pulse Width, PW)和天线扫描周期(Antenna Scanning Velocity, ASV)等特征参数也因为探测距离、脉冲积累数和数据率等因素的要求, 具有多值性和相关性。然而现有的识别模型<sup>[1-6]</sup>并未考虑同一辐射源特征参数的多值性和相关性。本文基于最小平方误差原理建立的辐射源识别模型充分考虑了以上2个问题, 比基于几何距离度模型<sup>[7]</sup>和基于云模型<sup>[8]</sup>的辐射源识别正确率分别高出5%和40%。

### 1 雷达辐射源特征参数规律

由雷达原理可知, 多量程雷达的特征参数(重复频率、脉宽和天线扫描周期)具有多个工作模式, 大量程对应重复频率低(最大不模糊距离远)、脉宽宽(具有大的发射能量)、天线扫描周期长(以获得足够的脉冲积累数); 小量程对应的重复频率高(以获得足够的脉冲积累数)、脉宽窄(距离分辨力高)、天线扫描周期短(以获得足够的数据率)。当雷达工作在某一模式时, 电子侦察设备每次截获的雷达特征参数与真值相比具有一定的随机性和模糊性, 通过统计实际截获雷达特征参数, 分析发现雷达辐射源特征参数(载频、重复频率、脉宽和天线扫描周期)均服从正态分布。

同一部雷达除载频外, 其重复频率、脉宽和天线扫描周期会在2至3个区间内分别服从正态分布。

## 2 辐射源识别

所谓辐射源识别,就是将截获的雷达辐射源特征参数与雷达参数数据库中的特征参数进行匹配,从而得到该雷达辐射源型号的过程,特征参数 $m$ 主要为:载频(Pulse Frequency, PF)、重复频率、脉宽、天线扫描周期等。为解决辐射源特征参数的多值性和相关性,本文基于辐射源特征参数与数据库中特征参数多个均值的平方误差最小原理确定特征参数的最小误差,并根据所有特征参数的最小误差来计算雷达类型的隶属度,建模如下。

### 2.1 模型的建立

设雷达参数数据库中雷达有 $n$ 类: $R_1, R_2, \dots, R_n$ ,对于每一类 $R_i(i=1, 2, \dots, n)$ 都有 $m$ 个特征参数,即 $R_i=(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im})$ , $y_{ij}$ 表示库中第 $i$ 类雷达的第 $j$ 个特征参数集, $y_{ij}(k)(k=1, 2, \dots)$ 表示特征参数集的第 $k$ 个均值,不同雷达的特征参数的均值个数可以不同,对于区间型表示的特征参数,均值为双边约束 $[L_{\min}, L_{\max}]$ 条件的中值: $y_{ij}(k)=(L_{\min}+L_{\max})/2$ 。

### 2.2 隶属度的计算

设待识别的辐射源 $X$ 有 $m$ 个特征参数,则 $X=(x_1, x_2, \dots, x_m)$ , $x_j(j=1, 2, \dots, m)$ 为测得辐射源的第 $j$ 个特征参数,通过计算辐射源的特征参数,相对于数据库中相应特征参数均值的平方误差最小原理来确定最小误差。

$$\Delta_{ij} = \min \left( \left( \frac{x_j - y_{ij}(k)}{x_j} \right)^2 \right) (k = 1, 2, \dots)$$

为辐射源第 $j$ 个特征参数相对于第 $i$ 类雷达第 $j$ 个特征参数的最小平方误差,

$\theta_i = \sum_{j=1}^m (1 - r_j \Delta_{ij})$ 为辐射源相对于第 $i$ 类雷达的确定度(隶属度), $r_j$ 为第 $j$ 个特征参数误差的权值。

### 2.3 判决准则

$R_i = \text{MAX}(\theta_i) / \text{SUM}(\theta_i)$ 为判决结果,其中 $\text{MAX}(\theta_i)$ 表示取隶属度的最大值, $\text{SUM}(\theta_i)$ 为隶属度的和。

## 3 仿真结果

为了验证本文算法的性能,对辐射源进行了仿真。仿真过程中对雷达参数数据库中的10部雷达进行仿真(见表1),生成1000个待识别辐射源样本数据,每部雷达对应100个样本。待识别辐射源样本的构造是通过随机抽取一个雷达参数数据库中已知特征参数并加上测量误差(误差标准差为相应已知特征参数的5%或10%)构成,测量误差服从零均值高斯分布。

表2给出了上述条件下通过100次Monte Carlo实验得到基于最小平方误差识别方法的仿真结果。实验中将该方法与基于云模型的辐射源识别方法和基于几何距离度的分类识别方法进行了比较,从

表2中可以看出基于最小平方误差模型识别方法正确识别率最高,达到97.5%,93.7%,优于其他几种识别方法。

图1、图2给出了单次仿真1000部雷达辐射源识别的隶属度分布图,从图中可以看出,基于最小平方误差模型的识别方法得到的隶属度分布相对比较集中,而基于几何距离度模型和云模型的识别方法得到的隶属度分布则比较散,主要原因在于最小平方误差模型充分考虑了特征参数的多值性和相关性。

通过仿真试验,可以得到以下结论:

1) 基于最小平方误差模型的方法可以有效地进行辐射源识别,并能够更好地处理由于设备测量误差所引起的随机性和模糊性。

2) 该模型的建立考虑到了不同特征参数之间的相关性,所以识别正确率高。

表1 雷达参数数据库特征参数

radar	PF/MHz	PRF/Hz	PW/ $\mu$ s	ASV/s
$R_1$	[2 900 2 960]	[620 680] [1 200 1 260]	[0.9 1.5] [30 35]	[3.7 3.9] [1.9 2.0]
$R_2$	[2 930 2 990]	[650 710] [1 230 1 290]	[0.3 0.9] [33 38]	[3.3 3.5] [1.9 2.1]
$R_3$	[2 960 3 020]	[680 760] [1 260 1 320]	[1.5 2.1] [36 41]	[3.5 3.7] [1.7 2.0]
$R_n$	[3 160 3 220]	[890 950] [1 470 1 530]	[0.15 0.4] [57 62]	[3.7 4.1] [2.1 2.4]

表2 辐射源正确识别率对比

error standard deviations relative to the characteristic parameters	recognition method based on least square error model	recognition method based on geometrical distance model	recognition method based on cloud model with effective weights
5%	97.5%	92.0%	74.4%
10%	93.7%	89.1%	53.0%

3) 该模型对同一特征参数有多个区间值的情况是适用的。

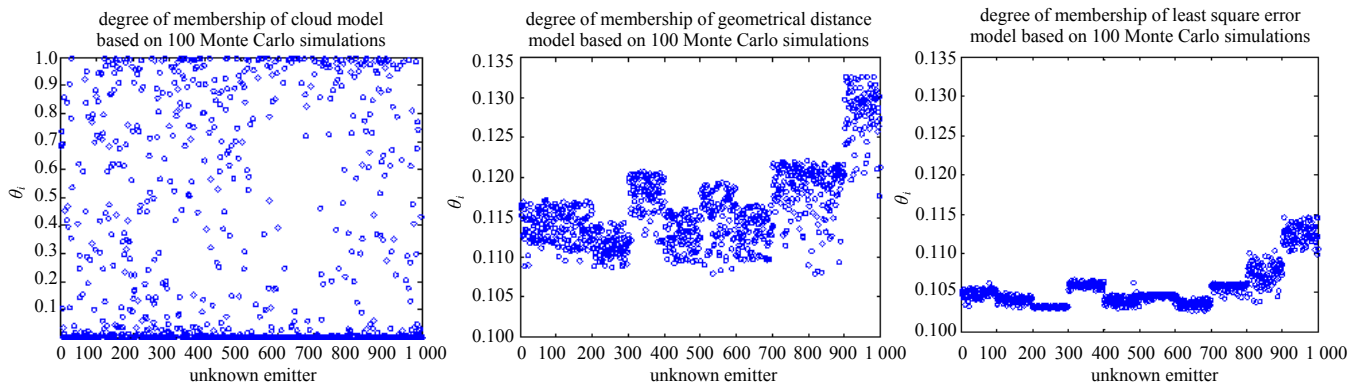


Fig.1 Degree of membership distribution when error standard deviation is 5% of the characteristic parameters

图1 误差标准差为相应已知特征参数的5%时的隶属度分布

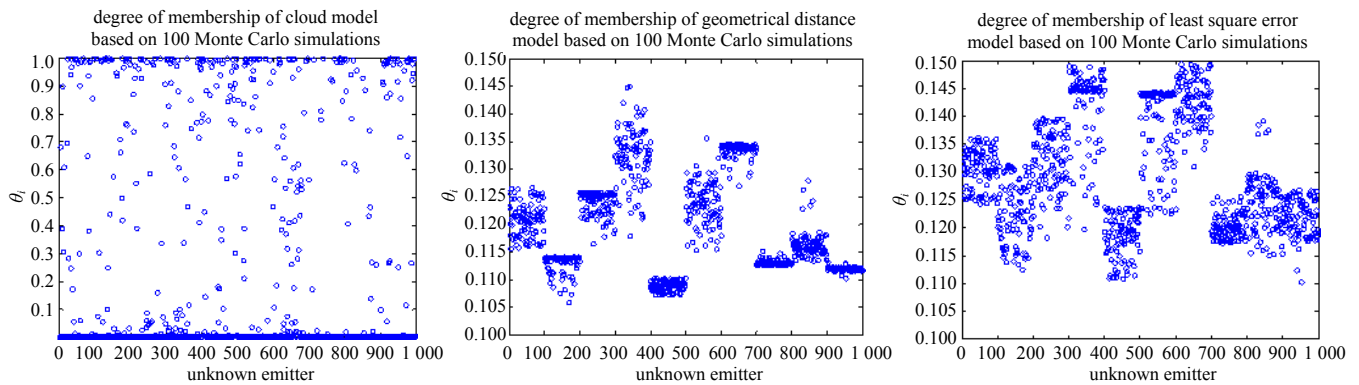


Fig.2 Degree of membership distribution when error standard deviation is 10% of the characteristic parameters

图2 误差标准差为相应已知特征参数的10%时的隶属度分布

#### 4 结论

本文基于最小平方误差的识别方法, 不仅很好地解决了不同特征参数之间相关性的问题, 而且适用于同一特征参数有多个区间值的情况。通过仿真实验, 将该方法与基于几何距离度的分类识别方法和基于改进权值的云模型识别方法进行比较, 验证了这一新的识别方法是有效可行的。需要说明的是本文方法没有考虑脉内调制特征参数, 在下一步要作为重点加以研究。

#### 参考文献:

- [1] 陈国海. 被动雷达的数据处理技术[J]. 雷达与对抗, 2003(4):31-33. (CHEN Guohai. Data Processing Technique of Passive Radar[J]. Radar & Ecm., 2003(4):31-33.)
- [2] 刘海军, 柳征, 姜文利, 等. 一种基于云模型的辐射源识别方法[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(9):2080-2082. (LIU Haijun, LIU Zheng, JIANG Wenli, et al. A Method for Emitter Recognition Based on Cloud Model[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2009, 31(9):2080-2082.)
- [3] 陈锡明, 祝正威, 卢显良. 新型雷达辐射源识别专家系统的研究与实现[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(8):58-62. (CHEN Ximing, ZHU Zhengwei, LU Xianliang. Research and implementation on a new radar radiating source recognizing expert system[J]. Systems Engineering and Electronics, 2000, 22(8):58-62.)
- [4] Shieh Chingsung, Lin Chinteng. A vector neural network for emitter identification[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2002, 50(8):1120-1127.
- [5] 关欣, 何友, 衣晓. 一种新的基于粗集的辐射源信号识别模型[J]. 宇航学报, 2007, 28(3):685-688. (GUAN Xin, HE You, YI Xiao. A novel rough set emitter signal recognition model[J]. Journal of Astronautics, 2007, 28(3):685-688.)
- [6] 丁锋, 姜秋喜. 多传感器模糊 D-S 理论辐射源识别[J]. 光电与控制, 2008, 15(4):34-38. (DING Feng, JIANG Qiuxi. Emitter recognition of multi-sensor data fusion based on fuzzy D-S evidence theory[J]. Electronics Optics & Control, 2008, 15(4):34-38.)

(下转第 43 页)