

文章编号:1001-2486(2005)04-0081-04

电子对抗系统中雷达情报综合技术研究*

张国柱,黄可生,姜文利,周一宇

(国防科技大学 电子科学与工程学院,湖南长沙 410073)

摘要:雷达情报综合是电子对抗系统数据处理中的重要环节,它可以有效地消除虚假和重复雷达。结合雷达信号出现的规律和雷达参数分布特点,讨论了雷达信号合批技术,给出了一种合批方法。该方法可以快速高效地对各类辐射源型号识别、定位的结果进行综合处理,实际应用结果表明该方法是有效的。

关键词:信号合批;电子对抗;模式识别;隶属函数

中图分类号:TN957.52*4 **文献标识码:**A

Radar Association Algorithm in the Electronic Counter System

ZHANG Guo-zhu, HUANG Ke-sheng, JIANG Wen-li, ZHOU Yi-yu

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Radar association is a key issue of the electronic counter system now because it can reduce the false and repeat the radar. We present a new radar association method which combines the laws of the occurrence of the radar signal and the distribution of the radar feature parameter. The method can recognize all kinds of radar radiating source quickly and accurately. The results of test indicate that the method is effective.

Key words: radar association; electronic counter system; pattern recognition; subordinate function

近年来,雷达技术发展很快,涌现了许多具有复杂信号特征的新体制雷达和多用途雷达,使我们面临的空间电磁信号环境日益密集、复杂。现在一部雷达通常有多种工作模式,对应于不同的工作模式,雷达信号参数也有不同的组合;即便是在同一种工作模式,由于各种噪声的影响,雷达信号参数也存在一定的变化范围^[2,3,10]。因此,在全脉冲分选时,很可能把一部雷达辐射源信号分选为若干个信号序列。为了得到真实、有效的最终识别结果,就要求在情报处理过程中对辐射源识别结果进行合批处理,剔除虚假和重复辐射源。

1 雷达情报综合规则

雷达情报综合就是分析雷达工作模式的特点、工作模式的转换规律和定位精度,把属于一部雷达的多个辐射源识别结果归并起来的过程。

一部雷达可以工作在多种模式下,参数组合规律也不同,但是对于同一工作模式,其参数有一定的规律可寻,不同种工作模式其出现时刻具有互斥性,并且位置是不变的,具体规则如下:

- 1) 同一部雷达的同一种工作模式下,各参数变化规律相似,而且参数变化在容差之内;
- 2) 同一部雷达一般战术用途相同;
- 3) 同一部雷达信号出现规律相同;
- 4) 同一部雷达同一时刻只能工作在一种工作模式下;
- 5) 同一部雷达的位置应该在容差范围之内,信号出现时刻也是连续的;
- 6) 同一个位置上不可能有两部载频接近的雷达存在。

雷达情报综合处理就是基于上述规律进行的。

* 收稿日期:2005-03-04

作者简介:张国柱(1976—),男,博士生。

2 雷达情报综合方法

雷达情报综合的对象是已经进行型号识别的辐射源。首先获得所有已经进行型号识别的辐射源参数,包括辐射源型号、载频、重频、脉宽、位置信息和出现时刻,然后根据下述算法进行处理。

假设待合批辐射源参数数据序列为 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$, 合批后雷达参数数据序列为 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, 算法流程如下:

1) 初始化合批后雷达编号 Ass_Num 为 0, 合批置信度 Ass_Conf 为 0;

2) 取第 i 个待合批的辐射源参数数据 e_i ;

3) 取第 k 部合批后雷达参数数据 r_k ;

4) 利用 e_i 与 r_k 的经纬度计算二者之间的绝对距离 $Dist_{ik}$, 如果距离 $Dist_{ik}$ 小于阈值 THD_Dist , 则计算 e_i 与 r_k 之间的参数匹配度 $Para_{ik}$, 如果参数匹配度小于阈值 THD_Para , 则计算 $Dist_{ik}$ 和 $Para_{ik}$ 的加权值 t_Conf , 计算公式如下:

$$t_Conf = w_1 \cdot Dist_{ik} + w_2 \cdot Para_{ik}, \text{ 其中 } w_1 + w_2 = 1$$

如果 t_Conf 大于 Ass_Conf , 则更新 Ass_Conf 为 t_Conf , 同时更新 Ass_Num 为 k ;

5) 取第 $k+1$ 个合批后雷达参数数据 r_{k+1} , 重复上述过程;

6) 遍历完所有合批后雷达, 查看 Ass_Conf , 如果 $Ass_Conf > 0$, 则认为 e_i 属于第 Ass_Num 个合批后雷达, 判别置信度为 Ass_Conf , 更新第 Ass_Num 个合批后雷达的参数, 计算公式如下:

$$\text{合批后雷达新参数 } r_k = \frac{\text{合批后雷达原参数 } r_k \cdot \text{Appear_Count} + \text{当前辐射源参数 } e_i}{\text{Appear_Count} + 1}$$

同时第 Ass_Num 个合批后雷达出现次数 $Appear_Count$ 增加 1;

7) 如果 $Ass_Conf = 0$, 则认为辐射源 e_i 与当前任何一部合批后的雷达都不相似, 追加一个新的合批后雷达 r_{n+1} 到 R 。

雷达信号合批的关键步骤在参数匹配置信度的计算, 下面介绍这部分算法。

3 置信度计算

我们获得的雷达情报中雷达参数一般为一个范围, 还可能不是雷达实际工作参数值, 具有很大的模糊性。而且由于战场的环境复杂, 加之敌对方会采用各种反侦察措施, 更增加了我们侦测雷达信号的模糊性。为了解决雷达识别中的这种模糊性问题, 引入模糊模式识别方法^[1]。

(1) 设 R 代表一部已知雷达工作模式的全体, R 是一个模糊集合:

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_N\}$$

表示雷达辐射源有 N 种模式, 工作模式 j 是如下形式的 M 维特征矢量:

$$R_j = (r_{j1}, r_{j2}, \dots, r_{jM}), \quad R_j \subset R$$

其中 r_{ji} 代表第 j 个模式的第 i 个特征参数, 由于雷达信号的特征参数很多, 实际处理过程中可以选择载频、重频、脉宽、脉内调制样式和调制斜率等典型参数作为特征参数组成特征矢量。

(2) X 是侦收到的待识别雷达信号特征参数矢量, 为 M 维矢量:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_M)$$

(3) 建立模糊隶属函数。由文献[5]可知, 雷达实测信号参数符合正态分布, 所以隶属度函数选取指数型函数:

$$\mu_{w_j}(x_i) = \exp \left| -\frac{(x_i - r_{ji})^2}{2\sigma_{ji}^2} \right|$$

σ_{ji} 代表已知模板库的雷达第 j 个模式的第 i 个特征参数的标准偏差, x_i 是待识别雷达特征矢量第 i 个参数。

(4) 置信度的计算。置信度可以通过融合 M 个隶属度值得到。假设某部雷达工作模式 R 有 M 个

特征参数, a_i 表示参数 x_i 的隶属度加权值, 则待识别雷达 R 相对与模板雷达工作模式 R_n 下的置信度函数为

$$\mu_n = \sum_{i=1}^M a_i \mu_{w_{ni}}, \quad \text{其中} \sum_{i=1}^M a_i = 1$$

4 数据测试

仿真环境为利用专门的仿真软件产生 99 部参数各不相同的雷达, 涵盖了各种信号类型(捷变、参差、跳变等), 图 1 为 99 部雷达实际位置分布图, 图 2 为辐射源识别定位结果位置分布图, 图 3 为雷达情报综合结果与实际雷达分布对比图。

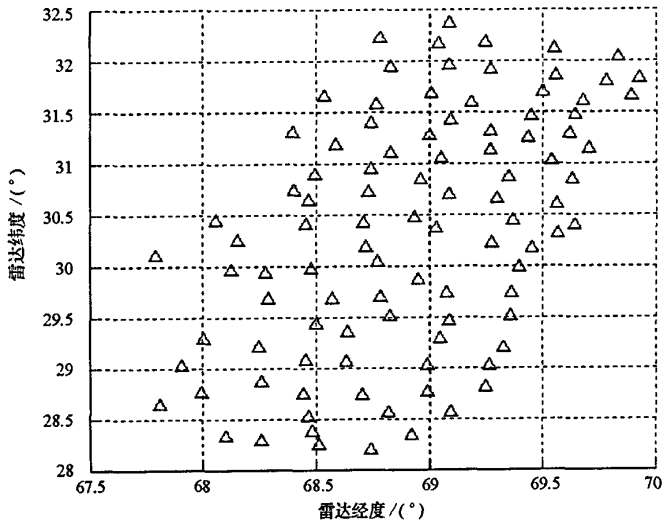


图 1 雷达实际位置分布图

Fig. 1 Position of real radar

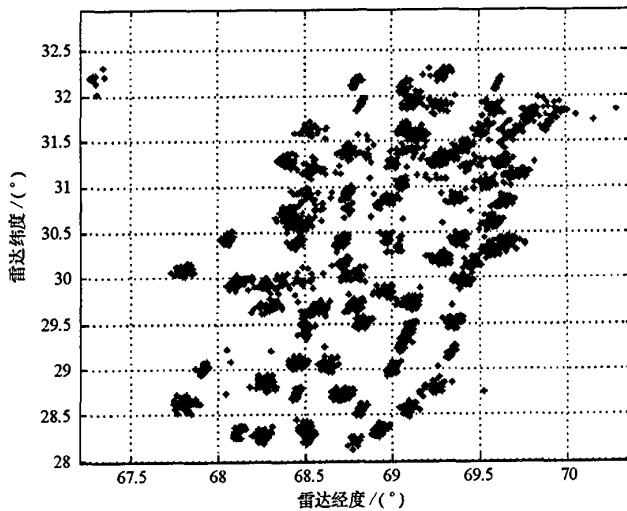


图 2 雷达识别定位结果位置图

Fig. 2 Result of radar location and radar identification

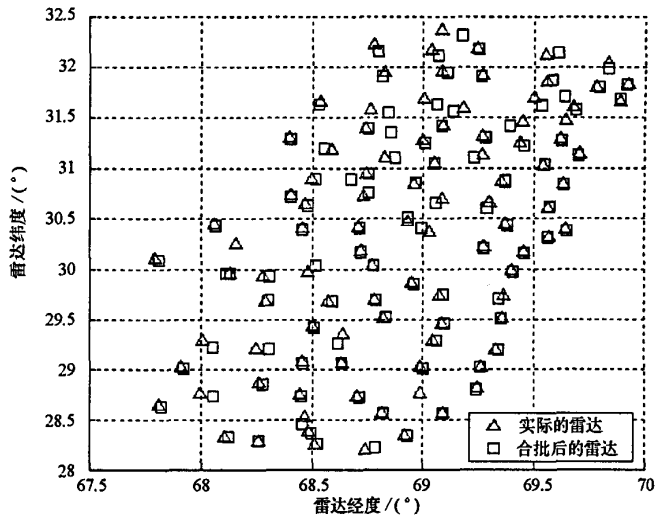


图3 雷达情报综合结果与实际雷达分布对比图

Fig.3 Result of radar Association and position of real radar

由图2可以看出,定位算法和辐射源识别算法的误差造成同一部雷达的识别和定位结果有微小的区别,反映在图2中就是同一部雷达的识别结果投影为密集的一堆。而且某些时刻卫星测角的误差过大,会使定位结果偏离实际位置,如图2中经纬度为(67,32.3)附近的一些雷达。如果不进行情报综合,上述问题的存在不仅会使情报综合的复杂度大大增加,而且会产生大量虚假和重复的情报。

由图3可以看出,本文的合批算法的效果很理想,不仅把一堆雷达正确地合为一部雷达,找出了该雷达的最佳位置,而且剔除了由于定位和分选出错造成的虚假雷达。

5 结论

由仿真结果可以看出:本文方法对复杂环境下的雷达表现出了较强的综合识别能力,利用情报综合算法不仅可以正确地找到辐射源识别定位结果的真实重心,还可以剔除由于信号分选、辐射源识别造成的虚假雷达。这说明本文方法是有效的,当然这个方法并不很完善,在实际的工作环境中要根据需要进行进一步的完善和优化。

参考文献:

- [1] 任若恩,王惠文.多元统计数据分析[M].北京:国防工业出版社,1997.
- [2] 王建华,赵莉萍,等.模糊神经网络的舰载雷达辐射源识别方法[J].哈尔滨理工大学学报,1999,(4):67-69.
- [3] 陈锡明,祝正威,等.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,(8):58-62.
- [4] 边肇祺,阎平凡,等.模式识别[M].北京:北京大学出版社,1998.
- [5] 李峥.情报综合中相关门限的统计分析[J].电子对抗技术,2001,(6):31-35.
- [6] 黄春琳,邱玲,沈振康.数字调制信号的神经网络识别方法[J].国防科技大学学报,1999,(2):58-61.
- [7] Hon Keung K, Yaling C. A Fuzzy Neural Network and Its Application to Pattern Recognition[J]. IEEE Trans on Fuzzy System, 1994, 2(3):185-193.
- [8] Oliver C J, White R G. Radar Clutter Classification Based on Noise Models and Neural Networks[J]. IEEE International Radar Conference, 1990: 329-334.

