

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.05.004

引用格式:王成刚.一种非组合的电磁目标快速识别算法[J].电讯技术,2016,56(5):490-494.[WANG Chenggang. A non-combined fast recognition method for electromagnetic objects [J]. Telecommunication Engineering, 2016, 56(5):490-494.]

一种非组合的电磁目标快速识别算法*

王成刚**

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘 要:针对电磁目标识别算法中辐射源组合的本质是避免同一辐射源的多个可能识别结果同时参与一个目标识别模板的匹配置信度计算的问题,提出了一种非组合的快速电磁目标识别方法。依据目标平台与辐射源的搭载关系,建立辐射源识别和平台识别的两级识别体系,基于两点 and 三点模板匹配法对辐射源进行识别,然后使用非组合的快速模板匹配法对目标平台属性进行识别。仿真实验表明使用该方法计算目标的识别置信度简单易行,可用于实际工程中电磁目标的识别。

关键词:电磁目标识别;辐射源识别;模板匹配

中图分类号:TN971;TP391.4 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2016)05-0490-05

A Non-combined Fast Recognition Method for
Electromagnetic Objects

WANG Chenggang

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: This paper introduces a non-combined fast recognition method for electromagnetic object. In the matching procedure of confidence level computation, a guide line is proposed to prevent the repetitive process from multiple probable results of the same emitter. A two-level object recognition system, which includes emitter recognition and platform recognition, is established based on analyzing the boarding relationship between emitter and its boarding platform (i. e. target). With the use of efficient template matching algorithm and non-combined fast template matching algorithm, emitters and targets can be recognized in order. The simulation example shows that the method is simple and easy to use for calculating the matching confidence level and can be used for recognizing the electromagnetic object in practical engineering.

Key words: electromagnetic objects recognition; emitter recognition; template matching

1 引 言

在现代战争中,隐身、机动、高速平台“缩短”了目标的可探测时间,远程精确打击弹药、从传感器到射手的快速链接,则进一步加速了战斗进程,展现出了特有的“快”吃“慢”的现象,目标常常在没有或无法作出有效反应的时候就被突而而至的弹药秒杀。能够进行快速电磁目标识别是现代战场感知系统应具备的先进性能之一。它是减少战斗误伤、提高协同作战部队防御能力、增强己方作战部队的进攻能力的前提条件,同时也是提高总体作战效率、获取战争胜利的重要因素,日益受到军方的重视^[1-3]。

加快电磁目标识别的方法主要有 3 种:一是使用并行处理的方法;二是使用高效率的专用硬件设备;三是改进算法,减少计算步骤。文献[4-5]采用

* 收稿日期:2016-03-14;修回日期:2016-04-20 Received date:2016-03-14;Revised date:2016-04-20
基金项目:“十二五”国防预研项目
Foundation Item: The National Defense Pre-research Project in 12th Five-year Plan

** 通信作者:cgwang@126.com Corresponding author:cgwang@126.com

并行计算的方法,提高了目标识别的速度;文献[6-7]采用专用硬件设备,实现了快速识别的目的。改进算法、减少计算步骤是提高目标识别速度最直接、最有效的方法,但目前相关文献较少。本文对传统的电磁目标识别过程进行了分析和研究,提出了一种非组合的快速匹配识别算法,通过减少匹配计算步骤,实现快速目标识别的目的;最后通过两个实验对本文提出的识别方法进行了仿真验证。

2 电磁目标综合识别的原理

目标上搭载的电磁辐射源装备一般有非通信和通信两大类,目标根据作战规则交替、组合使用上述辐射源装备。电磁目标综合识别的过程通常包括辐射源识别、目标关联和目标平台识别,如图 1 所示。

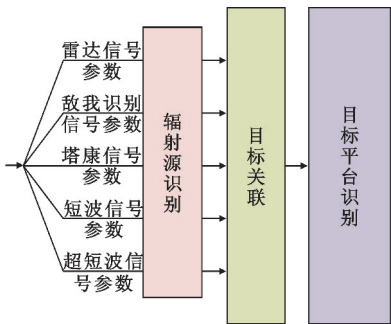


图 1 电磁目标综合识别的原理

Fig. 1 Principle of electromagnetic objects recognition

辐射源识别主要包括非通信信号的识别和通信信号的识别。非通信信号侦察设备可以得到目标辐射源设备的载频、脉宽、脉冲重复频率、示向度等参数,利用脉冲重复频率、载频上下限、脉宽上下限与相关数据库数据进行比对,可以得到一定概率的辐射源装备型号和目标平台型号等信息。通信信号侦察设备可以得到目标通信设备的载频、频段、变频规律、调制方式、带宽、示向度等参数,利用载频、频段、变频规律、调制方式、带宽等参数与相关数据库进行比对,可以得到一定概率的网台种类、通信级别和通信用途等信息。

目标关联就是将属于同一平台上的多个辐射源侦察结果映射到同一个目标上,从而为后续的目标平台识别积累判证依据。

目标平台识别依据以下事实:不同的目标(飞机或舰船)所装备的电子设备的种类通常是不一样的,且同一目标在不同的行为状态下所使用的电子设备的类型和参数也是不一样。

利用先验知识建立好辐射源识别知识库和目标

平台识别知识库以后,就可以进行如下的两级识别了:首先识别平台上的各种辐射源类型,再根据平台设备配置知识以及关联到同一平台上的辐射源参数识别出目标平台的身份。

3 辐射源的识别

模板匹配法是一种简单、高效的辐射源识别方法。它直接以知识库中辐射源样本参数值作模板,将实际侦测到的辐射源参数与之进行匹配,选取匹配度最大的样本所代表的辐射源作为识别结果^[8]。两点区间和三点区间是两种典型的辐射源参数,下面分别给出这两种典型参数的快速匹配算法。

3.1 两点模板匹配

电磁辐射源的某些特征参数,如载频通常是以数据段的形式给出的,包括最大值和最小值之间的所有可能取值。模板匹配的原理如图 2 所示。

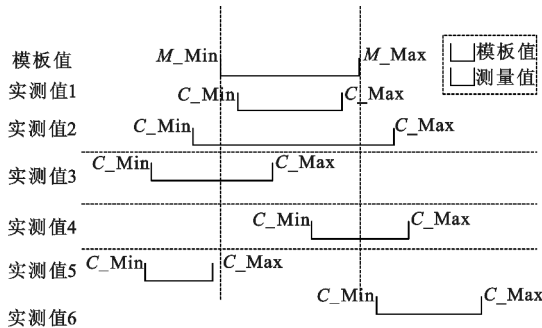


图 2 两点模板匹配的原理

Fig. 2 Principle of two points template matching

辐射源参数的测量值和模板值之间的关系有 6 种可能,每种情况的模板匹配结果如下:

- 实测值 1 匹配结果 = 1 ;
- 实测值 2 匹配结果 = 1 ;
- 实测值 3 匹配结果 = $\frac{C_Max-M_Min}{M_Max-M_Min}$;
- 实测值 4 匹配结果 = $\frac{C_Max-M_Max}{M_Max-M_Min}$;
- 实测值 5 匹配结果 = 0 ;
- 实测值 6 匹配结果 = 0 .

辐射源的某些特征参数是以类型的方式给出的,如信号的调制方式等。对于以类型方式给出的特征参数,匹配结果只有 0 和 1 两种可能,即测量值与模板值相等时匹配结果为 1,反之为 0。

辐射源可能具有多种特征参数,通常根据特征的重要性分配一定的权值 w_i ,假设每个特征 f_i 的匹配概率等于 P_i ,则辐射源的匹配概率 $P = \sum w_i P_i$ 。

通常给出匹配概率最大的几个辐射源型号作为

识别结果。

3.2 三点模板匹配

对于增加了标称值典型取值点的参数类型,辐射源识别算法需要进行如下改进。以频率为例,由于增加了频率的标称值,对模板匹配算法改进,原理如图 3 所示。

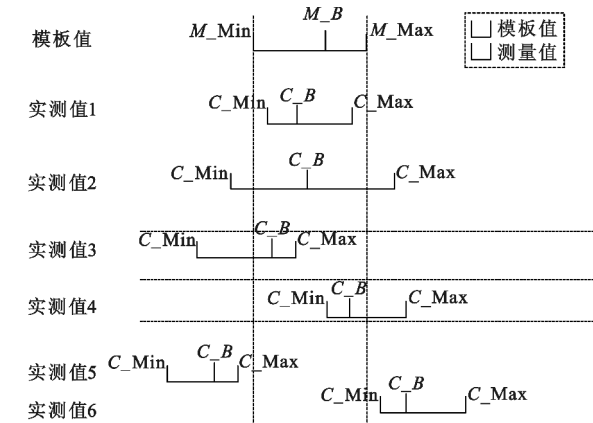


图 3 三点匹配算法原理
Fig. 3 Principle of three points template matching

辐射源参数的测量值和模板值之间的关系有 6 种可能,每种情况的模板匹配结果如下:

实测值 1 匹配结果 =

$$1 - \left(\frac{|M_B - C_B|}{(C_Max - M_Min) + |M_B - C_B|} \cdot \frac{|M_B - C_B|}{(C_Min - M_Min) + |M_B - C_B|} \right);$$

实测值 2 匹配结果 =

$$1 - \left(\frac{|M_B - C_B|}{(M_Max - C_Min) + |M_B - C_B|} \cdot \frac{|M_B - C_B|}{(M_Min - C_Min) + |M_B - C_B|} \right);$$

实测值 3 匹配结果 =

$$\frac{C_Max - M_Min}{M_Max - M_Min} \cdot \frac{(C_Max - M_Min)}{(C_Max - M_Min) + |M_B - C_B|};$$

实测值 4 匹配结果 =

$$\frac{C_Max - M_Max}{M_Max - M_Min} \cdot \frac{(C_Max - M_Max)}{(C_Max - M_Max) + |M_B - C_B|};$$

实测值 5 匹配结果 = 0;

实测值 6 匹配结果 = 0。

4 目标平台的识别

目标平台识别通常也采用模板匹配的方法,即将识别出的辐射源型号与知识库中平台识别模板进行匹配,选取匹配度高的作为识别结果。

4.1 组合模板匹配法

组合模版匹配法是一种常用的目标平台识别方

法,其过程分为组合、匹配、排序三个步骤。组合是对平台上多个辐射源的多种识别结果进行排列组合的过程。下面以关联到一个平台上的 3 种辐射源为例来演示辐射源组合,假设每个辐射源提供最多 3 种可能的识别结果,如图 4 所示。

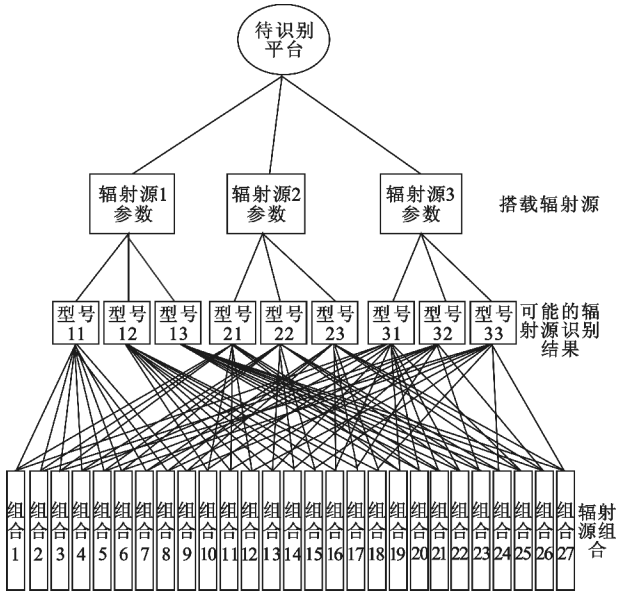


图 4 组合模板匹配法识别原理
Fig. 4 Principle of combined template matching

通过排列,获得待识别平台上所搭载辐射源的可能组合为 27 种。接下来将每一种辐射源组合和每一个平台模版进行匹配,如图 5 所示。

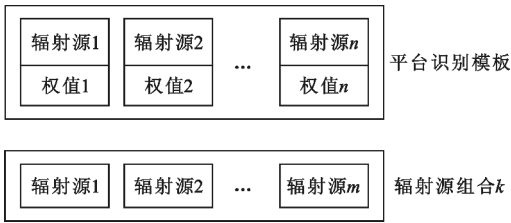


图 5 比对和识别
Fig. 5 Matching and recognition

可见,如果要计算某平台存在的置信度,需要将其识别模板与上述 27 种组合结果进行一一匹配,计算匹配置信度。最后,通过对每一个匹配置信度排序,取匹配置信度最大的模板所代表的平台作为识别结果。在目标关联上的辐射源较多时,上述识别方法会导致组合爆炸,极大地降低了目标识别的效率。因此,应从如何避免辐射源组合的角度出发来改进上述算法。

4.2 算法的改进

组合的本质:由于目标上的每一个辐射源都有

多种可能的识别结果输出,通过组合的机制可以避免同一辐射源的多个可能识别结果同时参与一个目标识别模板的匹配置信度计算。

因此,改进后的算法只有匹配和排序两个步骤,但是在匹配的过程中要保证每一个辐射源最多只有一个识别结果对平台识别的置信度计算做出贡献,如图 6 所示。

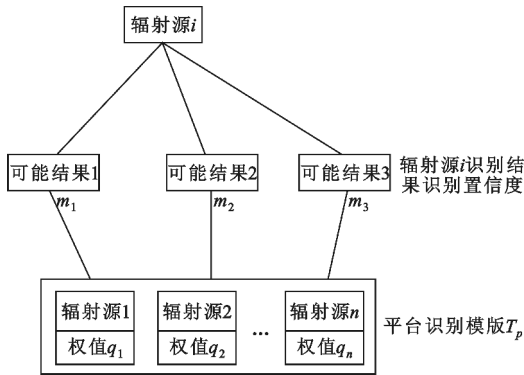


图 6 识别算法改进原理

Fig. 6 Principle of recognition algorithm improvement

要实现上述目标,需要改进匹配计算的流程,具体如下:在计算一个平台识别模板的识别置信度时,首先比对辐射源 i 的每一种可能识别结果在模板 T_p 中是否存在,如果辐射源 i 中多于一个识别结果与模板 T_p 匹配上,则比较辐射源 i 的多种可能识别结果的置信度与平台识别模板 T_p 中辐射源权值相乘的值,选择最大的一个用于计算平台识别模板的置信度,如下式:

$$P(T_p) = \sum_{i=1}^n \text{Max}(m_{ij} \times q_k)。(1)$$

式中: m_{ij} 为第 i 个辐射源的第 j 个识别结果的置信度; q_k 为平台识别模板中与之匹配的辐射源的权值。

接下来,使用与传统组合匹配法相同的排序步骤后,就可以得到平台识别结果。可见,算法的改进主要在取消组合步骤和改进匹配过程。由此,可以巧妙地避免组合算法的同时亦可取得与组合算法同样的计算结果。

5 仿真实验

对上述辐射源识别算法和平台识别算法分别进行仿真,实验 1 为验证辐射源识别结果的输出个数与识别错误率的关系,实验 2 为验证改进平台识别算法后效率的提升。

5.1 实验 1

选择射频、脉冲重复频率和脉冲宽度 3 个特征

参数构成雷达辐射源特征向量。假设有 50 个雷达类;按照均匀分布从 UHF 频段到 Ka 频段随机抽取 300 个雷达射频数据,按等概率随机分配给 50 个雷达类;按对数正态分布随机抽取 300 个脉冲重复频率和脉冲宽度参数,也按照等概率随机的分配给 50 个雷达类。其中,对数正态分布的概率密度函数为

$$f(x) = \frac{\lg e}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \cdot \exp\left[-\frac{(\lg x - u)^2}{2\sigma^2}\right]。 (2)$$

对脉冲重复频率, $\mu = 0.96 \text{ kHz}, \sigma = 0.36 \text{ kHz}$; 对脉冲宽度, $\mu = 0.72 \text{ kHz}, \sigma = 0.57 \text{ kHz}$ 。

按照上述方法随机抽取的 300 个射频数据、脉冲重复频率和脉冲宽度构成雷达识别的数据库。由于只有 50 个雷达类,因此每个雷达类都有很多模式。构造观测模式时,假定测量误差服从高斯分布,且测量误差标准差为相应已知特征参数的 0.02% ~ 2%。使用辐射源模板匹配法,得如图 7 所示的结果。

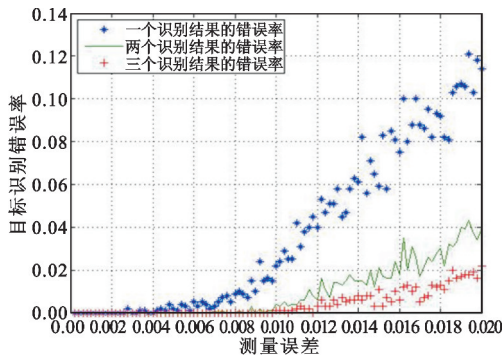


图 7 不同条件下的识别错误率

Fig. 7 Recognition error rate

图 7 中蓝色曲线表示当只选择识别置信度最高的一个结果作为最终辐射源识别结果时识别错误率随测量误差的变化情况,可以看出当测量误差很小时,此传感器的识别错误率也很低;但当测量误差增大时,识别错误率上升的速度也很快。红色曲线为取两个最高置信度辐射源识别结果,且只要其中有一个识别结果是正确结果就认为识别是正确的;绿色为取 3 个置信度最高的识别结果。我们可以看出由于输出结果数目的增加,对正确结果的覆盖率增大,所以识别错误率较输出一个识别结果有所降低。由此实验可得如下结论:在进行辐射源识别时,最多给出 3 个识别置信度超出门限的识别结果较为恰当。

5.2 实验 2

假设有 5 种型号的平台目标共 50 个,搭载通信、雷达、敌我识别和塔康辐射源,具体情况见表 1。

表 1 目标及辐射源搭载关系

Tab. 1 Emitter boarding system in targets

目标 型号	目标 数量	搭载通 信网台	搭载雷 达设备	敌我 识别	塔康
1	16	T1、T2	L1、L2、L5	MK1	TK1
2	7	T2、T4	L2、L4、L5	MK1	TK2
3	10	T1、T4	L3、L5、L6	MK2	TK1
4	7	T1、T2、 T3、T4	L2、L6、L8	MK1	Tk1
5	10	T3	L1、L7	MK2	TK1

在进行辐射源识别过程中,每种辐射源允许最多给出 3 种可能的识别结果;在平台识别过程中按照组合匹配法和非组合匹配法分别进行识别处理,获得如表 2 所示的实验结果(1 000 次蒙特卡洛仿真,仅统计平台识别时间,PC 机 CPU 为酷睿 i5、内存 4 GB)。

表 2 实验结果

Tab. 2 Experiment result

方法	目标识别正确率/%	识别时间/s
组合法	85.6	25.53
非组合法	85.6	2.62

在本仿真条件下,两种识别方法获得的平台识别结果均相同,非组合匹配法所消耗的时间约为组合法的 1/10。

6 结束语

本文提出的识别方法其优点是速度快,和传统的模板匹配识别法具有相同的识别准确度。但是,当目标识别系统复杂时,识别规则会显著增多,仅仅依靠雷达、敌我识别、塔康、通信等少数几种电子设备匹配识别平台还有一个问题:如果一个目标平台所携的辐射源较多,系统在正确判断出该飞机平台的同时,可能会将另一架携带辐射源较少(是前者的一个子集)的目标平台也以较高置信度给出。因为后者携带的设备是前者的子集,是一种相容关系,从而造成系统识别的多义性;而且仅靠雷达等几种电子设备匹配识别平台时信息较少,不可避免地存在着误差的影响。另外,由于基于规则的推理要通过与知识库中的规则进行匹配,因此目标识别的质量在很大程度上取决于知识库的完备程度。

参考文献:

[1] 南建设. 目标综合识别系统研究[J]. 电讯技术,2007,47(5):74-77.
NAN Jianshe. Study on an integrated target identification system [J]. Telecommunication Engineering, 2007, 47

(5):74-77. (in Chinese)

[2] 王成刚. 目标综合识别系统中的多级分层属性融合方法研究[J]. 舰船电子工程,2010,30(5):67-69.
WANG Chenggang. Research on multilevel and delaminating attribute fusion method for target synthetic identification system [J]. Ship Electronic Engineering, 2010, 30 (5):67-69. (in Chinese)

[3] 梁丰. 非协同目标识别技术的研究进展[J]. 电讯技术,2012,52(12):1998-2003.
LIANG Feng. Research progress on non-cooperative target identification technology [J]. Telecommunication Engineering,2012,52(12):1998-2003. (in Chinese)

[4] 周乐儒,王宝树. 数据融合系统中并行目标识别的研究与实现[J]. 计算机工程,2006,32(5):189-191.
ZHOU Leru,WANG Baoshu. Research and implementation of parallel object recognition in data fusion system [J]. Computer Engineering,2006,32(5):189-191. (in Chinese)

[5] 易舜昌. 并行计算在目标识别中的应用研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2006.
YI Shunchang. Research on parallel computing in target identification [D]. Xi'an:Xidian University,2006. (in Chinese)

[6] 马永军,袁赢,李灏. 面向 CPU+GPU 异构平台的模板匹配目标识别并行算法[J]. 天津科技大学学报,2014,29(4):48-52.
MA Yongjun,YUAN Ying,LI Hao. Parallel algorithm of CPU and GPU-oriented heterogeneous computation in template matching target recognition [J]. Journal of Tianjin University of Science & Technology,2014,29(4):48-52. (in Chinese)

[7] 鄢余武,胡方方,张金成. 多 DSP 并行的神经网络集成目标识别法[J]. 火力与指挥控制,2009,34(9):99-102.
YAN Yuwu,HU Fangfang,ZHANG Jincheng. Neural network ensemble target recognize of parallel structure based on DSP [J]. Fire Control & Command Control, 2009, 34 (9):99-102. (in Chinese)

[8] 王琨鹏,颜春林,杨辉. 基于模板匹配的雷达辐射源信号识别研究[J]. 舰船电子对抗,2014,37(5):31-33.
WANG Kunpeng,YAN Chunlin,YANG Hui. Research into radar emitter recognition based on template matching [J]. Shipboard Electronic Countermeasure,2014,37(5):31-33. (in Chinese)

作者简介:



王成刚(1979—),男,安徽怀远人,2007 年于中国科学院光电技术研究所获博士学位,现为高级工程师,主要从事信息融合、目标识别等方面的研究工作。

WANG Chenggang was born in Huaiyuan, Anhui Province, in 1979. He received the Ph.D. degree from Institute of Optics and Electronics,Chinese Academy of Sciences, in 2007. He is now a senior engineer. His research concerns information fusion and target recognition.

Email:cgwang@126.com