

一种弹道目标识别数据库构建方法

田西兰^{1,2}, 李川¹, 蔡红军^{1,2}, 王曙光^{1,2}, 郭法滨¹, 张瑞国³

- (1. 中国电子科技集团公司第三十八研究所, 安徽合肥 230088;
2. 孔径阵列与空间探测安徽省重点实验室, 安徽合肥 230088;
3. 太原卫星发射中心, 山西太原 030027)

摘要: 雷达目标识别数据库用于目标特性分析、识别算法验证,是实现智能目标识别系统的关键所在。本文从弹道目标识别数据特性出发,以典型弹道目标识别任务为牵引,从数据来源、特征信号、目标特征、分类判决进行逐级分析与设计,获得一种弹道目标识别数据库设计方法,支持实时特性数据读写操作、动态模型训练、批量数据查询等基础操作,并适用于群目标分辨、真假弹头识别等不同层面的识别任务,该数据库设计方法已在工程实践中应用,性能稳健,推广性强。

关键词: 弹道目标识别; 目标特性; 数据库; 构建方法

中图分类号: TN957; TJ765 文献标志码: A 文章编号: 1672-2337(2020)04-0433-05

Construction and Application of Ballistic Target Recognition Database

TIAN Xilan^{1,2}, LI Chuan¹, CAI Hongjun^{1,2}, WANG Shuguang^{1,2}, GUO Fabin¹, ZHANG Ruiguo³

- (1. The 38th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hefei 230088, China;
2. Key Laboratory of Aperture Array and Space Application, Hefei 230088, China;
3. Taiyuan Satellite Launch Center, Taiyuan 030027, China)

Abstract: Radar target recognition database, which can be used to validate algorithms and analyze target characteristics, is the key to realize an intelligent ballistic target recognition system. In this paper, a ballistic target database design method, which is constructed from data sources, echo signals, features, and classification tasks in layers, is proposed for typical ballistic target recognition tasks based on the characteristics of measured ballistic target data. The proposed method supports typical basic operations, such as real time read and write operations, dynamic model training, batch data inquiring. According to results of database running, the proposed construction method performs well and robustly, and can be generalized to different classification tasks, including the classification of ballistic target group and the classification of true and false warheads.

Key words: ballistic target recognition; target characteristics; database; construction method

0 引言

作为人工智能技术在军事应用的典型案例,雷达目标识别已经成为新一代智能武器装备的标志性功能^[1-2]。雷达目标识别的基石为目标特性数据。作为典型的数据驱动的算法模型,雷达目标识别数据库的完备性与精确性直接决定目标识别的系统性能。

弹道目标识别为军用雷达目标识别技术的制高点,也是各强国军事对抗的核心支撑技术。作

为典型的非合作性目标识别,弹道识别数据的积累呈现周期长、代价高、标定难等特点。将积累的珍贵的实测数据进行统一入库管理,并利用仿真等手段进行有效的数据库扩充是进行知识继承与挖掘,实现弹道目标识别系统性能持续稳定提升的重要途径^[3-5]。

1 弹道目标识别数据特性分析

在数据来源与数据结构层面,弹道目标识别数据具有多源异构特性。涵盖原始回波数据、RCS

序列、航迹信息、高分辨一维距离像 (High Resolution Range Profile, HRRP)、宽带二维 ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar) 图像在内的目标特性数据往往来自不同型号、不同频段以及不同的任务场景, 差异性显著。图 1 为典型的弹道目标特性数据表征形式。除速度、高度等典型运动特征外, RCS 序列、HRRP 等测量数据的特性均与目标-雷达间的距离、相对姿态 (即雷达视线方向与目标中心轴向的夹角)、雷达的工作参数等紧密相关。

弹道目标的测量数据为目标与环境综合作用的结果, 因此, 在对弹道目标数据进行统一管理入库时, 需同时对环境信息、布站信息 (即识别场景)、传感器工作参数进行详细、精确的记录。

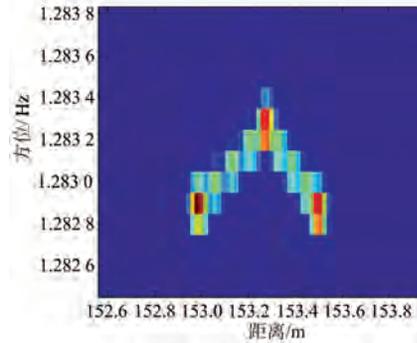
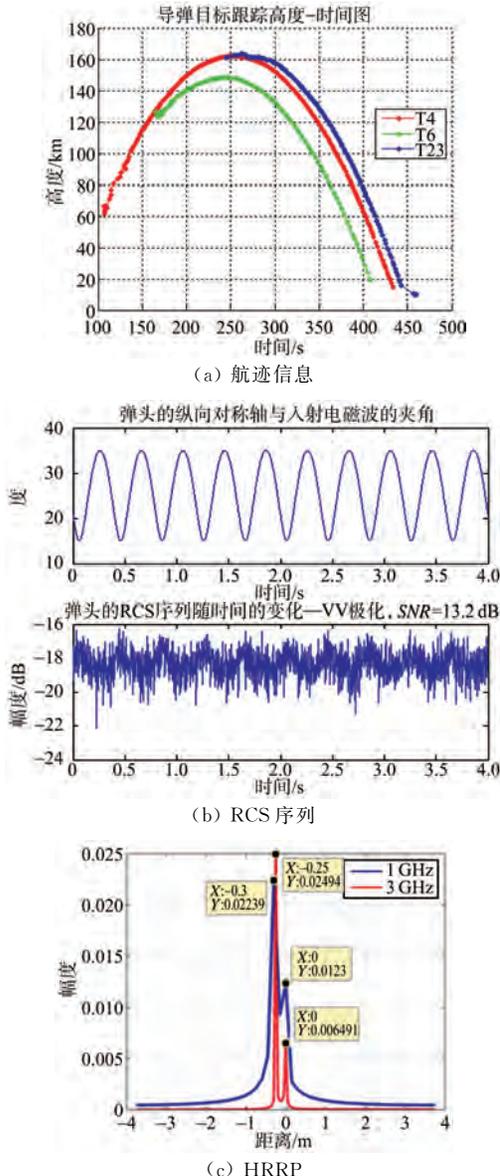


图 1 典型弹道目标特性数据

2 弹道目标识别数据库构建方法

目标识别数据库的构建方法与识别任务密切相关。从任务层面来讲, 常见的识别任务可分为弹道目标群目标分辨、头体分辨与真假弹头识别。近年来, 随着弹道目标突防手段的不断丰富与对抗条件的日益复杂, 对于级间分离、弹头调姿等典型事件的关注也越来越重。本文所述的数据库设计方法针对上述识别任务展开。

2.1 弹道目标识别数据库架构设计

弹道目标识别数据库的总体架构如图 2 所示。在线应用中, 采用边识别边入库的方式对识别相关的数据进行存储管理。离线应用中, 基于库内的特性数据对分类器的参数、特征优选规则进行迭代优化。

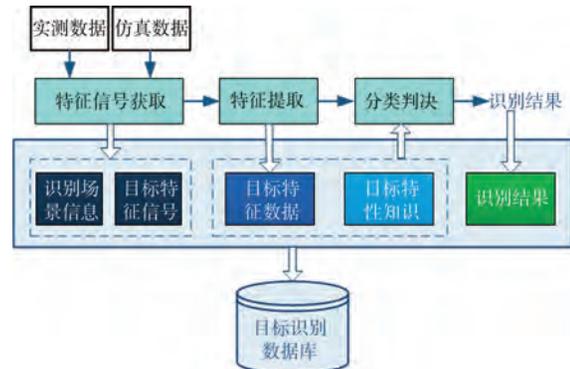


图 2 弹道目标识别数据库架构

2.2 识别数据库构成

实际应用中, 弹道目标识别的典型处理流程为获取识别数据, 进行预处理获得目标的特征信号, 在此基础上进行特征提取, 并基于特征向量完

成分类判决。

1) 从数据来源层面,弹道目标识别数据主要分为实测数据与仿真数据。实测数据源于历次实战任务,数据价值高,但数量相对较少,真值较难标定,分布也不能覆盖完备的特征信息的分布空间。仿真数据源于电磁仿真计算或微波暗室测量。电磁仿真计算的精度与准确度通常基于三维模型的精度以及电磁仿真的实现方式。微波暗室测量基于目标的缩比模型在雷达收发模块的配合下完成数据获取。两种仿真方式均具有成本低、获取数据快、真值易标定等特点,是实测数据的有效补充。

2) 在特征信号层面,目标识别数据库在识别场景信息与目标特征信号两项中充分体现。识别场景信息主要包含雷达工作环境及工作参数信息,典型属性项如表1和表2所示。

表1 雷达工作环境信息

属性项	内容
编号	数据记录的编号
录入日期	数据记录的录入日期
站址	雷达所在位置的经纬高信息
阵面朝向	雷达阵面的方位角和俯仰角信息
软件版本	目标识别软件版本信息
...	...

表2 雷达工作参数信息

属性项	内容
编号	数据记录的编号
录入日期	数据记录的录入日期
目标批号	目标的批号信息
采样频率	当前数据的采样频率
带宽	带宽信息
重频	重频信息
脉宽	脉冲宽度信息
...	...

目标特征信号为用于进行特征提取的原始特征信号,其录入方式为在线自动录入,主要包含数据录入日期、目标批号信息、RCS序列、一维距离像、时频图像等,具体内容如表3所示。

3) 在目标特征层面,基于各特征信号进行典型的特征提取,并进行自动入库,典型特征信息如表4所示。

表3 典型目标特征信息

属性项	内容
编号	数据记录的编号
录入日期	数据记录的录入日期
目标批号	目标的批号信息
基本运动信息	时间-高度图等
RCS序列	RCS特征序列
一维距离像	一维距离像
时频图像	时频图像
...	...

表4 典型目标特征信息

属性项	内容
编号	数据记录的编号
录入日期	数据记录的录入日期
目标批号	目标的批号信息
运动特征	高度、速度等
RCS特征	RCS各特征值
一维距离像特征	散射点特征与分布特征
微动特征	周期、结构参数等
...	...

4) 在分类判决层面,一方面,事先存储目标特性知识,作为先验供综合判决参考,另一方面,将程序运行的结果进行实时入库,结合后续的真值比对,完成目标识别模型的自学习与更新,目标特性信息与识别决策信息分别如表5和表6所示。

表5 目标特性知识

属性项	内容
型号	目标型号信息
外形	尖锥体、多锥体等
尺寸	锥高、锥底半径等
结构	单级、多级,是否包含多弹头等
属性	国籍,我方/敌方/友方
...	...

表6 目标识别决策层面入口信息

属性项	内容
编号	数据记录的编号
录入日期	数据记录的录入日期
目标批号	目标的批号信息
识别结果	程序运行的实时结果
真值	事后确认的真值
...	...

目标识别数据库离线应用时,能否直接支撑

常规识别任务的验证取决于对决策信息的标定精度。以 RCS 序列为例,真值信息可同时被标注为:是否为弹头群,是否为真弹头,是否存在调姿,等等。对一段观测数据的属性标注的维度越多,对实际应用时的支撑就越大。

3 弹道目标识别数据库应用实例

弹道目标识别数据库的意义在于对战时及历史数据的实时、规整积累,对专家经验的具象、统一的管理与利用。

实际应用中,采用客户端/服务器的开放式架构,实现对弹道目标识别数据的统一存储与管理。运行时,目标识别调用数据库接口协议,对弹道目标的雷达观测数据、特征数据及测量环境等相关信息进行自动入库。数据库的应用实现方案如图 3 所示。

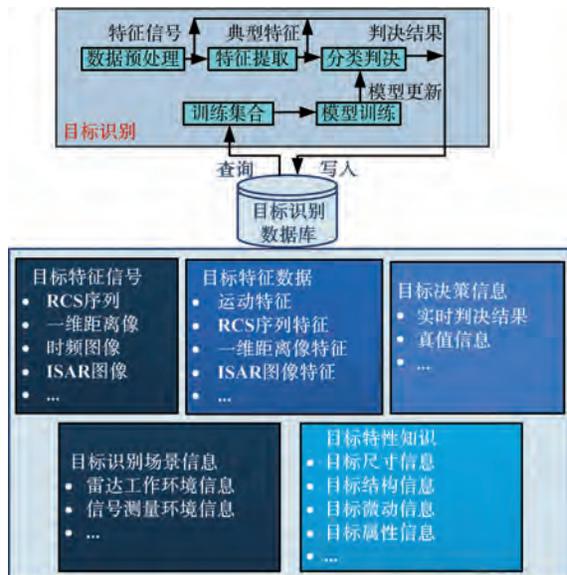


图 3 数据库应用与实现方案

基于人大金仓 KingbaseES,以表 7 为例进行创建数据表操作阐述。其中,index 为数据表中的数据序号;TaskDate 为任务日期;TrkID 为目标编号;Time 为数据测量的时间,为一维向量;Hrrp 为目标的一维距离像序列;Fea 为基于 Hrrp 计算所得的特征向量,为一维向量。

表 7 弹道目标特性数据表示例

信息	index	TaskDate	TrkID	Time	Hrrp	Fea
类型	整数	日期	整数	向量	向量	向量

成功连接数据库后,可以基于 Matlab 软件完成表 7 内容的数据表创建:

```
mktab = ['CREATE TABLE HrrpData (index
```

```
integer, TaskDate date, TrkID integer, Time text, Hrrp text, Fea text');
```

```
exec(conn, mktab);
```

同时,也可以基于 Matlab 软件将特性数据写入数据库:

```
Fastinsert(conn, 'HrrpData', {'index', 'TaskDate', 'TrkID', 'Time', 'Hrrp', 'Fea'}, {1, '2019-11-11', 1, num2str(1; 10), num2str(rand(1, 10)), num2str([3.2 4.2])});
```

```
Commit(conn);
```

通过指定条件对积累的数据进行查询,构建识别训练集合。典型数据库操作界面如图 4 所示。在数据库交互时,采用多账户形式,对不同账户设置不同的操作权限,确保数据安全。

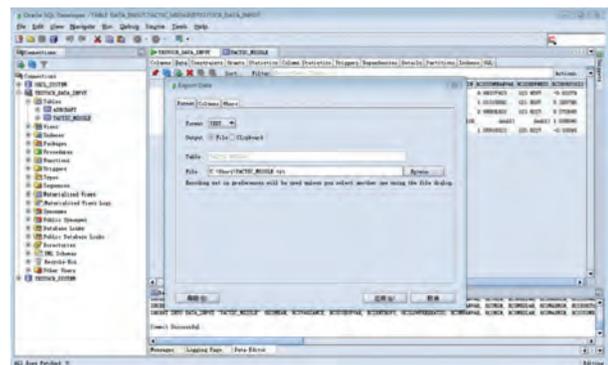


图 4 典型数据库操作界面

以下情况能够直接扩充样本分布空间,对分类器训练具有重要的支撑作用,需重点考虑,将其加入训练集:

- 1) 实时软件错判的案例,即事后确认的真值与实时判决的结果不一致的数据记录;
- 2) 新出现的目标种类;
- 3) 已有目标新探测到的识别场景,涵盖新的姿态、新的距离段、新的布站方式等。

基于更新后的训练集重新进行模型训练,利用更新后的模型进行在线目标属性判决,并将实时运行的特征信号、目标特征、判决结果等进行入库管理,事后对真值信息进行补充。在该过程中,弹道目标识别通过与数据库的交互迭代实现自学习、自提升。

4 结束语

作为反导防御系统最为关键的基础性问题,弹道目标识别性能直接关系到弹道导弹防御的成

败。新一代智能雷达通过目标识别数据库实现对历史数据的管理与存储,并通过与目标识别数据库的交互处理实现自身性能的迭代提升。本文综合考虑弹道目标识别的典型任务特点与弹道目标测量数据的特性,设计了一种弹道目标识别数据库,并基于成熟数据库软件给出应用示范,具有良好的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 李陆军,丁建江,吕金建,等. 弹道导弹目标特性研究[J]. 飞航导弹,2015(6):34-39.
- [2] 王曙光,田西兰. 雷达目标识别数据库设计方法研究[J]. 科技视界,2017(6):19.
- [3] 刘飞,何明浩,冯明月,等. 雷达辐射源识别中数据库的构建及应用[J]. 现代防御技术,2017,45(6):11-16.
- [4] 田西兰,郭法滨,赵洪立. 一种基于半监督学习的弹道目标识别方法[J]. 雷达科学与技术,2017,15(6):651-655.
- [5] 陈未未,张兴敢. 基于一维距离像和微动特征的弹道导弹识别方法[J]. 南京大学学报(自然科学版),2016,52

(上接第 432 页)由图 2 可以看出,分别经过最优参数 SVM 和传统 SVM 进行点迹鉴别,再将鉴别出的杂波点迹滤除掉后,与原始点迹对比,大部分的杂波回波点迹被滤除掉,获得了较好的效果。对比图 2(c)和图 2(d)可以看出,最优参数下的 SVM 算法的杂波滤除效果要优于传统 SVM 算法。

5 结束语

本文提出了一种基于 PSO-SVM 算法的雷达点迹真伪鉴别方法,该方法利用雷达点迹形成过程中所生成的特征参数,先利用 PSO 算法对 SVM 算法参数优化,获得最优参数组合,再利用最优参数组合下 SVM 算法对雷达点迹进行真伪鉴别,滤除杂波点迹。通过与传统 SVM 算法比较,验证了本文所提算法的可行性和有效性。实验结果表明,该算法点迹鉴别准确率达到 92.13%,杂波滤除效果均优于传统 SVM 算法。

参考文献:

- [1] XU Shiyu, TANG Chaojing, JING Peiliang, et al. Efficient Centralized Track Initiation Method for Multistatic Radar [C] // International Conference on Information Fusion, Salamanca, Spain: [s.n.], 2014:132-138.
- [2] 胡卫东,杜小勇,张乐锋,等. 雷达目标识别理论[M]. 北京:国防工业出版社,2017:1-15.

(6):1113-1120.

作者简介:



田西兰 女,1981年生,山东新泰人,博士,主要研究方向为雷达目标识别、军事智能、机器学习。
E-mail: 51933134@qq.com

李川 男,1965年生,河南潢川人,研究员,主要研究方向为人工智能、雷达系统。

蔡红军 男,1982年生,河南商丘人,博士,主要研究方向为雷达目标识别、人工智能。

王曙光 男,1986年生,河南洛阳人,博士,主要研究方向为雷达目标识别、类脑计算。

郭法滨 男,1979年生,山东泰安人,博士,主要研究方向为雷达系统、体系架构。

张瑞国 男,1962年生,山西交城人,高级工程师,主要研究方向为航天测控与系统总体。

[3] 韦涛. 杂波抑制与真假目标判别[D]. 西安:西安电子科技大学,2017:15-34.

[4] NEUMANN C, SENKOWSKI H. Plot Based Target Classification for ATC Radars [C] // 2015 16th International Radar Symposium, Dresden, Germany: IEEE, 2015: 254-259.

[5] 丁世飞,齐丙娟,谭红艳. 支持向量机理论与算法研究综述[J]. 电子科技大学学报,2011,40(1):2-10.

[6] 周志华. 机器学习[M]. 北京:清华大学出版社,2016: 121-139.

[7] 王彩云,黄盼盼,李晓飞,等. 基于 AEPSO-SVM 算法的雷达 HRRP 目标识别[J]. 系统工程与电子技术,2019,41(9):1984-1989.

[8] 张灿斌,段世忠,赵书敏. 改进适应度函数的阵列综合粒子群算法[J]. 雷达科学与技术,2011,9(3):281-285.

[9] 满春涛,刘博,曹永成. 粒子群与遗传算法优化支持向量机的应用[J]. 哈尔滨理工大学学报,2019,24(3):87-92.

作者简介:



彭威 男,1994年1月出生于山东鄄城,硕士研究生,主要研究方向为预警装备运用技术。
E-mail: 1769533864@qq.com

林强 男,1971年出生于福建蒲城,博士后,空军预警学院教授,主要研究方向为空管雷达建设。