

# 基于多 Agent 建模的弹道导弹多特征综合识别框架

田康生<sup>1</sup>, 李鸿飞<sup>1,2</sup>, 金宏斌<sup>1</sup>, 吴长飞<sup>1</sup>

(1. 空军预警学院四系, 武汉 430019; 2. 中国人民解放军 95174 部队, 武汉 430040)

**摘要:** 由于弹道导弹目标特征具有积累时间各异、分类方法繁多、存在干扰等难点, 需要系统具备智能、自适应和协作的能力来完成目标的综合识别。在传统综合识别的基础上, 提出了一种基于多 Agent 建模的弹道导弹多特征综合识别框架, 构建了 Agent 的推理规则库和内部状态库, 描述了 Agent 的处理流程与交互关系。基于 Swarm 平台仿真验证表明, 该框架能有效进行多特征综合识别, 给出正确的识别结果。

**关键词:** 弹道导弹; 综合识别; 多 Agent 建模; 推理规则库; Swarm

**中图分类号:** TN958.93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)04-0001-05

## Multi-feature Fusion Identification Framework for Ballistic Missile Based on Multi-agent Modeling

TIAN Kang-sheng<sup>1</sup>, LI Hong-fei<sup>1,2</sup>, JIN Hong-bin<sup>1</sup>, WU Chang-fei<sup>1</sup>

(1. The 4th Department, Air Force Early Warning Academy, Wuhan 430019, China;

2. No. 95174 Unit of PLA, Wuhan 430040, China)

**Abstract:** It is difficult for radar to implement ballistic missile identification successfully, and it needs to integrate the capabilities of intelligence, self-adaption and cooperation for the identification system. On the basis of traditional identification methods, a multi-feature fusion identification framework based on multi-agent modeling is presented. The reference rule base and internal state base of the agents are established. The process procedure and interactive relationship of agents are given. The simulation based on Swarm platform shows that the multi-feature fusion identification framework can implement fusion identification effectively with correct recognition result.

**Key words:** ballistic missile; fusion identification; multi-agent modeling; inference rule base; Swarm

### 0 引言

在弹道导弹防御过程中, 弹道导弹的识别是其核心任务, 也是实现拦截的基础之一。X 波段雷达精度高且能够获取目标的多种特征信息, 在识别过程中处于核心地位<sup>[1-2]</sup>。由于弹道导弹的综合识别模型和机理都十分复杂, 因此构建合理的综合识别框架是问题分析、建模及实现的基础。

对于弹道导弹综合识别框架问题, 许多专家学者都给出解决方案。文献[3]提出了基于证据理论的目标综合识别模型, 模型充分考虑了时间域融合、空间域及专家知识和环境信息, 但融合时没有考虑特征的积

累时间不同; 文献[4]通过模糊综合评判的方法对特征信息进行加权融合, 对特征稳定的情况有较好的识别效果, 但没有考虑存在干扰的情况; 文献[5]通过对导弹预警特征的分析, 建立了序贯识别系统, 重点解决了处理冲突证据的能力, 但没有考虑不同特征的可信度和有效性问题; 文献[6]研究了弹道导弹融合识别中不同特征的可信度问题, 却没有考虑特征积累时间的差异问题。还有其他学者对时空域融合、综合识别算法、传感器可靠性等综合识别涉及的问题进行了研究<sup>[7-10]</sup>。分析以上研究, 有 3 类问题弹道导弹综合识别必须要解决: 首先选择特征提取与分类方法并能够对环境自适应; 再者要充分利用单特征的时域积累信息及多特征信息进行综合; 第三, 干扰、杂波等造成的错误识别结果要有较强的容错能力。而传统方法只是部分解决了这些问题, 不能满足弹道导弹综合识别的需求。

多 Agent 系统能模仿人类专家进行识别时的思维

收稿日期: 2015-03-26

修回日期: 2016-01-14

基金项目: 国家自然科学基金(61102168); 军队创新基金(X11QN106)

作者简介: 田康生(1962—), 男, 湖北武汉人, 教授, 博导, 研究方向为数据融合、军事信息系统。

逻辑过程:包括观察、推理、分析和对策<sup>[11]</sup>。多 Agent 系统具有智能、自适应、协作的能力,将复杂的综合识别问题分解,并组合这些相对简单的任务实现融合决策。根据弹道导弹综合识别的军事需求,提出了一种基于多 Agent 的弹道导弹多特征综合识别框架,构建了多特征融合 Agent 和特征识别 Agent 的模型、内部状态库和规则库,描述了 Agent 的处理流程与交互关系。最后通过 Swarm 平台仿真算例说明了综合识别框架的基本编程结构及其有效性。

### 1 弹道导弹多特征综合识别框架

弹道导弹综合识别框架,是参与识别过程的识别单元在模型空间上的逻辑映射。在基于多 Agent 的综合识别框架中,特征识别 Agent 和融合 Agent 是行为主体,是模型基本的、核心的组成元素。在一定状态下,它能对外界事件做出响应,从事各种活动、进行状态转换或激发新的事件。行为是智能体感知环境,与其他智能体和环境进行交互的过程,是响应其环境条件、内部状态和其他驱动事件的活动的集合<sup>[12-14]</sup>。不同 Agent 的相互关系如图 1 所示。

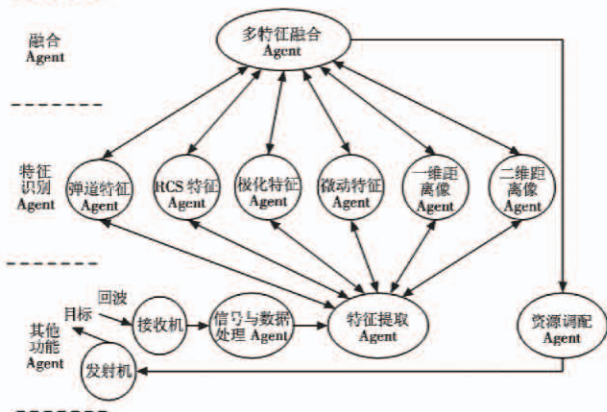


图1 弹道导弹综合识别框架

Fig.1 Fusion identification framework of ballistic missile

在这些 Agent 中,特征识别 Agent 完成对单特征的初步识别,多特征融合 Agent 完成单特征识别结果的融合,这两类 Agent 及其交互作用是综合识别框架的基础。这两类模型在其他 Agent 的配合下,完成综合识别任务。通过 Agent 的结构、推理规则和内部状态三类对 Agent 进行完整的描述和分析。

## 2 Agent 结构

### 2.1 特征识别 Agent 模型

特征识别 Agent 是综合识别的基本单元之一,根据识别特征的不同将特征识别 Agent 分为弹道特征 Agent,二维距离像 Agent 和微动特征 Agent。特征识别 Agent 模型的结构如图 2 所示。

Agent,二维距离像 Agent 和微动特征 Agent。特征识别 Agent 模型的结构如图 2 所示。

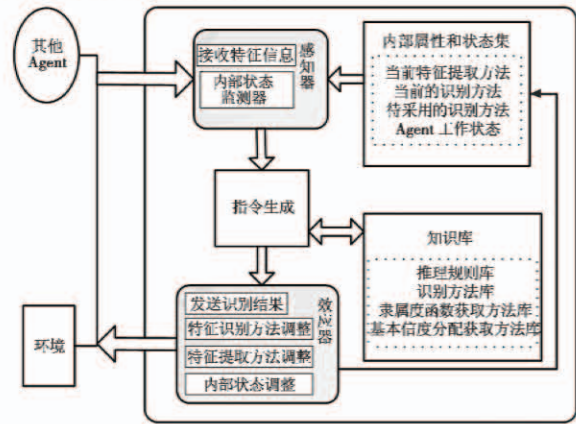


图2 特征识别 Agent 模型结构

Fig.2 Model structure of feature identification Agent

Agent 的最大特点是赋予其“智能”识别能力,实现智能识别的前提是系统具备完备的推理策略,也是构建智能系统涉及的核心内容,包括了内部状态库和推理规则库。其中,推理规则库由一系列推理规则构成,用于对特征识别的信息接收、分类、识别等进行处理。结合特征识别的实际,对 Agent 规则进行如下程序化描述:IF 自身状态,任务 THEN 采取的行动,状态转换。

不同特征的识别过程基本一致,下面以弹道特征为例说明推理规则库的组成,如表 1 所示。

表 1 弹道特征识别 Agent 推理规则库

Table 1 Logical reasoning base of ballistic feature identification Agent

序号	任务	处理内容	自身状态	采取的行动	状态转换
1	接收信息	目标特征、多特征综合识别结果	接收	接收弹道特征、多特征综合识别结果	获取隶属度,识别结果分析
2	得到目标的隶属度函数	弹道特征	获取隶属度	通过模糊分类法得到目标的隶属度函数	生成基本信度
3	生成基本信度分配	隶属度函数	生成基本信度	隶属度函数生成基本信度分配	识别结果报出
4	发送到多特征融合 Agent	基本信度分配	识别结果报出	基本信度分配发送到多特征融合 Agent	等待
5	分析识别结果有效性	融合结果,单特征识别结果	识别结果分析	对单特征识别结果与先前的综合识别结果进行比较分析	特征分类方法调整,特征提取方法调整
6	特征分类方法调整	有效性结论	特征分类方法调整	根据分析结果对特征分类方法进行调整	接收
7	特征提取方法调整	有效性结论	特征提取方法调整	根据分析结果对特征提取方法进行调整	等待

推理规则库表示了 Agent 的推理过程,其中的内



部状态反映特征识别 Agent 的不同状态特征,通过图 3 所示内部状态转移图可以更直观地了解 Agent 的运行过程及其与其他 Agent 的关系。

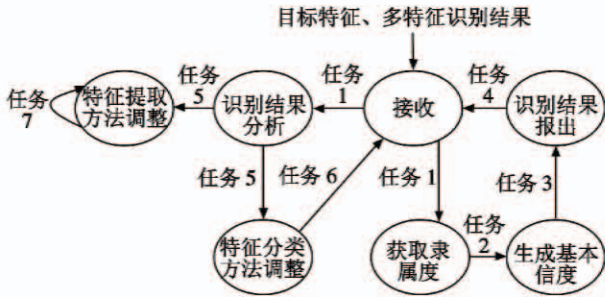


图 3 特征识别 Agent 内部状态转移图

Fig. 3 Internal state transition diagram of ballistic feature identification Agent

### 2.2 多特征融合 Agent 模型

如图 4 所示,多特征融合 Agent 是多特征弹道导弹综合识别的核心,其内部结构和交互关系的有效性直接决定融合效果。其结构与特征识别 Agent 类似,但其推理规则库比特特征识别 Agent 复杂。

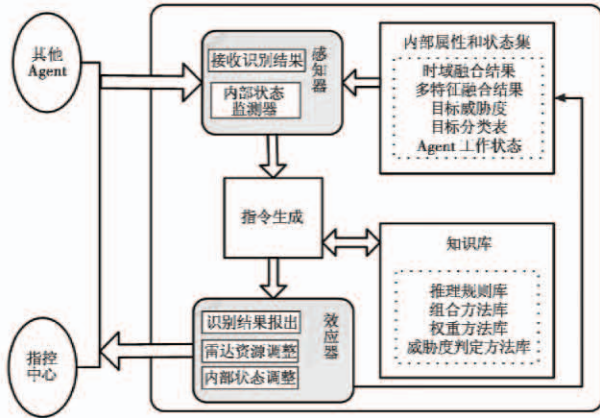


图 4 多特征融合 Agent 模型结构

Fig. 4 Model structure of multi-feature fusion identification Agent

多特征融合 Agent 要完成单特征识别信息的时域融合、多特征融合以及威胁目标分类,还有基于威胁目标的资源调度以及对特征识别 Agent 的反馈,这些都在推理规则库中体现,具体见表 2。

表 2 多特征融合 Agent 推理规则库

Table 2 Logical reasoning base of multi-feature fusion identification Agent

序号	任务	处理内容	自身状态	采取的行动	状态转换
1	接收	单特征一次识别基本信度值	接收	存入数据库,得到待融合目标数 $N$ 及其特征数 $M_N$	时域融合 1

续表

2	特征 1 识别结果	时域融合 1 <sub>1</sub>	特征 1 时域融合	时域融合 1 <sub>2</sub>
3	目标 1 的时域融合	特征 2 识别结果	时域融合 1 <sub>2</sub>	特征 2 时域融合
4	其他特征识别结果	其他特征识别结果	时域特征 1 <sub>N</sub>	其他特征时域融合
5	其他目标的时域融合	特征 1 识别结果	时域特征 M <sub>1</sub>	特征 1 时域融合
6	综合权重判定	其他特征识别结果	时域特征 M <sub>N</sub>	其他特征时域融合
7	多特征融合	时域融合结果,特征先验知识	权重判定	证据距离 <sup>[15]</sup> 与先验知识得到综合权重
8	对目标的威胁度进行计算	时域融合结果及权重	多特征融合	根据组合规则 <sup>[16-17]</sup> 进行融合识别
9	根据多种数据进行分类	威胁度判定结果,历史融合数据	生成目标分类表	按照分类规则进行分类结果作为拦截和资源调度的依据
10	接收	识别结果报出	识别结果报出	接收情报中心
11	将得出的识别结果输出	目标分类表	识别结果报出	分别报给资源调度 Agent 和接收情报中心

多特征融合 Agent 的内部状态如图 5 所示。

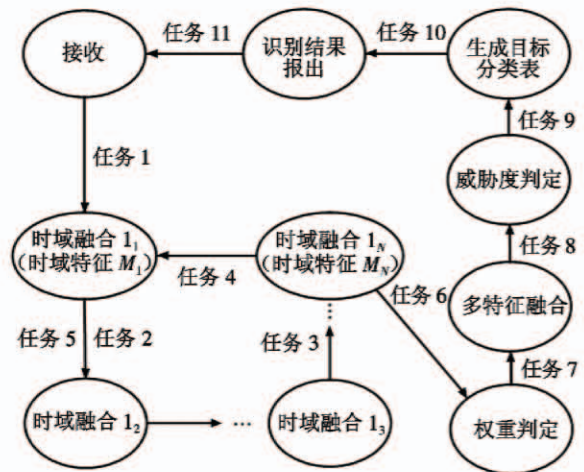


图 5 多特征融合 Agent 内部状态转移图

Fig. 5 Internal state transition diagram of multi-feature fusion identification Agent

### 3 仿真及结果分析

本文通过 Swarm 平台对多特征综合识别框架进行了建模。Swarm 基于 Java 语言,是一个高效的、可重用的软件实验平台。Swarm 对模型和模型要素之间的交互方式不做任何限制,这使其比 StarLogo, NetLogo, Repast 的使用更加灵活,也更适合复杂军事系统的建模仿



真。图6显示了Java编程结构,StartIdentification是整个程序的入口,完成各项初始化和激活各Agent,IdentificationObserverSwarm完成图形显示界面,IdentificationModelSwarm主要完成不同主体及其行为、执行序列的有机封装,FusionAgent为融合Agent的内容和行为建模,IdentificationAgent为特征识别Agent内容和行为建模,Simulation完成环境的配置。



图6 综合识别框架的Java实现结构

Fig.6 Java implementation structure of fusion identification

仿真背景:1)目标群中的目标数为4,目标1为真弹头;2)识别过程可以获取4种特征,其积累时间分别是1,2,3,1,且起始时间不同;3)每种特征的专家可信度不同。

下面给出了目标1的4种特征时域识别结果和多特征识别结果。

基于Swarm仿真是随时间动态进行的,图7截取了仿真前50s的仿真结果。

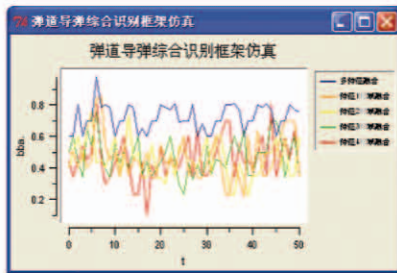


图7 基于Swarm的弹道导弹综合识别框架仿真

Fig.7 The ballistic feature fusion identification simulation based on Swarm platform

从图中可以看出,框架对弹道导弹综合识别中的多种特征进行了有效的动态处理。在17s特征4出现了明显的误判,在35~40s特征1和特征2出现不稳定的波动,但综合识别结果仍保持正确。

## 4 结束语

本文基于多Agent技术提出一种多特征弹道导弹综合识别结构,充分考虑了综合识别过程中的时序处理、多特征处理及Agent之间的交互问题。下一步工作主要从下面3个方向进行完善:1)对威胁度评价和目标分类表的生成进行研究;2)研究适合多特征综合

识别的权重构建方法;3)针对时域和多特征融合对组合方法的需求不同,研究与之相适应的组合方法。

## 参考文献

- [1] 张昌芳,朱启超,匡兴华. 美国弹道导弹防御C<sup>2</sup>BMC系统发展综述[J]. 装备学院学报,2012,23(3):60-63. (ZHANG C F, ZHU Q C, KUANG X H. Development Overview of the US ballistic missile defense C<sup>2</sup>BMC system[J]. Journal of Academy of Equipment, 2012, 23(3): 60-63.)
- [2] 周万幸. 弹道导弹雷达目标识别技术[M]. 北京:电子工业出版社,2011. (ZHOU W X. BMD radar target recognition technology[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2011.)
- [3] 刘永祥,朱玉鹏,黎湘,等. 导弹防御系统中的目标综合识别模型[J]. 电子与信息学报,2006,28(4):638-642. (LIU Y X, ZHU Y P, LI X, et al. Integrated target discrimination model in missile defense system[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006, 28(4):638-642.)
- [4] 王森,杨建军,孙鹏. 基于多特征综合模糊识别方法的弹道中段目标识别[J]. 火箭与制导学报,2011,31(5):23-32. (WANG S, YANG J J, SUN P. Target recognition research in ballistic midcourse based on fuzzy recognition of multi-feature fusion[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2011, 31(5):23-32.)
- [5] 李斌,姚康泽,王岩,等. 导弹预警的时空序贯证据融合识别系统[J]. 航天电子对抗,2007,23(4):1-11. (LI B, YAO K Z, WANG Y, et al. Time-space sequential fusion missile discrimination system using evidence theory[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2007, 23(4):1-11.)
- [6] 柏仲干,周丰,王国玉,等. 弹道中段目标的融合识别[J]. 系统工程与电子技术,2006,28(9):1338-1340. (BAI Z G, ZHOU F, WANG G Y, et al. Research on target recognition in the middle part of the ballistic trajectory[J]. Systems Engineering and Electronics, 2006, 28(9):1338-1340.)
- [7] 胡丽芳,关欣,何友. 基于Dezert-Smarandache理论的递归目标识别融合方法[J]. 控制理论与应用,2012,29(1):79-84. (HU L F, GUAN X, HE Y. Recursive target identification fusion methods based on Dezert-Smarandache theory[J]. Control Theory & Applications, 2012, 29(1):79-84.)
- [8] REDFORD C, AGAH A. Evidentialist foundationalist argumentation for multi-agent sensor fusion[J]. Artificial Intelligence Review, 2014, 42(2):211-243.
- [9] HONG L, LYNCH A. Recursive temporal spatial information fusion with applications to target identifications[J].

- IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1993, 29(2):435-445.
- [10] FORTINO G, GALZARANO S, GRAVINA R, et al. A framework for collaborative computing and multi-sensor data fusion in body sensor networks[J]. Information Fusion, 2014, 22:50-70.
- [11] 蒋伟进, 许宇胜, 吴泉源, 等. 基于多智能体的分布式智能诊断方法研究[J]. 电子学报, 2004, 32(s1):238-242. (JIANG W J, XU Y S, WU Q Y, et al. Study of MAS-based distribute intelligence malfunction diagnosis method and application[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(s1):238-242.)
- [12] 李雄. 基于 Agent 的作战建模[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013. (LI X. Agent based modeling of combat[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013.)
- [13] 宣慧玉. 复杂系统仿真及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008. (XUAN H Y. Complex system simulation and application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.)
- [14] 贺勇军. 面向效能优化的复杂多卫星系统综合建模与仿真方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2004. (HE Y J. Research on integrated modeling and simulation methods for effectiveness optimization of complex multi-satellite systems[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2004.)
- [15] RISTIC B, SMETS P. The TBM global distance measure for the association of uncertain combat ID declarations[J]. Information Fusion, 2006, 7(3):276-284.
- [16] 刘万全, 辛玉林, 鲍庆龙, 等. 基于 DSm 理论的雷达目标综合识别算法[J]. 国防科技大学学报, 2010, 32(6):37-41. (LIU W Q, XIN Y L, BAO Q L, et al. Radar target integrated recognition algorithm based on DSm theory[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2010, 32(6):37-41.)
- [17] SEBBAK F, CHIBANI A, AMIRAT Y, et al. An evidential fusion approach for activity recognition in ambient intelligence environments[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2013, 61(11):1235-1245.

根据 2012 ~ 2014 年发表稿件的被引和下载情况, 评选出 10 篇优秀论文, 其第一作者为《电光与控制》2015 年优秀作者。

### 2015 年优秀论文

题 名	作 者	发表年 - 期
高速数字电路 PCB 中串扰问题的研究与仿真	杨华, 陈少昌, 朱凤波	2012 - 3
四旋翼飞行器设计与平稳控制仿真研究	庞庆霏, 李家文, 黄文浩	2012 - 3
基于信息熵和 TOPSIS 法的目标威胁评估及排序	张涛, 周中良, 荀新禹, 于雷	2012 - 11
红外探测器发展需求	张雪, 梁晓庚	2013 - 2
二次成像光学被动无热化设计	罗金平, 王合龙, 刘欣, 潘枝峰	2012 - 4
高速 PCB 板的信号完整性研究	李超, 陈少昌, 刘任洋	2013 - 4
多站纯方位无源定位算法研究进展	王本才, 王国宏, 何友	2012 - 5
多模型粒子滤波在机动目标跟踪中的应用	闫文利, 王建刚, 柳毅	2012 - 1
边界扫描测试技术发展综述	刘九洲, 王健	2013 - 2
SAR 干扰/抗干扰技术的现状与发展	柏仲干, 谢虹, 马孝尊, 董旭平, 陈丽	2012 - 2