

无人作战飞机自主决策技术研究

张磊*

海军驻洛阳地区航空军事代表室, 河南 洛阳 471009

摘要: 自主决策技术是提升无人作战飞机在现代战争中作战能力的重要手段, 由于战场态势和很多不确定因素的影响, 使得自主决策具有难以建模、约束条件众多和依赖于战术经验等特点。通过对无人机决策因素、决策策略及决策流程的分析, 采用专家系统的方法, 对决策系统的构建、总体结构、管理模块及处理流程进行了设计和仿真, 为提高无人飞机自主决策能力奠定了基础。

关键词: 无人作战飞机; 自主决策; 专家系统; 知识库; 推理机

中图分类号: V **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2014) 05-0049-05

无人作战飞机(Unmanned Combat Air Vehicle, UCAV)在现代军事战争中扮演着越来越重要的角色,但在实际飞行中受到很多不确定因素的影响,例如平台信息的不确定,目标任务的变化,环境和战场态势的变化,以及复杂的非线性因素等。无人作战飞机在这种复杂、不确定的条件下执行任务,不能只依赖于地面站的控制,必须具备一定的自主决策能力^[1]。无人作战飞机自主决策就是当发现目标并经目标识别和态势评估后调取决策数据库中的决策信息,在这些信息的激励下,对战机的战术意图和行为做出实时决策。自主决策通常包括三类决策:自主任务决策、自主攻击决策和自主飞行动作决策^[2]。

在这种背景下,本文对目前主要的决策方法进行了分析,根据不同方法的适用范围和成熟度,选取基于人工智能的专家系统方法,并对该方法的结构、模块及流程进行了分析和设计。

1 自主决策方法

无人作战飞机自主决策技术包括两层含义,即自主态势感知和智能推理。目前国内主要采用的无人作战飞机自主决策方法主要分为四大类:

(1) 导引律方法。在一些空战仿真中,采用较为简单的导引律方法进行空战决策,它是建立在空空导弹的经典导引

规律之上的,根据这些常见的导弹导引规律演化为无人作战飞机攻击导引方法,主要有比例导引法、追踪法、平行接近法、前置接近法等^[3]。

(2) 函数优化法。函数优化法包括矩阵对策法、微分对策法和优化指向向量法等。矩阵对策法是将连续对策模型离散化,使得系统达到我方支付矩阵的鞍点;微分对策法是研究空战对策最知名和最具现实意义的决策模型;优化指向向量法是操纵飞机使其向指向向量的方向作最大可能加速,根据指向向量的变化规律演变为多种导引方法^[4]。

(3) 人工智能方法。人工智能方法专家系统法、人工神经网络等。专家系统法技术成熟,也比较容易实现,而且专家知识内容比较全面,攻防兼顾,实际应用比较广泛。神经网络方法可以应用于各种战场环境,有着很强的适应性,神经网络方法具有鲁棒性、并行性和自学习能力等优点^[5]。

(4) 决策理论方法。决策理论方法通常采用基于对策论的影响图法。影响图法可以应用于各种战场环境,适应性强且在不确定情况下的决策效果理想,但该方法还处在发展之中,它在理论上的优越性能否实现还依赖于能否找到比较好的求解算法。

有人机的分析决策能力来自驾驶员,而无人机常规条件下的智能来自于控制站的指挥员,因此要想让无人作战飞机具备同样的能力,最直接的方法就是应用人工智能技术,

收稿日期: 2014-02-28; 录用日期: 2014-04-01

*通讯作者. Tel.: 0379-63327047 E-mail: renarm915@sina.cn

引用格式: ZHANG Lei. Research on autonomous decision-making technology of UCAV[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(05): 49-53. 张磊. 无人作战飞机自主决策技术研究[J]. 航空科学技术, 2014, 25(05): 49-53.

根据驾驶员或指挥员所提供的知识和经验进行推理和判断,模拟他们的决策过程。

2 自主决策专家系统的构建与设计

专家系统通过某种知识获取手段,把人类专家的领域知识和经验技巧移植到计算机中,并且模拟人类专家的推理、决策过程,表现出求解复杂问题的人工智能。基于专家系统的决策方法知识维护方便、推理过程简单、便于解释,且实时性强,适合于无人机在复杂战场环境条件下及时作出恰当的决策方案^[6]。

2.1 总体结构和设计流程

无人作战飞机自主决策系统的输入信息依赖于复杂多变的战场信息,输出将直接用于辅助控制平台对无人作战飞机自身状态做出调整和对武器系统进行调配与发射。通过分析无人作战飞机自主决策的解算流程,对无人作战飞机自主决策专家系统结构进行了设计,该系统由决策因素库、战术规则库、战术策略库和接口系统组成,其结构如图1所示。

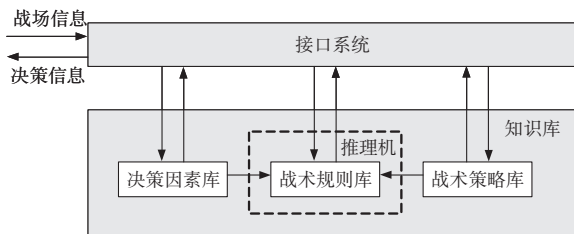


图1 无人作战飞机自主决策专家系统结构图

Fig.1 Structure of autonomous decision-making expert system for UCAV

基于专家系统的无人作战飞机自主决策系统设计应符合专家系统的构建结构,其设计的一般步骤与方法如图2所示^[7]。

2.2 模块设计

无人作战飞机自主决策专家系统主要包括知识库管理模块和决策推理机模块。知识库管理模块包含决策因素库、战术策略库和战术规则库三个管理子模块。

2.2.1 知识库管理模块

采用产生式规则形式表示领域专家的经验知识,规则由条件和结论两部分组成,产生式规则表示知识的形式表达式如下:

【规则序列号】IF 条件 THEN 结论

规则中IF和THEN之间的部分为条件部分,THEN后面的部分是结论部分。产生式规则具有与人类思想方式接近的特点,能有效简洁地表达领域知识。

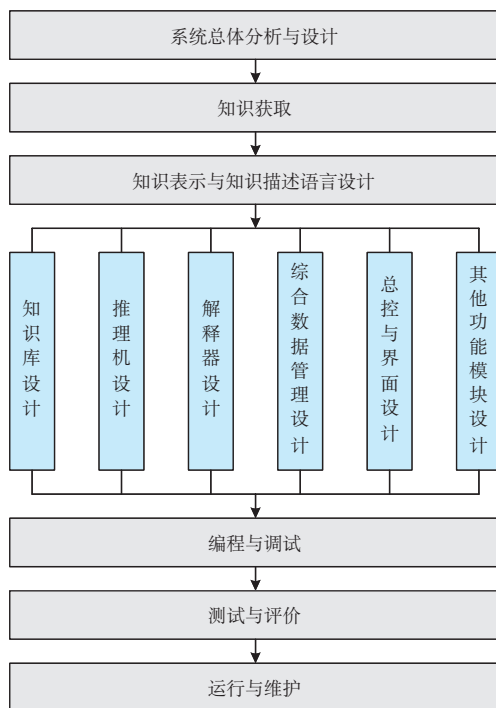


图2 无人作战飞机自主决策专家系统设计流程

Fig.2 Design flow of autonomous decision-making expert system for UCAV

知识库存放专家经验的判断性知识,表达建议、推断、命令、策略的产生式规则(用于某种结论的推理、问题的求解),及推理、求解知识各种控制知识。知识库中还包括另一类叙述性知识,也称作数据,用于说明问题的状态、有关的事实和概念、当前的条件以及常识等。完整的知识库还包括具有管理功能的软件系统,主要用于对知识条目的查询、检索、增删、修改、扩充等^[8]。

无人作战飞机自主决策专家系统知识库采用产生式规则表示大量军事领域内的作战经验知识,有经验的操纵员(或有人飞机驾驶员)对地/对空攻击总结出的一套战术经验,是产生式规则的基本主体,然后经过各方面的战术专家分析和改进,最后建立合理完善的自主决策产生式规则^[9]。知识库的层次结构如图3所示。

(1) 决策因素库管理模块

考虑到现代战争中无人作战飞机作战的环境复杂性,无人作战飞机自主决策系统中考虑的决策因素主要包括任务规划、目标特性、战场环境、威胁特性、平台特性等,如表1所示。

(2) 战术策略库管理模块

无人作战飞机自主决策中考虑的策略主要包括攻击武

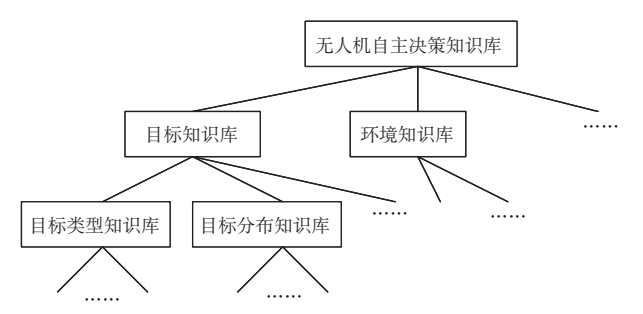


图3 知识库层次结构
Fig.3 Structure of knowledge base

表1 典型决策因素
Table 1 Typical decision factors

典型决策因素		因素属性值
任务规划	作战任务	近距空中支援、战场遮断、压制防空作战
目标特性	目标类型	雷达阵地、炮兵阵地、机场、桥梁、铁路公路、坦克装甲车辆、舰艇船只、步兵群体
	目标分布	集中和分散
战场环境	天气状况	阴雨雪、晴朗
威胁特性	威胁类型	地空导弹、高炮、雷达、无威胁
	威胁程度	强、弱、无
平台特性	油量特性	油量充足、油量告警

器的选择、进入目标方向的选择、突防方式、攻击队形,如表2所示。

表2 典型战术策略
Table 2 Typical tactics

战术策略	作战指令属性值
武器选择	激光制导炸弹、反辐射导弹、空地导弹、空舰导弹
进入目标方向	垂直长边进入、小角度进入、侧后方进入
突防方式	低空高速突防、有利航向突防、综合突防
攻击队形	密集阵形、单机跟进

(3) 战术规则库管理模块
战术规则管理主要内容是通过决策因素和战术策略建立无人作战飞机自主决策的推理规则,其形式如下:

【规则序列号】IF 条件 THEN 结论
IF和THEN之间的部分为典型决策因素条件组合部分,THEN后面的部分是战术策略结论部分。战术规则数据库结构如图4所示。
2.2.2 决策推理机模块

战术规则	
编号	决策条件
1	作战任务
2	目标类型
3	目标分布
4	威胁类型
5	威胁程度
6	天气状态
7	自身特性

战术规则	
编号	决策条件
1	武器选择
2	突防方式
3	攻击队形
4	进入目标方向

图4 战术规则数据库结构
Fig.4 Structure of tactical rules database

推理就是依据一定的规则从已有的事实推出结论的过程。推理机是本系统的核心,其主要功能是协调和控制整个专家系统,实现本专家系统的正常工作,以期达到合理的结果^[10]。

无人作战飞机自主决策推理机模块采用数据驱动控制,也就是正向推理,其基本思想是:从已知数据信息出发,正向使用规则(规则前提与数据库匹配),若规则前提匹配,则该规则选中,规则结论加入结论链,若问题未完全解出,则提示完善知识库内知识质量;若推理完成,则退出。推理算法要求简洁快速,为无人作战飞机提供快速的自主决策策略。决策推理机模块工作流程如图5所示。

3 仿真算例
3.1 算例1

算例1的输入条件和输出结果分别如表3、表4所示。
在算例1中,无人机要压制敌方防空网,使敌方防空体系瘫痪,攻击目标为预警机,威胁源为歼击机,威胁程度非常强,几乎没有漏洞,天气状况及无人机自身特性良好,由于威胁太强,为确保无人机生存率,放弃所有突防手段直接采用防区外攻击,武器选择空空导弹,由于目标分散,若采用编队攻击,攻击队形采用单机跟进,攻击进入方向为侧后方进入。

3.2 算例2

算例2的输入条件和输出结果分别如表5、表6所示。
在算例2中,无人机执行近距空中支援任务,打击的目标为某型水面舰艇,威胁为探测空域的雷达,威胁程度较强,天气及无人机自身状况良好,无人机采用空舰导弹进行攻击,为避开雷达威胁,突防方式采用低空高速突防,进入攻击区后迅速拉起发射导弹并且快速返航,目标分散分布,若无

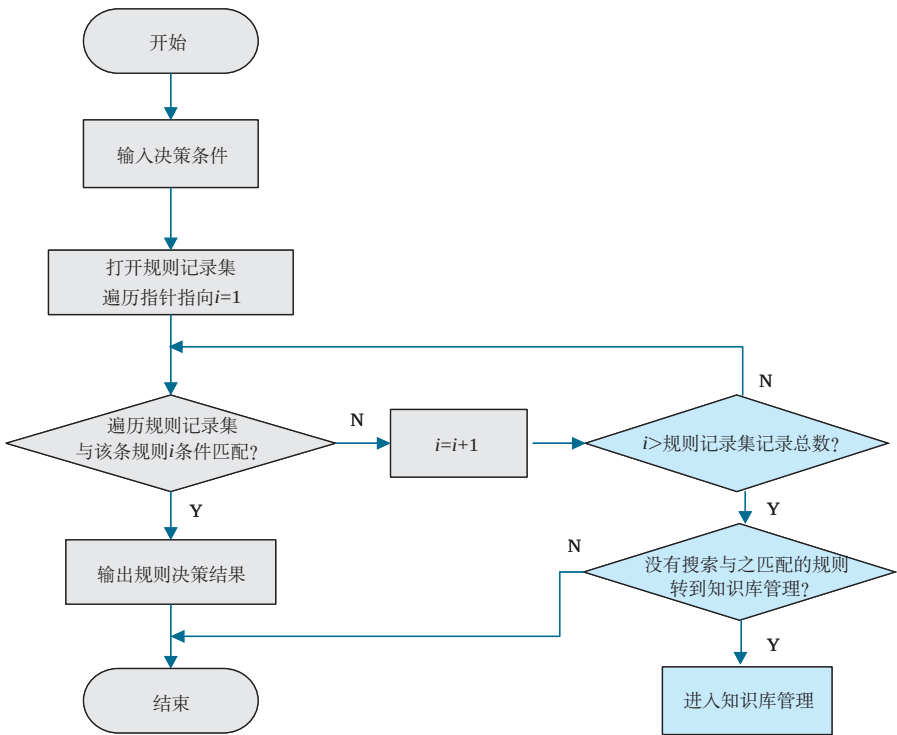


图5 决策推理机工作流程图
Fig.5 Workflow of decision-making inference engine

表3 算例1仿真输入条件
Table 3 Input of simulation example 1

输入	因素值
作战任务	压制防空作战
目标类型	预警机
目标分布	分散
威胁类型	歼击机
威胁程度	强
天气状态	晴朗
自身特性	油量充足

表4 算例1仿真输出结果
Table 4 Output of simulation example 1

输出	结果值
武器选择	空空导弹
进入目标方向	侧后方进入
突防方式	防区外攻击
攻击队形	单机跟进

人机采用编队攻击,攻击队形则为单机跟进,攻击舰艇类目标时攻击进入方向为垂直长边进入。
通过设计规则集的类型和规模,使

表5 算例2仿真输入条件
Table 3 Input of simulation example 2

输入	因素值
作战任务	近距离空中支援
目标类型	水面舰艇
目标分布	分散
威胁类型	雷达
威胁程度	强
天气状态	晴朗
自身特性	油量充足

表6 算例2仿真输出结果
Table 4 Output of simulation example 2

输出	结果值
武器选择	空舰导弹
进入目标方向	垂直长边进入
突防方式	低空高速突防
攻击队形	单机跟进

用推理引擎激活战术决策,推理时间满足作战要求、推理结论与实际直观判断基本吻合,表明该专家系统模型具有一定的合理性和实际应用价值。

4 结论

本文针对无人作战飞机自主决策技术,采用人工智能专家系统方法,从自主任务决策、自主攻击决策和自主飞行动作决策方面对专家系统的构建、总体结构、管理模块及处理流程进行了分析、设计和仿真,仿真结果表明推理时间满足作战要求、推理结论与实际直观判断基本吻合。该专家系统模型具有一定的合理性和实际应用价值,一定程度上为提高无人作战飞机自主决策能力奠定了基础。

AST

参考文献

[1] 董卓宁,张汝麟,陈宗基.无人机在恶劣气象条件下的自主决策技术[J].航空学报,2008,29:107-113.
DONG Zhuoning, ZHANG Rulin, CHEN Zongji. Autonomous decision-making technique of UAVs under hazardous weather condition[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29:107-113. (in Chinese)
[2] 郭昊,周德云,张堃.无人作战飞机空战自主机动决策研究[J].电光与控制,2010,17(8):28-32.
GUO Hao, ZHOU Deyun, ZHANG Kun. Study on UCAV autonomous air combat maneuvering decision-making[J]. Electronics Optics & Control, 2010, 17(8):28-32. (in Chinese)
[3] 董彦非,郭基联,张恒喜.空战机动决策方法研究[J].火力与指挥控制,2002,27(2):75-78.
DONG Yanfei, GUO Jilian, ZHANG Hengxi. The methods

- of air combat maneuvering decision[J].Fire Control & Command Control,2002,27(2):75-78.(in Chinese)
- [4] 李登峰.模糊多目标多人决策与对策[M].北京:国防工业出版社,2003.
- LI Dengfeng.Fuzzy Multiobjective Many-Person Decision Making and Games[M].Beijing:National Defense Industry Press,2003.(in Chinese)
- [5] 祝世虎.基于神经网络与专家系统的智能决策支持系统[J].电光与控制,2006,13(1):1-2.
- ZHU Shihu.An intelligent decision-making system based on neural net works and expert system[J].Electronics Optics & Control,2006,13(1):1-2.(in Chinese)
- [6] 黄纬.基于工程对象的专家系统开发技术[J].江苏大学学报(自然科学版),2007,28(6):520-523.
- HUANG Wei. Expert system development technology based on engineering object[J].Journal of Jiangsu University(Natural Science Edition),2007,28(6):520-523.(in Chinese)
- [7] Sehyun Myung, Soonhung Han. Knowledge-based parametric design of mechanical products based on configuration design method[J]. Expert System with Application,2001, 21(8):99-107.
- [8] 许文艳,刘三阳.知识库系统的逻辑基础[J].计算机学报,2009,32(11):2123-2129.
- XU Wenyan,LIU Sanyang. Logic for knoeledgebase system[J]. Chinese Journal of Computers,2009,32(11):2123-2129.(in Chinese)
- [9] 窦永金.智能驾驶员辅助系统[D].北京:北京航空航天大学,2004.
- DOU Yongjin. Intelligent Driver Assistance System[D].Beijing: Beijing University of Aeronautical and Astronautics,2004.(in Chinese)
- [10] Giarratano J,Riley G.专家系统原理与编程[M].北京:机械工业出版社,2000.
- Giarratano J,Riley G.Expert System Principle and Programming [M].Beijing:China Machine Press,2000.(in Chinese)

作者简介

张磊(1977—) 男,学士,工程师。主要研究方向:火力控制与决策分析。

Tel:0379-63327047

E-mail:renarm915@sina.cn

Research on Autonomous Decision-Making Technology of UCAV

ZHANG Lei*

Military Aviation Deputy Officer of Navy In Luoyang Dictrict, Luoyang 471009, China

Abstract: Autonomous decision-making technology is one of the important means for upgrade campaigned capability to uninhabited combat air vehicle. Due to the influence of war situation and many uncertain factors, utonomous decision-making technique have the characteristic of difficult to modeling, many restriction condition and depend on tactics experience etc. This paper analyzed the decision-making factors, tactics and flow of uninhabited combat air vehicle. Using expert system method, the structure,module and flow for decision-making system were designed, which makes a base for the autonomous decision-making ability of uninhabited combat air vehicle.

Key Words: UCAV; autonomous decision-making; expert system; knowledge base; inference engine

Received: 2014-02-28; Accepted: 2014-04-01

* Corresponding author. Tel: 0379-63327047 E-mail: renarm915@sina.cn