

基于SOAR模型的武器目标分配系统设计与研究



丁凡*,文鹏程,韩炜

航空工业西安航空计算技术研究所 机载、弹载计算机航空科技重点实验室, 陕西 西安 710065

摘 要:威胁评估是影响武器目标分配结果的重要因素,当前空战环境下,诸如速度、角度、高度、攻击距离等多种参数都会影响武器目标分配的结果,飞行员在考虑上述因素的同时,难以做出快速准确的决策。研究并提出一种基于SOAR智能认知模型构建的武器目标分配系统,通过将知识库与武器目标分配算法相结合,能够快速准确地给出目标分配方案,帮助飞行员更好地进行决策。最后进行了仿真计算,结果表明该系统的输出符合期望结果,并具有较好的实时性。

关键词:SOAR; 认知架构; 目标分配; 威胁评估; 专家系统

中图分类号:TP18

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2020.05.012

武器目标分配问题(weapon-target assignment, WTA)即WTA问题,是空战协同作战的一个难点,其核心在于在短时间内给出正确、可靠的分配方案^[1-2]。目标分配结果受多方面因素的影响,诸如角度、速度、高度、攻击半径等都对目标分配结果有着一定的干扰^[3-4],在考虑以上因素的同时,单靠飞行员个人难以做出快速周全的决策,因此迫切需要一种可靠的辅助手段来帮助飞行员进行决策。针对武器目标分配问题,大多通过建立专家系统知识库的方法,结合威胁态势评估和目标分配算法总结出相应规则来解决目标分配问题。

传统的专家系统存在结构简单、逻辑单一、知识库内容固定、难以修改且处理预期外情况能力较差等缺陷,而SOAR智能认知模型具有类似自学习、块处理、子状态处理等多种手段来解决知识库僵局的问题,将其与传统专家系统相结合,构建出的新系统具有人类专家思考解决问题的能力,且满足决策快速准确的要求,能够适应当前智能化的需求。

1 SOAR模型简介

SOAR模型即状态-算子-结果(State-Operator-and-Result),是一种通过符号主义对智能行为进行编码的模型,

通过选择算子改变问题状态产生最终结果来处理问题。SOAR模型主要包含了IO、长期记忆、决策以及学习评估几部分,具体结构如图1所示。

其中外部环境通过感知映射到工作记忆,工作记忆作为一种短期记忆,描述了当前问题解决的情况,并且从长期记忆获取知识,经过决策模块的决策,进行算子选择,决定选择哪一种行为进行输出,最后通过行为接口作用于外部环境。

通过SOAR构建的专家系统,能够更好地使用知识库中的专家知识,模仿人类专家思维做出决策,具有决策迅速、规则推理并行执行和逻辑合理等多项优点,且SOAR模型支持推理机与知识库分离的系统结构,这使得应用SOAR模型的专家系统具有灵活性高、可靠性强等特点,便于后续继续开发和整体的维护升级,适用于专家知识的提取和空战决策知识库的构建。

2 武器目标分配系统构建

武器目标分配问题主要包含威胁态势评估和目标分配算法两部分,通过威胁态势评估将目标对我方的威胁大小进行量化并排序,之后通过目标分配算法给出最终的分配方案。

收稿日期: 2020-01-19; 退修日期: 2020-02-13; 录用日期: 2020-03-19

基金项目: 航空科学基金(2017ZC31008)

*通信作者.Tel.: 18602926940 E-mail: 735382270@qq.com

引用格式: Ding Fan, Wen Pengcheng, Han Wei. Design and research on weapon target assignment based on SOAR model[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(05): 89-94. 丁凡, 文鹏程, 韩炜. 基于SOAR模型的武器目标分配系统设计与研究[J]. 航空科学技术, 2020, 31(05): 89-94.

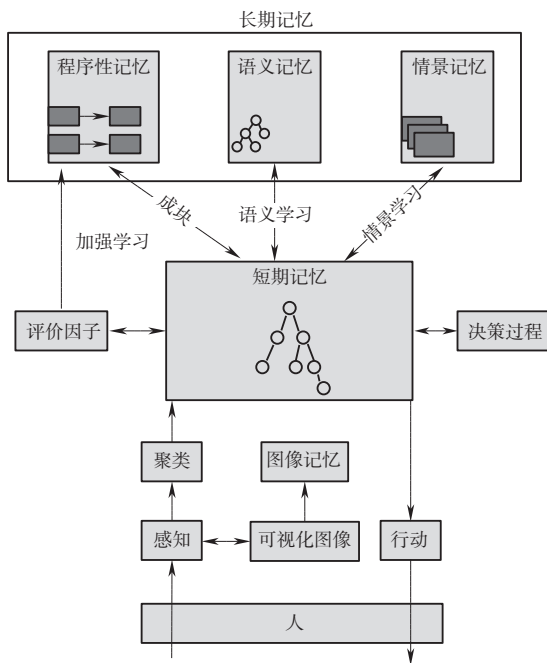


图1 SOAR系统架构

Fig.1 System architecture of SOAR

2.1 威胁态势评估

威胁态势评估是武器目标分配的前提,通过计算不同目标的威胁系数来确定最终的分配方案,以达到最大杀伤效果。在协同作战环境下,对目标进行合理的威胁态势评估对于分配方案的准确而言显得必不可少。

威胁系数通常由角度威胁 T_f 、速度威胁 T_v 、攻击距离威胁 T_d 、武器种类数量威胁 T_w 、以及高度威胁 T_h 等构成,在空空作战环境下,总威胁系数 T_a :

$$T_a = \alpha T_f + \beta T_v + \lambda T_d + \mu T_w + \phi T_h \quad (\alpha + \beta + \lambda + \mu + \phi = 1) \quad (1)$$

态势评估由敌我速度差 D_v 、武器携带种类 D_w 、进攻角度差 D_f 、攻击距离差 D_d 等参数构成,总优势系数 T_b :

$$T_b = \gamma D_v + \delta D_w + \omega D_f + \rho D_d \quad (\gamma + \delta + \omega + \rho = 1) \quad (2)$$

针对空空、空地等不同作战环境各威胁采用不同的权重系数,使得最终的计算结果更为合理。

2.2 目标分配算法

针对武器目标分配问题的特点,本文采用一种蚁群-遗传结合算法来解决武器目标分配问题,该算法将武器目标分配的过程量化为蚁群在不同路径间行走的过程,最终选择的最优路径即为最佳的目标分配方案。

将总威胁系数 T_a 和总优势系数 T_b 归一化处理后,得到最终的对敌优势 T 作为算法所需的路径参数,通过循环求解得到初步分配方案,之后采用遗传算法的交叉环节,即随机产生两个介于 $(0, n)$ 之间互不相同的正整数 i 和 j ,在蚁群

算法产生的完整路径中,概率性地调换第 i 个和第 j 个目标的分配位置,产生新的路径,重新进行新一轮的计算,避免了算法陷入局部最优。同时,算法还添加了禁忌搜索表,通过将 n 步之内的路径列为搜索禁忌来避免蚁群在搜索时出现停滞不前或原地打转的现象,确保了算法的全局搜索能力。最后,算法使用快速收敛的信息素更新公式:

$$\text{Tau} = \begin{cases} (1 - \text{Rho}) * \text{Tau} + \text{Delta_Tau} & \text{被选择路径} \\ 0 & \text{其他路径} \end{cases} \quad (3)$$

该公式使得算法在有效路径上迅速收敛,得出最优分配方案。

3 应用SOAR模型的武器目标分配系统设计

SOAR模型是一种主流的通用认知模型,不仅提供了领域专家级的通用规则描述和推理引擎,同时还提供了规划、学习和僵局处理等高级功能^[9],其推理过程透明以及便于维护升级的特点,使其在构建专家系统方面具有较大的优势。

本文构建的基于SOAR模型的武器目标分配系统可分为专家知识库、SOAR接口程序和武器目标分配算法三部分,具体结构如图2所示。

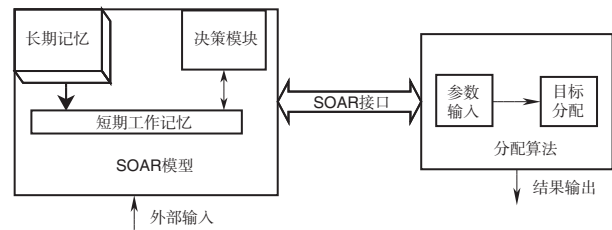


图2 系统框架示意

Fig.2 Framework of the system

SOAR模型部分由外部输入模块接受外来的参数输入和条件改变,同时创建短期工作内存作为当前工作环境;工作内存存储当前工作的状态、参数和后续计算所需的算子等;专家知识库保存空战规则作为长期记忆,在工作内存建立后调用长期记忆中的规则进行匹配;如果现有规则满足输出条件就调用决策模块输出计算结果^[6-8],不满足则产生僵局,采用降低精度匹配算法输出结果,并利用块机制记录处理僵局的过程并生成新规则加入到长期记忆中;外部分配算法接收SOAR模型计算的结果参数,之后通过目标分配算法得出最终的分配方案并输出;SOAR接口程序作为连接分配算法和SOAR模型的桥梁,起到沟通的作用,具体流程如图3所示。

其中,系统在SOAR模型中完成了各项威胁系数的计

算、我方的优势系数计算以及总对敌优势的计算,并在未产生僵局(或僵局产生并被解决)的情况下将总对敌优势作为路径计算相关参数输入到外部目标分配算法模块。目标分配算法采用蚁群算法作为主体,结合遗传算法与禁忌搜索算法对蚁群算法的全局搜索能力进行了改进。该算法将总对敌优势作为敌我目标之间的路径参数,通过对解空间中所有目标进行遍历循环求解,计算各路径上信息素的积累浓度来求得全局最优路径,即总对敌优势度最大的武器目标分配方案。

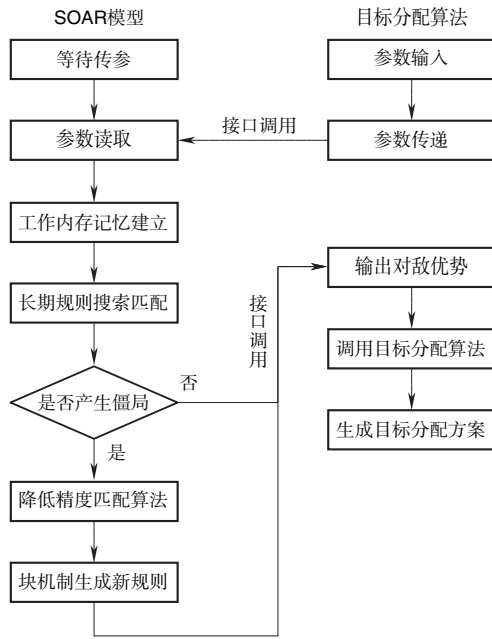


图3 系统流程图

Fig.3 Flow chart of the system

构建 SOAR 模型的关键在于知识表示方法和知识推理策略,知识表示将空战规则转化为 SOAR 可识别的 sp 规则,推理策略包含 SOAR 进行知识库搜索时的不同方法,具体如下。

3.1 知识表示方法

SOAR 模型采用自有的 sp 规则表示知识,整体规则结构类似于 if-then 规则,通过在 sp 规则左半部描述条件,右半部描述动作来完成对一个规则的完整表述^[9],每个规则都分为两部分:propose 提议规则环节和 apply 应用规则环节。根据空战行动规则,将其转化为 SOAR 能够识别的 sp 规则,示例如下:

```
#初始化 SOAR 工作内存所需规则,计算优势度
sp{propose*initialize-advan
(state <s> ^superstate nil
  ^name)
```

```
-->
(<s> ^operator <o> +)
(<o> ^name initialize-advan
)
#计算距离威胁所需部分规则
sp{apply*Td
(state <s> ^name advan
  ^io.input-link <i>
  ^io.output-link <ol>
  ^dis <d>)
(<i> ^numD <D>)
-->
(<s> distance (abs(/(- <d> <D>) <D>)))
)
#释放工作内存所需部分规则
sp{apply*remove-advan
(state <s> ^name advan
  ^io.input-link <i>
  ^io.output-link <ol>)
(<ol> ^print <p>)
(<p> ^value <pr>)
-->
(<ol> ^print.value <pr> -)
}
```

上述示例规则是标准的 SOAR 规则样例,知识库中包含了初始化应用规则、角度威胁 T_r 、速度威胁 T_v 、攻击距离威胁 T_d 、武器种类数量威胁 T_w 、高度威胁 T_h 、总威胁系数 T_a 、总优势系数 T_b 、总对敌优势 T 所需的相关规则,以及释放移除工作内存空间的应用规则等,其余优势度相关规则表达式与上述规则类似。

3.2 推理策略

推理策略的选择将直接影响专家系统知识库中知识搜索的效率^[10],SOAR 模型默认选择自有的 SoftMax 搜索策略,该方法能够将输入映射为 0~1 之间的实数,并归一化保证和为 1,在多分类场景中具有较好的性能,SOAR 还支持 boltmann 和 epsilon-greedy 搜索策略,但针对规模较小的知识库时复杂算法的搜索优势无法展现。

在本文中,作为知识库与 SOAR 模型结合的演示系统,其知识库规模较小,因此选用前向搜索和后向搜索等快速暴力的搜索策略,对于小规模的知识库来说,此类方法搜索速度更快。

3.3 僵局处理

在SOAR架构中,当长期记忆中的规则不足以处理当前的问题时就会产生僵局。SOAR共有4种类型的僵局,分别为并列僵局、冲突僵局、约束失败僵局以及无变化僵局。僵局的产生多是由于规则中对操作符算子的偏好描述不够详细和准确,导致SOAR无法进行下一步的算子选择,从而令系统产生僵局,在当前工作状态下卡死。传统的认知架构并不能够处理僵局这种意料之外的情况,只能通过对外知识库内容的不断扩充来尽可能避免僵局的产生,而SOAR架构提出子状态处理和一种名为降低精度匹配的算法来解决僵局。

SOAR架构在遇到僵局时,通过自动建立子状态,在子状态中不断地进行算子的重复选择应用,尝试各种可行方案来解决僵局;降低精度匹配算法能够在当前规则不足的情况下,在子状态中尝试以更少数量的规则来满足当前问题的输出条件,从而解决僵局。

SOAR架构在具有上述解决僵局的能力外,还设计了分块机制,分块机制能够自动记录SOAR解决僵局的全过程,并将其作为全新的规则添加到长期记忆中,在SOAR下次遇到类似的僵局时,能够直接调用该规则,解决僵局,大大提升了系统的性能。

4 系统的验证与评价

本试验预设场景为多对多目标分配,单一机种作战编队规模最小为主机僚机组成的二机编队,最多为8架飞机组成的空战小队,因此,为验证本系统的可行性与有效性,试验采用2~8个目标作为攻击对象,对其进行独立的优势度计算,验证最终分配方案的合理与否,并比较不同环境下系统整体的运行时间。

4.1 分配方案的准确性

本系统采用外部算法与知识库结合的架构,该架构使得使用人员能够对知识库文件和分配算法进行直接的更改,便于知识库维护升级与分配算法的进一步优化。

在系统构建完成后对知识库进行一致性和冗余性检验,之后通过固定参数的输入来对比系统给出的分配方案与期望的最佳方案是否一致。图4给出了随机参数输入前提下,系统运行30次后的平均总对敌优势与最高期望总对敌优势的关系。

可以看出在目标数量较少时,系统的分配结果与期望结果完全一致,均按照总对敌优势最大化对目标进行了合理的武器目标分配;随着目标数量的逐渐增多,由于无法得到专家规则知识的支持,未应用SOAR的系统在对目标进行威胁

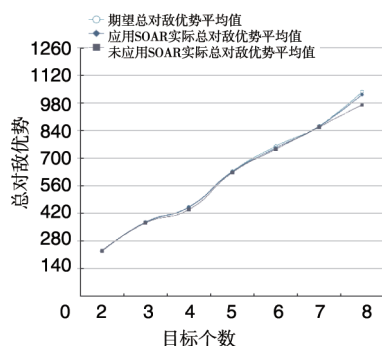


图4 期望总对敌优势与实际总对敌优势关系图

Fig.4 The relation diagram between ETAA and ATAA

评估与我方优势系数计算时产生的误差较大,其分配方案与理想方案的差距也随之增大;而应用SOAR的系统在多次运行时偶尔会出现未按照总优势度最大为前提进行武器目标分配,但误差极低,在可接受的范围内,完全能够符合实际应用的标准。通过多次试验对比发现,基于SOAR模型的武器目标分配系统在嵌入式环境给出的方案能够按照总优势度最大化进行目标分配,系统运行得出的平均总对敌优势与期望对敌优势十分接近,验证了系统分配方案的准确性。

4.2 目标分配所需时间

试验选用嵌入式平台为飞腾 1500A, 4G 内存 4 核 1.5GHz, PC 平台为 i7-4790, 4G 内存 4 核 3.6GHz, 二者均为 Ubuntu 系统。具体试验对比如下。

图5和图6为嵌入式环境与PC环境下基于SOAR模型的武器目标分配系统不同目标数目下多次运行的时间曲线图,图7为嵌入式环境与PC环境下同算法调用SOAR模型与不调用SOAR模型目标分配的平均运行时间对比。

通过多组试验得出的结果可以看出,系统在嵌入式环

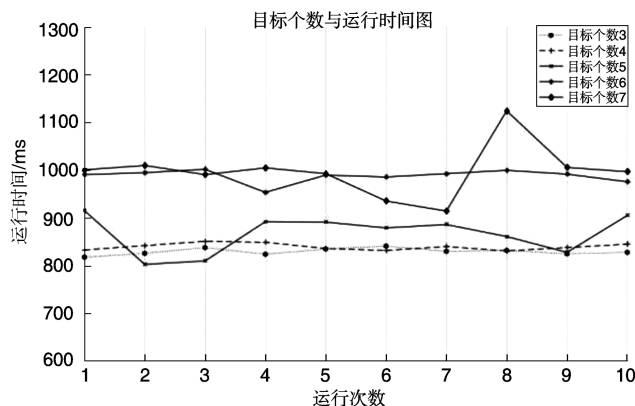


图5 嵌入式环境下目标个数与运行时间图

Fig.5 Runtime of different target number in embedded environment

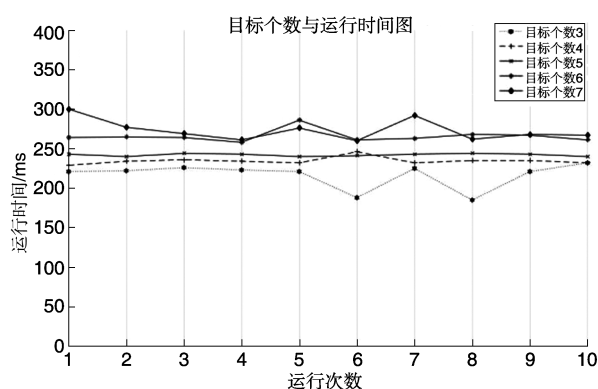


图6 PC环境下目标个数与运行时间图

Fig.6 Runtime of different target numbers in PC environment

境和PC环境下进行多组试验,图5和图6证明系统具有良好的稳定性,从图7可以看出PC环境下的ubuntu性能明显强于嵌入式飞腾1500A的性能,在目标个数相同的情况下,PC环境系统运行时间远远低于嵌入式平台,调用SOAR模型的系统相较于未调用SOAR模型的系统运行时间较慢,但超出的运行时间多用于调用SOAR的接口程序和规则库文件,确保了最终方案更加贴合人为思考的分配结果,且时间损失在可接受范围内。图8为嵌入式环境优化前后运行时间与PC运行时间对比图。

嵌入式环境与PC环境由于硬件条件存在差距,因此运行时间相差较大。针对嵌入式环境进行优化之后系统性能有着明显提升,平均提速200ms左右,且能够在1s内得出目标分配结果,满足系统的实时性要求。

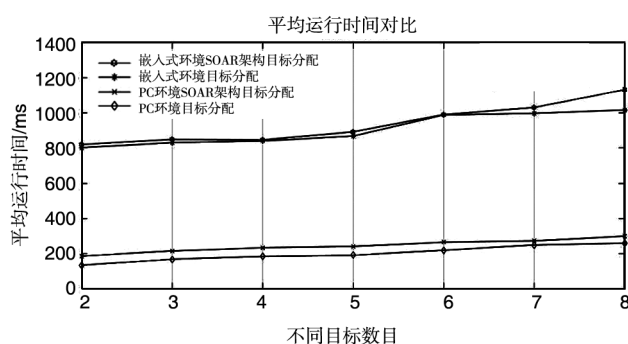


图7 嵌入式与PC环境下平均运行时间比较

Fig.7 Comparison of average running time in embedded and PC environment

5 结束语

本文采用SOAR模型构建专家系统知识库,能够利用领域专家的知识来帮助飞行员进行决策,实现了基于SOAR模型的武器目标分配系统,并通过试验验证该系统

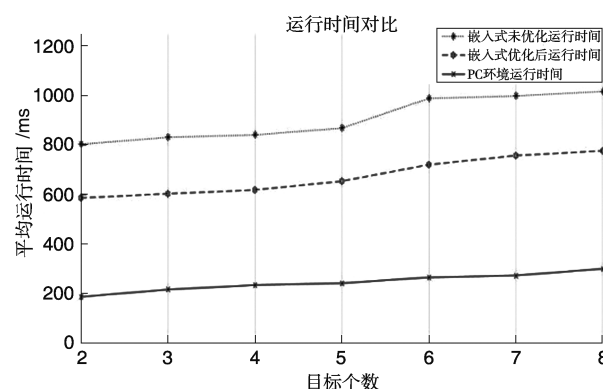


图8 优化前后运行时间与PC比较

Fig.8 The comparison of running speed with PC before and after optimization

具有一定的可行性,为目标分配系统的构建提供了一种新思路。该模型基于较为简单的规则建立,在嵌入式环境下能够实时准确地给出合理的目标分配方案,但实际作战场景中的规则更加复杂多变,这将直接提升SOAR知识库的复杂程度,并增加系统的整体运行时间。未来工作将进一步对嵌入式环境进行针对性优化,并提取出更符合实际场景的空战规则,提高系统的实用价值。

AST

参考文献

- [1] 张举. 武器-目标分配问题研究[C]// 第三届中国指挥控制大会, 2015.
Zhang Ju. Research on weapon target assignment problem[C]// The 3rd China Conference on Command and Control, 2015. (in Chinese)
- [2] 于连飞, 刘进, 张维明, 等. 武器-目标分配问题算法研究综述[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(2): 28-34.
Yu Lianfei, Liu Jin, Zhang Weiming, et al. A review of weapon-target assignment algorithms[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2016, 46(2): 28-34. (in Chinese)
- [3] 王伟钢. 战场决策过程中辅助决策功能分析[J]. 航空科学技术, 2017(6): 4-8.
Wang Weigang. Function analysis for decision aid during the process of battlefield decision[J]. Aeronautical Science & Technology, 2017(6): 4-8. (in Chinese)
- [4] 张中伟. 无人机自动目标识别算法研究综述[C]// 2019年(第四届)中国航空科学技术大会论文集, 2019.
Zhang Zhongwei. Overview of UAV automatic target recognition algorithm[C]// Proceedings of 2019(Fourth) Chinese Society of

- Aeronautics and Astronautics, 2019.(in Chinese)
- [5] 吴鹏,强韶华,高庆宁. 基于SOAR模型的网民群体负面情感建模研究[J]. 中国管理科学, 2018, 26(3):126-135.
Wu Peng, Qiang Shaohua, Gao Qingning. Research on netizens' negative emotion modeling based on SOAR model[J]. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26(3): 126-135. (in Chinese)
- [6] 吴鹏, 强韶华, 高庆宁. 基于SOAR模型的网络舆情演变过程中群体行为分析与仿真[C]//中国系统工程学会学术年会, 2016.
Wu Peng, Qiang Shaohua, Gao Qingning. Analysis and simulation of group behavior during the evolution of internet public opinion based on SOAR model[C]//Systems Engineering Society of China, 2016. (in Chinese)
- [7] 张国辉,徐文超,张文阁,等. 基于双层Soar框架的数字化士兵行为建模方法[J]. 装甲兵工程学院学报, 2014, 28(6):87-91.
Zhang Guohui, Xu Wenchao, Zhang Wenge, et al. Behavior modeling method digitized soldiers based on double-layers soar architecture[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2014, 28(6):87-91. (in Chinese)
- [8] 孙向军,陆勤夫,孙翠娟. 舰艇编队智能防空决策模型研究[J]. 舰船科学技术, 2010(2):102-105.
Sun Xiangjun, Lu Qinfu, Sun Cuijuan. Research of intelligent decision making model on formation aerial defense[J]. Ship Science and Technology, 2010(2):102-105. (in Chinese)
- [9] 吴涛,孙向军,赵斯强. Soar在水面舰艇CGF防空决策行为模型构建中的应用[J]. 指挥控制与仿真, 2013(2):114-118.
Wu Tao, Sun Xiangjun, Zhao Siqiang. The application of soar in surface warship CGF defense decision-making behavior modeling [J]. Command Control & Simulation, 2013(2): 114-118. (in Chinese)
- [10] 孙丽. 基于SOAR认知模型的辅助诊断系统研究[D]. 北京: 北京大学, 2009.
Sun Li. Research on aided diagnosis system based on SOAR cognitive model[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2009. (in Chinese) (责任编辑 王为)

作者简介

丁凡(1995-)男,硕士研究生,助理工程师。主要研究方向:人工智能。

Tel: 18602926940 E-mail: 735382270@qq.com

Design and Research of Weapon Target Assignment Based on SOAR Model

Ding Fan*, Wen Pengcheng, Han Wei

Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Airborne and Missileborne Computer, AVIC Xi'an Aeronautics Computing Technique Research Institute, Xi'an 710065, China

Abstract: Threat assessment is important for weapon target assignment. Under the current air combat condition, the result of weapon target assignment can be affected by various parameters such as speed, angle, altitude and striking distance. It is difficult for pilots to make decisions while considering these parameters. A weapon target assignment system based on SOAR model is proposed to help the pilot by combining the knowledge data base with the weapon target assignment algorithm to give a better assignment plan timely and accurately. At last, simulative calculations are performed. The results indicate that the outputs of the designed system can meet the expected requirements and display an excellent real-time performance.

Key Words: SOAR; cognitive architecture; target assignment; threat assessment; expert system

Received: 2020-01-19; **Revised:** 2020-02-13; **Accepted:** 2020-03-19

Foundation item: Aeronautical Science Foundation of China (2017ZC31008)

*Corresponding author. Tel.: 18602926940 E-mail: 735382270@qq.com

航空科学技术 “高超声速飞行器宽速域气动特性研究” 专刊征稿通知

Aeronautical Science & Technology

《航空科学技术》创刊于1989年，是由中国航空工业集团有限公司主管、中国航空研究院主办、中航出版传媒出版的科技类期刊（月刊，每月25日出版），面向全国公开发行人。期刊以促进航空科技发展、交流航空科技成果和培养航空科技人才为办刊宗旨，为科研人员提供更加快捷的科技交流平台。《航空科学技术》现为《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊、《中国核心期刊（遴选）数据库》收录期刊、中国学术期刊网络出版总库全文收录期刊、超星期刊域出版平台全文收录期刊和航空工业科技信息资源共享平台全文收录期刊。

以高超声速飞机为代表的宽速域高超声速飞行器是近期航空航天领域的研究热点，为促进该领域的学术交流和技术推广，集中展示相关研究成果与进展，《航空科学技术》计划2020年下半年刊出“高超声速飞行器宽速域气动特性研究”专刊。现向相关领域专家学者征集稿件，主要内容包括与宽速域特性相关的总体气动性能、内外流一体化、地面试验与飞行演示等方面的技术难题的综述与创新研究。

● 投稿要求和方式：

1. 专刊文章采用集中审稿的方式，论文请按《航空科学技术》模板编排，并将word文档与《保密审查单》一起发送到专刊秘书邮箱；
2. 为方便联系，来稿请写清通信作者联系方式。

● 专刊联系人：

专刊组稿专家：中国航空工业空气动力研究院，钱战森

专刊秘书：（王璐，024-86566625，13842028973；E-mail: WANGLO64@avic.com）

专刊责任编辑：《航空科学技术》编辑部，康彬，010-85672530

有意向专刊投稿的作者，请于2020年6月30日之前将您的稿件发送到专刊秘书邮箱。编辑部承诺尽快审理和刊出，对于未能选登上专刊的其他文章，编辑部也会按照期刊投稿正常流程处理，录用或给出文章修改建议。



航空工业科技信息资源共享平台

从桌面到指尖

特色检索体系

灵活多样组合

丰富内容资源

可提供定制服务

双重阅读模式

可自主扩充资源

开通试用：

个人申请请发送E-mail至mahaoqi@aviationnow.com.cn，邮件中请注明：姓名、手机号、工作单位及部门名称，我们在工作日内将为期七天的试用账号通过手机或邮件发送给您。

电话：010-85672626

网址：<http://knowledge.aviationnow.com.cn>

邮编：100028

地址：北京市朝阳区京顺路5号曙光大厦C座

