

CBR 与 RBR 结合的无人机自主空战战术决策

李 聪¹, 王 勇¹, 唐传林¹, 黄长强¹, 代 忠²

(1. 空军工程大学航空航天工程学院, 西安, 710038; 2. 空军军事职业教育部, 四川隆昌, 642150)

摘要 针对空战中无人作战飞机战术决策自主化问题,提出了基于案例推理(CBR)和规则推理(RBR)的战术决策方法。在剖析战术决策案例特征的基础上,设计了一种基于框架结构的案例表示方法,并引入结构相似度和云模型理论,以改进传统的最近邻检索算法。最后,利用基于案例推理和规则推理设计的战术决策 GUI 界面,能够快速地从库中检索出与当前空战态势最匹配的战术决策源案例,证明了该方法具有较好的有效性。

关键词 无人作战飞机;战术决策;案例推理;规则推理;云模型

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2017.01.003

中图分类号 V271 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2017)01-0013-07

An Autonomous Tactical Decision Making for Unmanned Aerial Vehicles Based on CBR and RBR

LI Cong¹, WANG Yong¹, TANG Chuanlin¹, HUANG Changqiang¹, DAI Zhong²

(1. Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. Air Force Military Professional Education Sector, Longchang 642150, Sichuan, China)

Abstract: Aimed at problem that unmanned combat air vehicle exists in autonomous air combat tactical decision making, this paper presents an approach of case-based reasoning (CBR) and rule-based reasoning (RBR) and a method for describing autonomous air combat tactical decision making cases based on frame structure. The research shows that the improved nearest neighbor approach can improve the effectiveness and accuracy of case-based reasoning by introducing the calculation method of structural similarity and the theory of cloud model. Finally, the result of simulation shows that any appropriate solution can be selected from the case library.

Key words: unmanned combat air vehicle (UCAV); tactical decision making; case-based reasoning (CBR); rule-based reasoning (RBR); cloud model

无人机因其零人员伤亡,全寿命周期成本低,持续作战能力强的特点以及在尺寸、速度和机动能力等方面的优势,注定会颠覆现有的作战样式,成为未来战场的宠儿^[1-2]。然而,目前UCAV的控制与决策方仍依赖于人的主观参与,对拓展UCAV作战样

式和适应动态变化的战场环境而言存在明显的局限性^[3-4]。因此,对UCAV自主进行作战决策问题的研究具有很大的应用前景和意义^[3]。文献^[5~15]中提出的多种辅助决策方法,对无人机而言多应用于地面站控制模式,无法解决无人机的自主空战战

收稿日期: 2016-07-10

基金项目: 国家自然科学基金(71501184);航空科学基金(20155196022);陕西省自然科学基金(2016JQ6050)

作者简介: 李 聪(1992-),男,山东潍坊人,硕士生,主要从事无人飞行器作战系统与技术研究。E-mail:lealicong@163.com

引用格式: 李聪,王勇,唐传林,等. CBR 与 RBR 结合的无人机自主空战战术决策[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2017, 18(1): 13-19. LI Cong, WANG Yong, TANG Chuanlin, et al. An Autonomous Tactical Decision Making for Unmanned Aerial Vehicles Based on CBR and RBR [J]. Journal of Air Force Engineering University(Natural Science Edition), 2017, 18(1): 13-19.

术决策的问题。

针对无人作战飞机自主空战中的战术决策问题,有人机飞行员在空战和训练中形成的作战经验为案例库的构建和规则推理机制提供了大量的样本。在此基础上,本文提出了基于框架结构的战术决策知识表示形式,并结合主观专家赋权法和客观云模型理论^[16-17]确定属性权重。此外,为了克服最近相邻检索算法中属性缺失的问题,提出了双层结构的案例全局相似度计算方法^[18]。最后,利用规则推理对相似度小于阈值的情况进行修正。

1 案例知识表示

以飞行员空战经验的丰富样本为基础,设计合理的经验知识表示方式,建立结构化的UCAV战术决策案例知识库是进行无人作战飞机自主空战战术决策的前提。

无人机自主空战战术决策的案例表示可理解为利用编码的知识将空战决策规则转化为机器可以分析处理的数据结构。飞行员在空战对抗采取战术方案时,通常先从记忆中寻找与当前空中态势相似的经历,然后对记忆中的解决方法结合实际情况进行适当修正后再实施作战行动。根据飞行员的这种思维活动以及进行案例推理时的需求,本文采用框架表示法对飞行员空战决策知识进行表示,并将每个知识元以案例的形式存储在案例库中,见表1。

表1 战术决策关键属性案例知识表示

Tab. 1 Representation of key attributes of tactical decision making cases

	敌机类型	
槽 1	<侧面 11>:制空战斗机	<值 111>: 0
	<侧面 12>:非制空战斗机	<值 121>: 1
	敌方武器攻击	
槽 2	<侧面 21>:我方UCAV不处于对方武器攻击范围	<值 211>: 0
	<侧面 22>:我方UCAV处于对方武器攻击范围	<值 221>: 1
	我方武器攻击	
槽 3	<侧面 23>:敌方不处于我方UCAV武器攻击范围	<值 231>: 0
	<侧面 24>:敌方处于我方UCAV武器攻击范围	<值 241>: 1
	敌方电子战攻击	
槽 4	<侧面 31>:我方UCAV不处于对方电子战攻击范围	<值 311>: 0
	<侧面 32>:我方UCAV处于对方电子战攻击范围	<值 321>: 1

续表

	我方电子战攻击	
槽 5	<侧面 33>:敌方不处于我方UCAV电子战攻击范围	<值 331>: 0
	<侧面 34>:敌方处于我方UCAV电子战攻击范围	<值 341>: 1
槽 6	空间相对距离(km)	
	<侧面 41>:两机距离	<值 411>:[1 20]
槽 7	敌机方位(°)	
	<侧面 51>:敌机相对我机方位	<值 511>:[0 180]
	动作方案	
槽 8	<侧面 61>:保持当前飞行状态	<值 611>: 1
	<侧面 62>:防御型机动	<值 621>: 2
	<侧面 63>:电子战+防御型机动	<值 631>: 3
	<侧面 64>:进攻型机动	<值 641>: 4
	<侧面 65>:火力攻击	<值 651>: 5
	<侧面 66>:电子战	<值 661>: 6
	<侧面 67>:进攻型+火力攻击	<值 671>: 7
	<侧面 68>:火力攻击+电子战	<值 681>: 8

框架表示是一种适应性强、结构灵活、推理方式灵活的知识表示方法,具有很强的通用性和灵活性。框架表示法的具体内容参看文献[19]。本文中,“槽”表示战术决策案例的属性,“侧面”用来描述战术决策案例属性的不同方面。由于空战涉及到众多因素^[15],很难通过战术决策案例完整地描述,故本文只选取了影响战术决策的关键属性对空战态势进行刻画,最后的仿真结果验证了表1中选取的关键属性的合理性。

2 案例检索

目前,案例检索主要有最近相邻、归纳推理和知识引导等几种方法^[19]。在研究无人作战飞机自主空战战术决策案例知识表示方法的基础上,选用最近相邻检索算法。

最近相邻检索算法的实现主要包括特征属性权重的获取,结构相似度计算,属性相似度计算和全局相似度计算等4个方面的内容^[19],现将本文中所使用的改进型最近相邻检索算法的各环节设计如下。

2.1 检索特征属性权重的获取

检索特征属性的获取过程在构建案例库时即已经完成。敌机是否进行武器攻击、是否进行电子战攻击和敌机类型等一系列重要的属性不同^[20],则目标问题和源案例之间根本就无需进行匹配。这类特征属性可定义为充要条件属性。为了突出充要条件属性,本文将充要条件属性的权重取为1,即 $\sum_i^n \omega_i > 1$,即只要充要条件特征属性不同,则利用欧式距

离公式求得的相似度值可以小于或者等于零,即目标问题和源案例就无需进行匹配。这样案例库可以在规模不变的情况下,由于不需要进行全库搜索而使得检索的速度大大加快。

对于其余的非充要条件属性的权值,可采用专家打分法和云模型理论在量化多专家对属性于最后决策方案影响强度判断的基础上,使用云模型对权重知识进行启发式层次寻优,从而确定其权值。具体的计算流程见图 1。

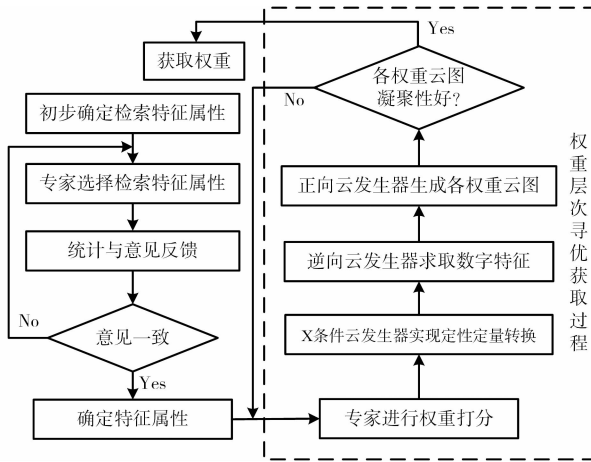


图 1 特征属性权值获取流程

Fig. 1 Acquisition procedure of the weight of attribute

下面,以“敌机方位”属性的权重确定过程为例进行说明:

表 2 为进行 3 次专家打分后,借助正向云发生器和逆向云发生器^[17]求取的关于“敌机方位”属性的云模型数字特征,并利用正向云发生器生成云图,见图 2。

表 2 专家打分结果

Tab. 2 The result of expert scoring method

专家打分序次	云模型数字特征		
	期望	熵	超熵
第 1 次	0.656 0	0.174 3	0.322 9
第 2 次	0.667 1	0.127 2	0.052 0
第 3 次	0.655 1	0.123 3	0.032 0

从图 2(a)结合表 2 分析可知,第 1 轮的打分结果熵值以及超熵值都偏大,云滴的离散度较大,每个数值隶属度的随机变化较大,表明专家对“敌机方位”这一特征属性未形成一致的看法,需要进行继续打分。

图 2(b)是在专家对第 1 次打分结果进行分析后,再次打分后通过正向云发生器所得的云图,结合表 2 分析可知,熵值和超熵值均开始减小,云图由雾状开始向云凝聚,表示专家意见开始趋于统一。

然后,对评分结果处理后再次反馈给专家以指导其进行第 3 次打分,所得结果的数字特征为

(0.655 1,0.123 3,0.032 0),熵和超熵进一步降低,生成云图如图 2(c)所示,云图凝聚性再次增强,表示专家意见趋于一致,则据此可设定“敌机方位”特征属性的权重为 0.655 1。

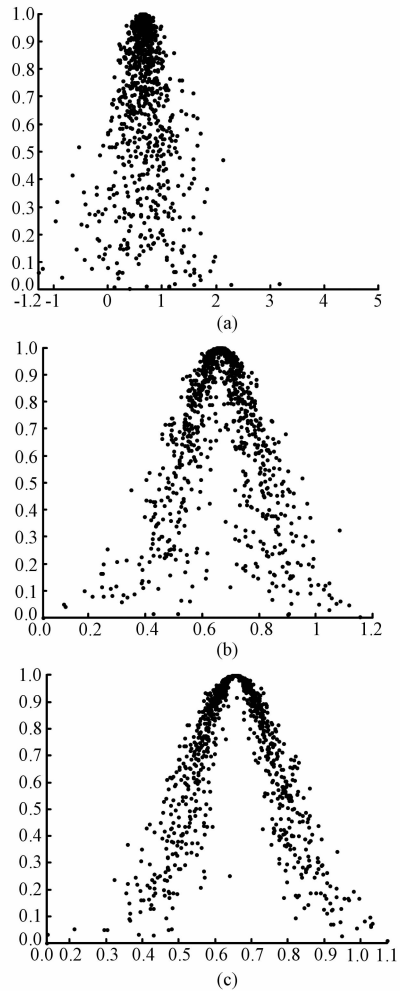


图 2 权重获取过程云图

Fig. 2 Cloud picture of calculating the weight

重复上述计算步骤,则可分别求得“UCAV 武器攻击”“UCAV 电子战攻击”和“空间相对距离”等非充要条件属性的权值。最终计算结果见表 3。

表 3 特征属性权值

Tab. 3 The weight of characteristic attribute

序号	特征属性	权重	归一化权重
1	敌机类型	1	1
2	敌武器攻击	1	1
3	敌电子战攻击	1	1
4	敌机方位	0.655 1	0.193 1
5	UCAV 武器攻击	0.783 4	0.238 0
6	UCAV 电子战攻击	0.596 5	0.175 4
7	空间相对距离	0.897 9	0.313 5

2.2 相似度计算

无人作战飞机自主空战战场环境态势复杂,因

自身探测器性能不足等原因往往会造成特征属性值缺失的情况^[21]。为了克服上述不足,提出了结构相似度和属性相似度相结合的双重结构检索策略。具体实施策略为:首先分析目标问题与源案例之间在结构上的相似度,然后再分析两者属性之间的相似度,最后计算全局相似度^[22]。

2.2.1 结构相似度

由于待解决问题与源案例的属性可能不尽相同,故先要求取结构相似度:

$$J\text{Sim}(Q, C) = \frac{W_{Q \cap C}}{W_{Q \cup C}} = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i}{\sum_{j=1}^n \omega_j} \quad (1)$$

式中: $J\text{Sim}(Q, C)$ 表示问题案例的属性集合 Q 和源案例的属性集合 C 的结构相似度; $W_{Q \cap C}$ 表示 Q 和 C 交集的权重之和; $W_{Q \cup C}$ 表示 Q 和 C 并集的权重之和; ω_i 表示 Q 和 C 交集的第 i 个属性的权重; ω_j 表示 Q 和 C 并集中第 j 个属性的权重; m 表示 Q 和 C 交集中属性的个数, n 表示 Q 和 C 并集中属性的个数。

2.2.2 属性相似度

在战术决策案例中,属性的类型有2类^[13]:一是确定符号属性,如敌机类型、敌武器攻击、敌电子战攻击、UCAV武器攻击、UCAV电子战攻击等;二是确定数属性,如敌机方位,空间相对距离等。根据上述分析,利用混合相似性度量方法对属性相似度进行计算。

1) 确定符号属性

$$\text{sim}(s_0, s_j) = \begin{cases} 0, & \text{不相似} \\ 1, & \text{相似} \end{cases} \quad (2)$$

例如,属性“敌机类型”所有取值为0和1,若问题案例与源案例的敌机类型值均为0(制空战斗机)或1(非制空战斗机),则 $\text{sim}(s_0, s_j) = 1$,其余情况则 $\text{sim}(s_0, s_j) = 0$

2) 确定数属性

确定数属性之间的不同,可借助于点间距离远近来反映,因此,基于距离的计算方法可用于解算其相似度^[23]。本文采用最常用的欧氏距离算法,其相似度的具体算法如下:

$$\text{sim}(s_0, s_j) = 1 - \frac{d(s_0, s_j)}{z_i} = 1 - \frac{|s_0 - s_j|}{z_i} \quad (3)$$

式中: z_i 表示第 i 个特征属性的取值范围。

2.2.3 全局相似度

在进行全局相似度计算时,只能根据共有属性进行计算,因此,需要对各共有属性的权重重新进行归一化处理,计算方法如下:

$$\text{Sim}(Q, C) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\omega_i}{W_{Q \cap C}} \text{sim}(s_0, s_{j_i}) \right) \quad (4)$$

式中: Q 和 C 的属性加权相似度由 $\text{Sim}(Q, C)$ 表示, Q 和 C 交集的权重之和由 $W_{Q \cap C}$ 表示, Q 和 C 交集的第 i 个属性的权重由 ω_i 表示, m 为 Q 和 C 交集中属性的个数, $\text{sim}(s_0, s_{j_i})$ 表示问题案例 s_j 与源案例 s_0 之间第 i 个属性的相似度。

综上所述,利用式(1)~(4),便可求得问题案例和源案例之间的相似度。在案例检索过程中,为了使检索到的源案例对目标问题有很好的参考和指导意义,以保证源案例和目标问题描述尽可能相似,需要设置相似度阈值。当有多个相似度超过阈值的案例时,则选取相似度最大的案例;当目标问题与源案例的最大相似度小于设定的阈值时,则认为检索失败,需要进行案例修正以得到战术方案。

3 案例修正

当检索后目标问题的案例与源案例的相似度不高甚至检索失败时,为了顺利地进行战术决策,则需要案例修正。案例修正一直是案例推理的难点之一,现采用的方法大多数是基于规则或者人机交互的方式^[18]。本文基于规则推理(RBR)设计了战术决策案例的修正机制。规则推理的具体方法见文献^[23]。

对于一个新问题,首先进行案例推理,当不存在满足阈值的案例时,则转向基于规则的推理。这种方式符合人在解决问题时,先采用经验求解,当无类似经验知识时则根据事物间的因果关系求解问题的思维模式。在此基础上,可得战术决策的流程见图3。

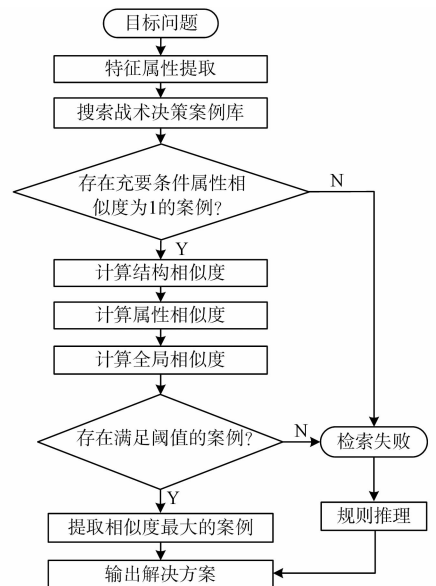


图3 战术决策流程

Fig. 3 Process of tactical decision making

4 战术决策案例库的维护与更新

战术决策案例库的扩充,一方面可以依靠飞行员在实战或演习过程中获得的经验的转化,将经验提炼为案例库中的案例;另一方面则可以依赖UCAV自主空战过程中所获经验的转化。随着案例库中案例的增加,案例库难免出现冗余,从而对战术决策实时性产生不利影响。因此,当有新案例被添加进案例库时,则需要检查其冗余性,设计案例库维护与更新的流程见图4。关于案例评估机制的研究将在后面的研究中进行。

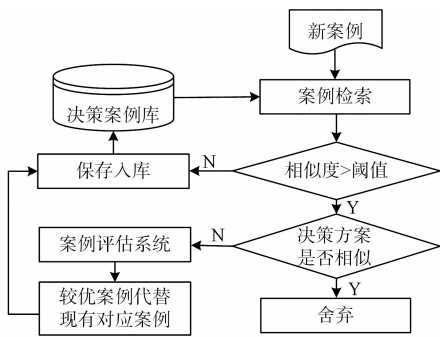


图 4 案例库的更新

Fig. 4 Update of the case library

5 仿真分析

为了演示本文设计的战术决策方法,采用以 IntelCore i3-2100 CPU 3.1 GHz RAM 4G 为硬件基础的 WIN7 系统环境,在 MATLAB 软件的基础上建立可视化的 GUI 仿真界面,利用前文设计的改进型最近邻检索算法进行仿真分析。

在读取飞行员战术数据经验的基础上,建立案例库,设置案例匹配相似度阈值为0.8。当目标案例与源案例的相似度大于该阈值时,则认为待求解问题与源案例相似,选取相似度最大的源案例作为决策结果。否则表示不相似,案例推理失败,进行规则推理。

假设UCAV所处的空战态势如图5所示。敌机为非制空型飞机,我方UCAV未处于敌武器攻击区内,我方UCAV未处于敌电子战攻击范围,敌机方位相对我方UCAV为150°,敌方处于UCAV武器攻击范围,空间相对距离为9 km的条件下,通过案例检索,选取最相似案例,其相似度为0.81064,大于给定的阈值,因此最匹配战术为“战术5:进行火力攻击”,仿真中决策时间为0.97 ms。

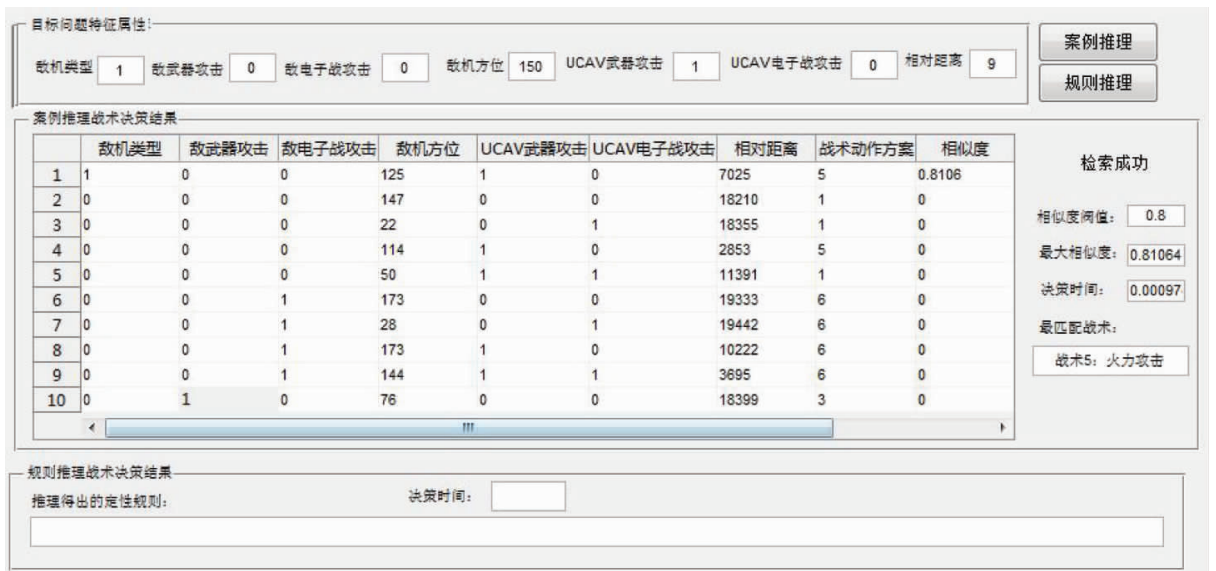


图 5 案例推理结果

Fig. 5 The result of CBR

图6为UCAV自主空战中进行规则推理的结果。在图6描述的空战态势中,敌机为非制空型飞机,我方UCAV未处于敌武器攻击区,我方UCAV未处于敌电子战攻击范围,敌机相对我方UCAV方位为20°(处于UCAV后半球),敌机未处于我方UCAV电子战攻击范围内,空间相对距离为9 km

的条件下,通过案例搜索,得到最相似案例的相似度仅为0.506,小于给定的阈值,案例检索失败,遂进行规则推理。通过规则推理可得出最佳匹配战术为“战术1:保持当前飞行状态”。仿真中决策时间为5.07 ms,决策结果与人在回路中参与决策的结果一致,决策时间满足实时性的要求。



图6 规则推理结果

Fig. 6 The result of RBR

6 结语

本文针对UCAV自主空战战术决策问题,提出了一种基于案例推理和规则推理的人工智能方法。从仿真结果来看:战术决策案例知识表示过程中所选用的关键特征属性比较合理,能较准确地描述空战态势,并据此选择出合理的战术方案;采用的案例检索与维护机制能在保证检索快速性的同时兼顾案例库的完备性;决策时间短,足以满足实时性要求。本文的研究内容主要为战术决策层中的战术方案选取,从而为无人机自主空战过程中机动动作的执行层进行指导。下一步的努力方向对自主空战过程中的战术机动动作进行研究。

参考文献(References):

- [1] DEGHAT M, XIA L, HONG Y. Multi-Target Localization and Circulmn Avigation by a Single Agent Using Bearing Measurements, *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 2015, 25(2): 2362-2374.
- [2] BYRNES M. Nightfall: Machine Autonomy in Air-to-Air Combat[J]. *Air and Space Power Journal*, 2014(6): 48-75
- [3] TSACH S, PELED A, PENN D, et al. Development Trends for Next Generation UAV Systems[J]. *Aiaa Infotech*, 2007, 41(3): 203-209.
- [4] 任佳,高晓光,郑景嵩,等. 复杂环境下的无人机任务决策模型[J]. *系统工程与电子技术*, 2010, 32(1): 100-103.

- REN J, GAO X G, ZHENG J S, et al. Mission Decision Making for UAV Under Dynamic Environment [J]. *System Engineering and Electronics*, 2010, 32(1): 100-103. (in Chinese)
- HOLSAPPLE R W, CHANDLER P R, BAKER J J, et al. Autonomous Decision Making with Uncertainty for an Urban Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR) Scenario [C]//AIAA Guidance, Navigation and Control Conference. Hawaii: AIAA, 2008: 1-14.
- [6] MEHDI A, JONATHAN P. A Robust Approach to the UAV Task Assignment Problem[J]. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 2008, 18(2): 118-134.
- [7] SON M J, KIM T. Torpedo Evasion Simulation of Underwater Vehicle Using Fuzzy Logic Based Tactical Decision Making in Script Tactics Manager[J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(9): 7995-8012.
- [8] 唐传林,黄长强,丁达理,等. 一种UCAV自主空战智能战术决策方法[J]. *指挥控制与仿真*, 2015, 37(5): 5-11.
- TANG C L, HUANG C Q, DING D L, et al. A Method of Intelligent Tactical Decision Making for UCAV Autonomous Air Combat[J]. *Command Control and Simulation*, 2015, 37(5): 5-11. (in Chinese)
- [9] 魏强,周德云. 基于专家系统的无人战斗机智能决策系统[J]. *火力与指挥控制*, 2007, 9(2): 45-48.
- WEI Q, ZHOU D Y. Research on UCAV's Intelligent Decision Making System Based on Expert System[J]. *Fire Control and Command Control*, 2007, 9(2): 45-48. (in Chinese)

- [10] VIRTANEN K, KARELAHTI J, RAIVIO T. Modeling Air Combat by a Moving Horizon Influence Diagram Game[J]. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2006, 29(5): 1080-1091.
- [11] 周思羽, 吴文海, 孔繁峨, 等. 基于随机决策准则的改进多级影响图机动决策方法[J]. *北京理工大学学报*, 2013, 52(3): 173-176.
ZHOU S Y, WU W H, KONG F E, et al. Improved Multi-Stage Influence Diagram Technology[J]. *Journal of Peking University Institute of Technology*, 2013, 52(3): 173-176. (in Chinese)
- [12] PERELAMANA, SHIMA T. Cooperative Differential Games Strategies for Active Aircraft Protection from a Homing Missile[J]. *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, 2011, 34(3): 761-773.
- [13] 任佳, 杜文才, 白勇. 基于贝叶斯网络自适应推理的无人机任务决策[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 5(10): 25-29.
REN J, DUW C, BAI Y. UAV Mission Decision-Making Based on Bayesian Networks Adaptive Inference[J]. *Systems Engineering Theory & Practice*, 2013, 5(10): 25-29. (in Chinese)
- [14] 钟麟, 佟明安, 张圣云. 粗糙集-神经网络集成在编队空战中的应用[J]. *系统工程与电子技术*, 2006, 12(6): 182-185.
ZHONG L, TONG M G, ZHANG S Y. Cooperative Team Air Combat Decision Based on Integration of Rough Sets and Neural Networks[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2006, 12(6): 182-185. (in Chinese)
- [15] YANG C D, KUNG C C. Implement the One-on-One Air Combat Simulation Using Prediction of Optimal Maneuver[J]. *Trans Aeronautical and Astronautical Society*, 1998, 30(2): 149-159.
- [16] OBERKAMPF W L, HELTON J C. Mathematical Representation of Uncertainty[J]. *Non-Deterministic Approaches Forum*, 2001(4): 1-24.
- [17] 刘常昱, 李德毅. 基于云模型的不确定性知识表示[J]. *计算机工程与应用*, 2004(2): 32-35.
LIU C Y, LI D Y. Uncertain Knowledge Representation Based on Cloud Model[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2004(2): 32-35. (in Chinese)
- [18] 张振海, 王晓明. 基于整体相似度的铁路应急救援预案推理决策方法研究[J]. *铁道学报*, 2012, 20(11): 121-125.
ZHANG Z H, WANG X M. Research on CBR Decision Method of Railway Emergency Rescue Based on Integral Similarity Degree[J]. *Journal of the China Railway Society*, 2012, 20(11): 121-125. (in Chinese)
- [19] 袁晓芳. 基于情景分析与CBR的非常规突发事件应急决策关键技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2012.
YUAN X F. Research on Key Technologies of Emergency Decision Making for Unconventional Emergency Based on Scenario Analysis and CBR[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2012. (in Chinese)
- [20] MCGREW J S. Real-time Maneuvering Decisions for Autonomous Air Combat[D]. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2008.
- [21] 袁晓芳, 李红霞. 煤矿重大瓦斯事故案例推理应急决策方法[J]. *辽宁工程技术大学学报(自然科学版)*, 2012, 31(5): 28-33.
YUAN X F, LI H X. Case-Based Reasoning Emergency Decision Method of Gas Accident in Coal Mines[J]. *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science)*, 2012, 31(5): 28-33. (in Chinese)
- [22] PHUONG N H, PRASAD N R, DANG H H. Approach to Combining Case Based Reasoning with Rule Based Reasoning for Lung Disease Diagnosis[J]. *Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences*, 2000, 5(2): 37-44.
- [23] 徐亚博, 汪彤. 基于案例推理的地铁非常规突发事件应急决策方法研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2013, 9(8): 35-40.
XU Y B, WANG T. Research on Emergency Decision Method of Unconventional Emergency in Subway Based on Case-based Reasoning[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2013, 9(8): 35-40. (in Chinese)

(编辑: 姚树峰)