

# 基于认知理论的UCAV智能导航研究新进展

吴德伟, 邵能建, 戚君宜

(空军工程大学电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘要** 针对认知理论在无人战斗机智能导航中的应用进行了深入研究,总结了当前国内外认知理论应用研究的最新动态,从导航方式、航迹规划以及着陆3方面介绍了无人战斗机智能导航的研究现状,分析了无人战斗机智能导航研究中存在的问题,提出了一种组合导航发展的认知导航新技术,阐明了认知导航的基本内涵及其主要功能,指出了认知导航特点及其发展思路。

**关键词** 智能导航;UCAV;认知理论;认知导航

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.04.012

**中图分类号** V279 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)04-0052-06

无人战斗机(Unmanned Combat Aerial Vehicles, UCAV)作为高性能信息化武器装备,对提高战场空间感知能力、高风险目标突防能力、电子战能力、压制敌防空系统能力、作战生存能力和联合作战能力等起重要作用。目前各国研制的UCAV集中于攻击型无人机,对敌雷达、通信指挥设备、坦克等重要目标实施攻击以及拦截战术导弹。为减少有人飞机在空战中的损失,国外正研制既可用于对地攻击,又可用于空战,还可用于反战术导弹的格斗型无人机。随着各类UCAV的迅速发展和广泛应用,UCAV不仅会在未来战场上与有人机并肩作战,甚至可以替代有人战斗机执行作战任务。作为一类直接参与作战的无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV),自主飞行能力是UCAV发展的主要方向。但目前UCAV依赖地面控制站的操控,自主飞行水平受到通信链路的安全性、可靠性及有效性的限制。为摆脱人员直接参与控制,需要首先解决智能导航问题,确保UCAV在自主飞行时具有实时可靠的位置、速度、姿态等导航信息以及安全的飞行航迹。目前,智能导航有广义和狭义之分,前者泛指有人工智能方法参与的导航;后者是指通过感知环境自主进行内部参数调整的导航,其中感知意味着获得和利用环境信息的能力,而自主调整强调了没有人为干预。两者都强调智能方法在导航过程中的作用,但狭义智能导航更能准确地描述导航过程的智能性。

认知科学作为新兴研究门类,已经引起了广泛关注。主要研究人类感知和思维信息处理过程,包括从感觉的输入到复杂问题求解,从人类个体到人类社会的智能活动,以及人类智能和机器智能的性质。目前其认知理论在信息科学中存在着两方面的重要应用,即认知无线电<sup>[1]</sup>与认知网络<sup>[2]</sup>,前者是指一种能够感知其工作环境并可根据知识动态自主进行无线电参数调整的无线电;而后者通过感知网络状况,进而计划、决策、行为,这种网络能从环境中学习,依据学习结果制定决策方案,确保网络有效畅通。为解决频谱资源的匮乏和固定分配频谱利用率较低的问题,认知无线电及其网络得到了足够的重视与发展。

为满足UCAV导航系统的自主化、智能化发展需求,本文从信息认知处理角度出发,针对基于认知理论的UCAV智能导航技术发展展开讨论,在总结分析基于认知理论的智能导航研究现状以及UCAV智能导航研究现状基础上,提出一种组合导航发展的新技术——认知导航,并对其内涵及主要功能特点进行阐述。

\* 收稿日期:2010-12-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61001111);国防科技重点实验室基金资助项目(9140C0201010902)

作者简介:吴德伟(1963-),男,吉林省吉林市人,教授,博士生导师,主要从事导航定位理论、技术、应用研究。

E-mail:wudewei74609@126.com

## 1 基于认知理论的智能导航研究现状

空间认知作为认知理论的一个重要研究内容,主要涉及人类怎样认识空间环境,包括对其中的物体、现象的位置、空间分布、相互关系以及他们的变化和规律。空间认知应用的一个重要领域是智能机器人导航,目前有关空间认知的理论研究还在继续深入<sup>[3]</sup>。

A. Arleo 等人<sup>[4]</sup>提出了基于不均衡 Gabor 空间采样、无监督成长型网络以及强化学习的机器人空间认知导航,该思路给出了利用认知理论研究智能导航的新视角。但目前尚未发现认知导航的明确定义。国内外对智能导航的认知研究,基本上都围绕空间认知。A. Arleo 等人<sup>[5]</sup>在后续文章中对机器人的空间认知进行了进一步研究;Vanessa R. Simmering 等人<sup>[6]</sup>提出实时空间认知动力场理论;Hanspeter A. Mallot 等人<sup>[7]</sup>提出了一种基于行为——感知环及生物感觉中枢的空间认知框架;Han - Young Janga 等人<sup>[8]</sup>基于视觉机理对混乱环境中机器人的空间推理进行了研究;Fredrik Heintz 等人<sup>[9]</sup>利用一种知识中间模块对知识进行推理,以弥补因传感器噪声及不确定性数据导致的推理中断,等等。国内刘娟<sup>[10]</sup>提出了基于时空信息与认知模型的移动机器人导航机制。陈东岳<sup>[11]</sup>研究了基于最新的自主心智发育思想的智能机器人认知模块。张惠娣等人<sup>[12]</sup>提出基于情感与环境认知的移动机器人自主导航控制设想。蔡自兴等人<sup>[13]</sup>对移动机器人环境认知理论与技术的研究进行综述,看出机器人环境认知技术刚刚起步发展。

## 2 UCAV 智能导航关键技术研究现状

UCAV 主要执行防空压制、低空突防、空中格斗等作战任务,其环境信息往往是未知、复杂、动态变化的。有人战机的固定导航方式、预先规划航线、机场着降等传统导航模式无法满足 UCAV 的战场作战需求,需要导航系统能够进行环境感知,利用智能方法实现智能导航。主要解决:①对 UCAV 在空间中的位置、方向和环境信息的精确智能自主检测,即定位问题;②对所获得信息的智能分析及环境模型自主建立,即环境感知和建模问题;③智能规划作战飞行的路径,即航迹规划问题;④执行任务后通过智能方式进行降落,或是战场迫降,即着陆问题。

### 2.1 导航方式

导航系统的性能影响作战效能<sup>[14]</sup>。UCAV 智能导航首先要确定采用什么样的导航方式确定自身位置、姿态、速度等信息。目前直接针对 UCAV 导航方式的研究很少。但在 UAV 导航方面,已有众多学者进行了研究,涉及的导航方式既包括惯性导航(Inertial Navigation System, INS)、地形辅助导航(Terrain Aided Navigation, TAN)、无线电导航(Radio Positioning, RP)、大气数据系统(Air Data System, ADS)、卫星导航(Global Navigation Satellite System, GNSS)等,还包括磁导航、重力导航、基于 GIS 地理信息导航、视觉导航、仿兔类嗅球神经网络导航、天文导航等新生导航方式。但单一方式难以满足精确、可靠等要求,需要进行组合导航<sup>[15-16]</sup>。目前各国研制的 UCAV 也都采用组合导航,涉及 INS、GNSS、TAN、计算机视觉等方式。融合算法是决定组合导航性能的关键因素,智能融合算法以神经网络融合、模糊控制、遗传算法为主,其中神经网络可与其它方法结合实现自适应融合,如模糊—神经网络、遗传—神经网络、卡尔曼—神经网络等。

### 2.2 航迹规划技术

UCAV 智能导航的航迹规划以航迹形成为核心,确保 UCAV 能够有效形成作战路线,避开敌方雷达探测、敌方威胁以及险要地形、人工障碍等不利因素。规划方法可分为 3 类:①环境已知的规划方法;②传感器信息不确定的规划方法;③基于行为的规划方法。第 1 种类型又称全局规划,根据全局信息规划出优化路径,目前已有许多规划方法,如基于图论方法<sup>[17]</sup>、启发式搜索方法、栅格法等。第 2 种类型的环境部分未知或完全未知,又称局部规划,以提高 UCAV 规避防空火力及地形障碍为主。方法主要有人工势场法、模糊逻辑算法、人工神经网络、模拟退火算法、遗传算法、蚁群算法、粒子群算法、后退线法<sup>[18]</sup>、智能水滴<sup>[19]</sup>、人工蜜蜂群算法<sup>[20]</sup>以及混合算法<sup>[21]</sup>等。第 3 种类型尝试用简单智能体建立复杂系统,分为反射式、反应式、慎思式。

UCAV 的战场环境相对于其它 UAV 更为复杂,航迹规划新方法<sup>[22]</sup>、作战环境中规划方法<sup>[23]</sup>以及多机协同规划都是 UCAV 的研究内容。为满足在未知环境中规划及定位要求,同步定位与地图构建(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)是研究的一个热点,主要方法包括扩展卡尔曼滤波法、粒子滤波法、极大似然估计法、迭代松弛法、遗传算法等。目前 SLAM<sup>[24]</sup>、动态环境下 3-D SLAM<sup>[25]</sup>、多机协同 SLAM<sup>[21]</sup>等都是 UCAV 的研究内容。

### 2.3 智能自主着陆技术

UCAV 自主着陆与其它 UAV 具有相似性,但对智能化的需求较高,尤其在迫降情形下,需利用智能方法进行着陆区域选择、规划、决策。目前对 UCAV 智能自主着陆的研究较少,但对 UAV 自主着陆的研究相对较多,涉及 INS、GNSS、INS/GNSS、视觉导航等方式。由于 INS 存在误差积累、GNSS 存在完好性、易受干扰等缺陷,而视觉导航具有设备体积小、低功耗、获得信息量大、完全自主、无源性、易与智能方法结合等优点,UAV 自主着陆研究集中于视觉导航。从视觉原理角度来看,可分为单目视觉着陆<sup>[22]</sup>、立体视觉着陆<sup>[23]</sup>以及混合着陆;从战场环境角度来看,可分为未知环境视觉着陆<sup>[24]</sup>、夜间视觉着陆<sup>[25]</sup>以及视觉迫降<sup>[26]</sup>。视觉导航还可与其他导航方式组合实现着陆。

### 2.4 研究现状分析

1)生存环境感知建模缺乏统一模型。目前 UCAV 的生存环境并无固定说法。根据环境特点及与 UCAV 联系程度的不同,可将生存环境分为 4 类:①电磁环境:与 UCAV 导航设备相关的电磁特点,如飞行区频谱分配情形、无线电干扰等,需要感知检测建模;②地形空间:与 UCAV 飞行相关的环境实体,如地形特点(山区、平原、海洋等)、突起地形、障碍物等,涉及探测建模及空间推理;③战场威胁:与 UCAV 任务不相关的敌方实体,如分布在战场环境中的雷达、导弹阵地等;④任务目标:与 UCAV 任务直接相关的敌方实体,如指挥控制中心、雷达系统、重要建筑等。对于 UCAV 导航系统而言,这 4 类环境信息相互区别而又存在联系,目前缺乏系统、全面的研究,没有统一模型。

2)组合导航存在缺陷。除 INS 和 GNSS 外,RP、ADS、光学和红外传感器等都可成为导航信息源。UCAV 的组合导航系统除了具有高精度、可靠性等方面需求,还应能自适应接收和智能处理所有可用的导航信息数据源,并对导航信息进行融合处理。但目前组合导航存在缺陷:①不同的组合系统具有各自的最优结构,不具备灵活调整子导航系统的能力;②智能化不足,体现在知识学习及推理能力等方面;③没有通用的融合算法;④融合算法的容错性及重构性不强,在面临干扰等复杂环境时易发散。

3)航迹规划难以适应作战环境变化。目前 UCAV 航迹规划过程遵循感知→规划→执行的流程。在感知阶段,传感器信息被融合到一个世界或局部模型中。规划阶段搜索状态空间,寻找能够从当前状态到达目标状态的途径。执行阶段严格按照规划结果的实施。由于规划阶段计算复杂,智能程度不高,规划输出与环境信息输入往往存在时滞,导致规划结果在执行过程中往往难以满足 UCAV 战场环境变化的需求。

## 3 认知导航基本内涵

为解决 UCAV 智能导航存在的问题,本文的认知导航将认知理论应用于组合导航,通过多种传感器感知外界环境,配置合适的导航方式,并通过从环境中学习使内部状态适应环境变化,利用智能及仿生技术实现具有知识记忆、学习及推理特性的导航信息认知融合,并在此基础上进行具有认知特性的实时智能航迹规划,确保 UCAV 在最优航迹上的任何时间、任何地点的高精度智能导航。

图 1 给出了该内涵下的框架结构。该系统包含一个可重新配置的导航方式模块,用于自身定位及着陆,可配置参数可以是导航指标、环境指标等,该模块可通过软件无线电实现。航迹产生模块产生 UCAV 飞行路径。感知模块用于获得多种外部激励,特别是针对战场生存环境进行检测。策略数据库模块用来决定执行任务过程中的导航方式启用策略以及航迹产生方法。策略数据库可以被重新配置以适应新的任务变化。结合感知模块和策略数据模块的信息,系统对导航方式选取规则以及航迹的产生方法进行记忆、学习和推理。最终的决策则依据上述 3 个模块的输出信息最终确定,并根据结果对导航方式进行配置,进而产生实时飞行航迹。

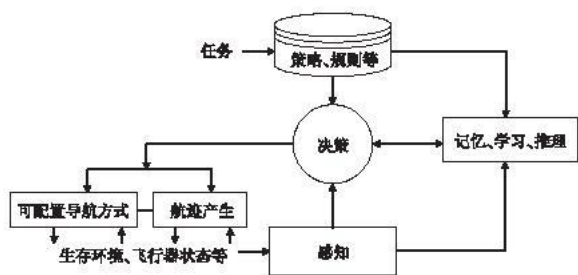


图 1 认知导航系统框架结构

Fig. 1 A frame of cognitive navigation system

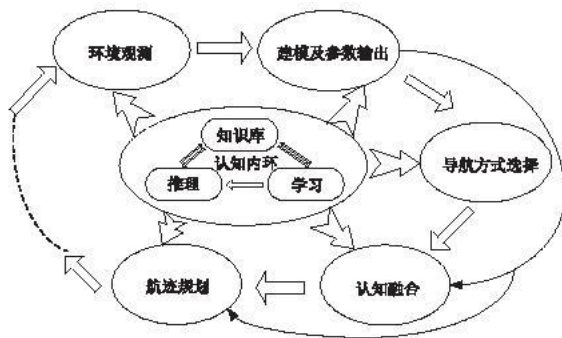


图 2 一种认知导航范式结构

Fig. 2 A primary frame for cognitive navigation paradigm

## 4 认知导航主要功能

认知导航的范式可采用内环加外环的结构(见图 2),其中内环执行认知功能,实现知识记忆、学习及推理功能,甚至可模拟自主心智发育<sup>[11]</sup>,而外环执行环境感知以及行为调整等具体功能。

### 4.1 生存环境感知建模

UCAV 生存环境感知是多层次、多目标的探测过程,感知的结果从数学角度表现多维性,认知导航系统从感知信息中提取出可靠的低维度感知信息,感知结果有 2 方面用途:首先,用于配置合适的导航方式;其次,与多种导航信息一起参与融合处理,还可直接用于航迹规划。认知导航的感知建模以地形空间建模为主体,结合其他环境模型,使生存环境感知建模建立在统一框架下。

### 4.2 导航信息认知融合

认知导航不仅具有导航方式灵活多变、融合结构适时变化等特性,还具有知识学习及推理能力,而目前人工智能类融合方法难以满足要求。认知导航进行适合导航方式可变的认知融合。认知融合集导航信息融合、结构调整以及容错于一体,是指在认知框架下利用具有自组织,自学习,甚至自发育特性的处理方法实现的智能融合,满足动态战场环境下实时导航的高精度、抗干扰性和容错性等需求。

### 4.3 认知导航航迹规划

UCAV 执行作战任务时面临动态变化的战场环境。作战任务目标的更改,新目标、新威胁的出现,UCAV 的损毁,原航迹上遇到敌方飞机拦截或存在预先未知的障碍以及格斗过程中飞行航迹的确定等情形,需要实时规划航迹。认知导航航迹规划通过认知环处理,在感知周围的环境情况和检测 UCAV 自身的性能基础上,构建认知图,在线学习和规划,提高航迹规划的实时性及智能程度。

### 4.4 航路/着陆一体化导航

航路导航与着陆的,区别在于:前者以执行任务为中心,需要 UCAV 在航线上高精度导航,或是通过感知战场环境实时调整航路;后者侧重于完成任务后或出现紧急情况时的智能自主着陆,往往没有外界特殊干扰,需要解决着陆场地选择以及着陆规划等问题。但从处理流程来看,都需要环境感知、学习甚至推理预测,进而进行规划,亦即都可包括认知过程;从硬件实现来看,都可调用软件定义模块,共享一个硬件平台;从导航方式来看,有些导航方式既可以保障航路导航(如视觉系统、测高仪、数据链等),又能在着陆过程中使用。在航路导航/着陆的联合结构以及切换机制研究基础上,认知导航可实现基于认知理论的自主着陆,确保 UCAV 智能自主着陆以及在战场环境中实施有效迫降。

## 5 总结及展望

本文将认知理论引入组合导航系统,研究 UCAV 认知导航系统的结构体系、环境建模、融合方法、航迹规划以及自主着陆方法,其实质是空间认知导航的一种拓展,具有以下优势:①利用环境信息调整内部状态,

能够进行记忆、学习和推理,避免人为直接参与的控制决策,克服现有导航系统的智能化不足,满足UCAV智能自主导航需求;②通过软件化设计,确保在统一平台下实现多种导航方式配置及其信号处理,目前组合导航系统因导航方式固定而难以保证UCAV全天候、高精度导航问题;③通过环境感知、学习及知识推理等过程,实现认知融合,能够适应导航方式多变,并从一定程度上解决融合算法的发散问题,增强UCAV导航效能;④作为一种导航信息处理思想,认知导航还涉及航迹规划以及自主着陆等领域,实现UCAV多功能认知导航。

当前,UCAV显现出巨大的发展潜力,成为了各国研究的热点。UCAV导航已在组合导航技术、航迹规划、智能控制、自主着陆等方面取得了一定成就,但智能化程度待进一步提高。随着各类UCAV的研制和认知理论不断发展,认知导航必将得到发展与应用。在后续的文章中,将对UCAV认知导航涉及的关键技术进行深入研究。

## 参考文献:

- [1] Joseph Mitola. Cognitive radio architecture evolution [J]. Proceedings of the IEEE, 2009, 97(4): 626-641.
- [2] Captain Ryan Thomas W. Cognitive networks [D]. Blacksburg: Virginia polytechnic institute and state university, 2007.
- [3] Arash Fazl, Stephen Grossberg, Ennio Mingolla. View-invariant object category learning, recognition, and search: how spatial and object attention are coordinated using surface-based attentional shrouds [J]. Cognitive psychology, 2009, 58(1): 1-48.
- [4] Angelo Arleo, Fabrizio Smeraldi, Wulfram Gerstner. Cognitive navigation based on nonuniform Gabor space sampling, unsupervised growing networks, and reinforcement learning [J]. IEEE transactions on neural networks, 2004, 15(3): 639-652.
- [5] Arleo A, Rondi Reig L. Multimodal sensory integration and concurrent navigation strategies for spatial cognition in real and artificial organisms [J]. Journal of integrative neuroscience, 2007, 6(3): 327-366.
- [6] Simmering Vanessa R, Schutte Anne R, Spencer John P. Generalizing the dynamic field theory of spatial cognition across real and developmental time scales [J]. Brainresearch, 2008, 1202: 68-86.
- [7] Mallot Hanspeter A, Basten Kai. Embodied spatial cognition: Biological and artificial systems [J]. Image and vision computing, 2009, 27(11): 1658-1670.
- [8] Janga Han-Young, Moradib Hadi, Phuoc Le Minh, et al. Visibility-based spatial reasoning for object manipulation in cluttered environments [J]. Computer-aided design, 2008, 40(4): 422-438.
- [9] Fredrik Heintz, Jonas Kvarnstr, Patrick Doherty. Bridging the sense-reasoning gap: dyknow-stream-based middleware for knowledge processing [J]. Advanced engineering informatics, 2010, 24(1): 14-26.
- [10] 刘娟. 基于时空信息与认知模型的移动机器人导航机制研究[D]. 长沙: 中南大学, 2003.  
LIU Juan. Research on mobile robot navigation strategy based on spatio-temporal information and cognitive map [D]. Changsha: Central south university, 2003. (in Chinese)
- [11] 陈东岳. 具有感知和认知能力的智能机器人若干问题的研究[D]. 上海: 复旦大学, 2007.  
CHEN Dongyue. Several researches about intelligent robot with perception and cognition [D]. Shanghai: Fudan university, 2007. (in Chinese)
- [12] 张惠娣, 刘士荣. 基于情感与环境认知的移动机器人自主导航控制[J]. 控制理论与应用, 2008, 25(6): 995-1000.  
ZHANG Huidi, LIU Shirong. Autonomous navigation control for mobile robots based on emotion and environment cognition [J]. Control theory & applications, 2008, 25(6): 995-1000. (in Chinese)
- [13] 蔡自兴, 邹小兵. 移动机器人环境认知理论与技术的研究[J]. 机器人, 2004, 26(1): 87-91.  
CAI Zixing, ZOU Xiaobing. Research on environmental cognition theory and methodology for mobile robots [J]. Robot, 2004, 26(1): 87-91. (in Chinese)
- [14] 吴德伟, 高晓光, 戚君宜. 导航系统对战斗机截击效能的影响分析[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2003, 4(2): 16-19.  
WU Dewei, GAO Xiaoguang, QI Junyi. The analysis of influence on the intercepting effectiveness of fighter by the navigation System [J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2003, 4(2): 16-19. (in Chinese)
- [15] 胡奕明, 田孝华, 秦永元. PCbH/SINS组合导航滤波器设计与仿真[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2010, 11(6): 17-21.

- HU Yiming, TIAN Xiaohua, QIN Yongyuan. Kalman filter design of PCbH/SINS integrated navigation[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2010, 11(6): 17-21. (in Chinese)
- [16] Vasconcelos J F, Silvestre C, Oliveira P. Embedded UAV model and LASER aiding techniques for inertial navigation systems [J]. Control engineering practice, 2010, 18(3): 262-278.
- [17] 杨遵, 雷虎民. 基于空间分解网络的无人机航路规划[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2006, 7(4): 13-16.  
YANG Zun, LEI Humin. Space decomposition network based path planning for unmanned air vehicles[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2006, 7(4): 13-16. (in Chinese)
- [18] Duan Haibin, Liu Senqi, Wu Jiang. Novel intelligent water drops optimization approach to single UCAV smooth trajectory planning [J]. Aerospace science and technology, 2009, 13(8): 442-449.
- [19] Xu Chunfang, Duan Haibin, Liu Fang. Chaotic artificial bee colony approach to uninhabited combat air vehicle (UCAV) path planning [J]. Aerospace science and technology, 2010, 14(8): 535-541.
- [20] Artieda Jorge, Sebastian José M, Campoy Pascual, et al. Visual 3-D SLAM from UAVs [J]. J intell robot syst, 2009, 55(4-5): 299-321.
- [21] Mitch Bryson, Salah Sukkarieh. Architectures for cooperative airborne simultaneous localization and mapping [J]. J Intell robot syst, 2009, 55(4-5): 267-297.
- [22] Jonathan Courbon, Youcef Mezouar, Nicolas Gueñard, et al. Vision-based navigation of unmanned aerial vehicles [J]. Control engineering practice, 2010, 18(7): 789-799.
- [23] 潘翔, 马德强, 吴贻军, 等. 基于视觉着陆的无人机俯仰角与高度估计[J]. 浙江大学学报:工学版, 2009, 43(4): 692-696.  
PAN Xiang, MA Deqiang, WU Yijun, et al. Estimating pitch attitude and altitude of unmanned aerial vehicle vision-based landing [J]. Journal of Zhejiang university: engineering science edition, 2009, 43(4): 692-696. (in Chinese)
- [24] Sevcik Keith W, Kuntz Noah, Oh Paul Y. Exploring the effect of obscurants on safe landing zone identification [J]. Journal intell robot syst, 2010, 57(1-4): 281-295.
- [25] 柴洪林, 李红, 彭嘉雄. 基于视觉的夜间无人机导航特征的提取[J]. 计算机工程, 2007, 33(22): 217-219.  
CHAI Honglin, LI Hong, PENG Jiexiong. Vision-based navigation feature extraction for UAV at night [J]. Computer engineering, 2007, 33(22): 217-219. (in Chinese)
- [26] Pillar Eng, Luis Mejias, Xi Liu, et al. Automating human thought processes for an UAV forced landing [J]. Journal intell robot syst, 2010, 57(1-4): 329-349.

(编辑:徐楠楠)

## A New Research Progress of UCAV Intelligent Navigation Based on Cognitive Theory

WU De-wei, TAI Neng-jian, QI Jun-yi

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** The application of cognitive theory in Unmanned Combat Aerial Vehicles (UCAV) Intelligent navigation is studied profoundly. The latest trend of cognitive theory application research at home and abroad is summarized. Then, the present researches of UCAV Intelligent navigation are introduced in three aspects of navigation method, path planning and autonomous landing. Based on analyzing these recent researches, a new technology of cognitive navigation developed from integrated navigation is proposed, and furthermore, the basic connotation and main functions of the cognitive navigation are illustrated respectively. Finally, the characteristics of the cognitive navigation are shown in detail, which clearly show the way to the further research.

**Key words:** intelligent navigation; UCAV; cognitive theory; cognitive navigation