

基于认知制导的无人机安全控制方法研究

魏瑞轩, 周欢, 茹常剑, 崔军辉
(空军工程大学无人机运用工程系, 西安 710038)

摘要: 由于无人机系统自身的技术局限性和周围环境的复杂性, 无人机发生失控、撞机、被劫持等安全事故的潜在风险越来越高。从提高无人机系统作战使用安全性的需求出发, 对无人机系统的自主安全控制方法进行研究探索。对无人机安全性内涵与安全控制研究现状进行了分析, 探讨了无人机制导与人类认知的联系, 提出了基于认知制导的无人机安全控制方法, 建立了无人机防撞控制策略, 并以两架无人机的防撞控制为例, 对基于认知的无人机安全控制方法进行仿真研究。

关键词: 无人机; 安全性; 认知制导; 防撞

中图分类号: V448 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)10-0018-04

Safety Control Means for UAVs Based on Cognition-Guidance

WEI Ruixuan, ZHOU Huan, RU Changjian, CUI Junhui

(Department of UAV Utilization Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: The potential risk of control loss, collision and hijacking of unmanned aerial vehicle (UAV) has become higher and higher because of the own technical limitation of UAV and environmental complexity all round. Starting from the requirement of increasing the safety of UAV system in combat, the autonomous safety control techniques were studied. The safety intension and current study situation safety control are presented, the association between guidance and human cognition is discussed. A safety control means based on the cognition-guidance is proposed, and the collision avoidance control policy is established. Simulation was made to the proposed method taking collision avoidance of two UAVs as an example.

Key words: UAV; safety; cognition-guidance; collision avoidance

0 引言

伴随无人机的广泛使用, 无人机频频出现撞损、失控、撞机、坠毁等安全性事件, 特别是在未来的复杂对抗环境下, 无人机与无人机、无人机与有人机共空域协同飞行所面临的安全问题已成为影响无人机作战使用的突出问题^[1-2]。

无人机安全问题的主要因素包括: 不良的技术状态、不规范的操作和恶劣的飞行环境。文献[3]针对无人机协同飞行过程中容易出现的组件故障和失效问题, 设计了健康状态估计器。在无人机防撞研究中通常有两种方法: 一种用于避免无人机之间以及无人机和障碍之间碰撞的方法是采用势场和变异算

法^[4-5]; 另一种基于模型预测控制的无碰撞导航方法在文献[6]中通过实验进行了证明。

以上措施较好地解决了无人机的部件失效及防撞问题, 但是当无人机处于高度对抗和恶劣的环境下时, 算法的有效性将大大降低。本文探讨无人机制导与人类认知的联系, 提出基于认知制导的无人机安全控制方法, 使无人机能够自主感知危险、自主正确决策、自主脱离危险, 提升了无人机的自主化、智能化和鲁棒性, 最终提高无人机系统的安全性。

1 无人机的认知制导

1.1 无人机的制导

在无人机的制导控制系统中, 制导部分的任务就是根据无人机目前的位置、速度等信息, 结合平台和任务特性, 计算出该无人机沿预定航线飞行或到达指定目标所需的飞行指令, 即告诉无人机“向哪里飞”; 而控制部分的任务就是按照飞行指令控制无人机的运动, 保证其到达期望的目的地或沿着预定轨迹飞行; 制

收稿日期: 2012-09-13 修回日期: 2012-10-19

基金项目: 航空科学基金(20115196018)

作者简介: 魏瑞轩(1968—), 男, 陕西岐山人, 博士, 教授, 博导, 研究方向为飞行器控制理论与应用。

导计算所需要的无人机当前位置、速度等信息,则由导航设备给出^[7-8]。因此,制导控制系统是无人机飞行的大脑,它的“聪明与健壮”程度对于无人机系统自主的安全能力有着决定性的影响。当前无人机系统的智能程度和自主水平还比较低,无人机的控制方式主要是以地面操作员的遥控和预编程序控制为主^[9]。这种控制方式无法应对高度不确定的战场环境变化,不能有效处理各种突发威胁。为了使无人机能够自主地识别危险,并通过控制自身的飞行行为来摆脱危险,可以借鉴人类的认知功能,构建基于认知的无人机态势感知与行为决策能力。

1.2 认知模型与认知计算

人类的认知行为模型如图 1 所示。

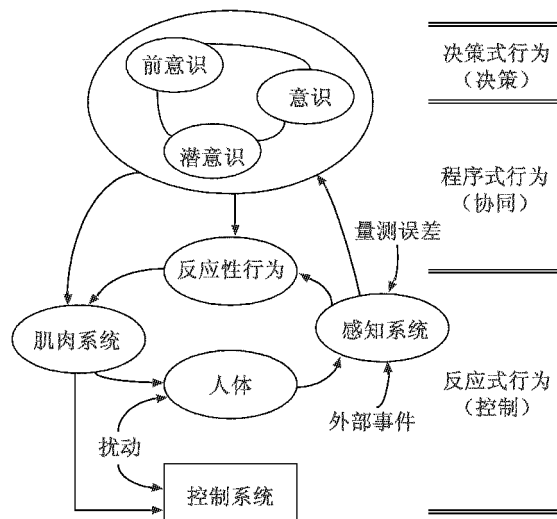


图 1 人类认知控制行为模型

Fig.1 Model of human cognitive control action

图 1 是一个智能化的 3 层结构:上层是决策性行为,执行一些决策性行为,提供推理、判断、决策等高层次的神经控制活动;中间是程序性行为,提供程序性熟练行为的神经控制行为,是一种整体化的粗控制,负责上层与下层之间的指令和传感信息传输,是最主要的控制组织与协调的执行体;下层是反射性行为,主要执行反射性行为,由底层神经中枢提供反射性行为控制以及与外界的信息沟通,是最主要的实际控制动作的执行体。正是这样一个层次与功能相互配合的结构,使人具有了最高级的认知与行为控制能力。

为了模拟人类的认知控制能力,20 世纪 90 年代兴起了认知计算的概念。它是用工程化方法重建大脑,开发具有人脑功能的计算机系统,即借鉴神经生物学的研究使计算机具有知觉、感知、认知、思维与意识。通过增强智能系统的这种类人的感知能力,开发与构建一种机器人系统或其他人工认知系统。该系统可以处理与解释多种感知信息(如图像、声音等),并

在动态实际环境中具备灵活的决策能力,自主完成任务^[10-12]。图 2 比较抽象地刻画了认知计算的信息流。

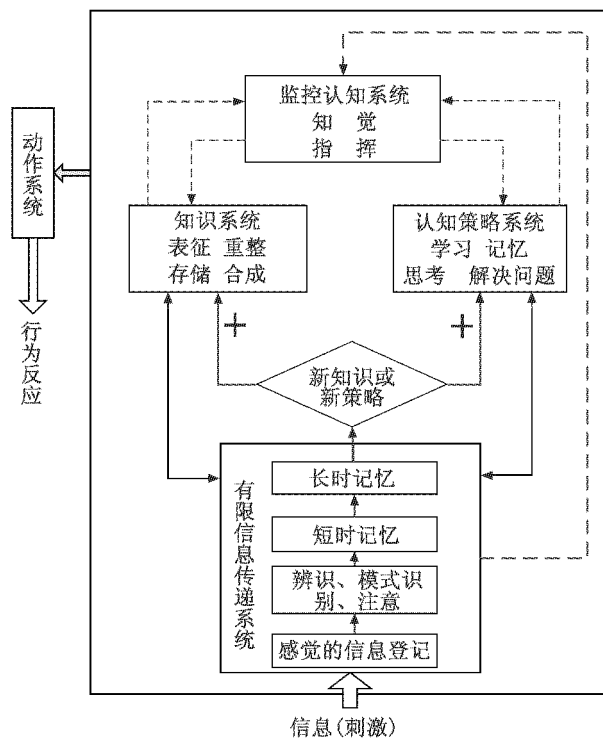


图 2 认知模拟的信息流示意图

Fig.2 The information flow of cognitive simulation

1.3 无人机认知制导

在无人机制导系统中运用认知计算方法,使无人机具备认知能力并由此产生制导指令,就是无人机的认知制导。认知制导的思想是让无人机主动与环境交互,主动认识世界,形成自己真正的内在知识,该方法最大的特点是可以学习任何知识,在任何突发和复杂环境中,无人机依靠自身学习和理解能力随即生成决策,而不需要程序员对特定任务进行编程或地面指挥控制站进行操作。

2 基于认知制导的无人机安全控制方法

基于认知制导的无人机安全控制方法是指无人机在飞行过程中能够依靠无人机系统的感知和认知计算功能,对即将或正在发生的安全风险进行感知、识别,并生成正确规避策略的无人机控制方法。认知制导是认知计算的一个具体应用。

无人机利用机载摄像机、雷达、红外探测器等传感器对任务空域的环境信息进行测量,测量数据在感知层进行处理,感知层输出的信息耦合到认知决策层进行更进一步的相关处理,通过与知识库的信息进行匹配分析,实现对环境和态势的认知,并结合任务和平台特性产生相应的无人机制导指令,通过飞行控制系统

驱动无人机规避危险;如果无人机的飞行品质下降甚至失控,认知决策层通过学习做出正确的判断,产生相

应的控制指令,不断改善无人机的飞行品质,或者强迫其安全返航^[13-15]。其工作原理如图3所示。

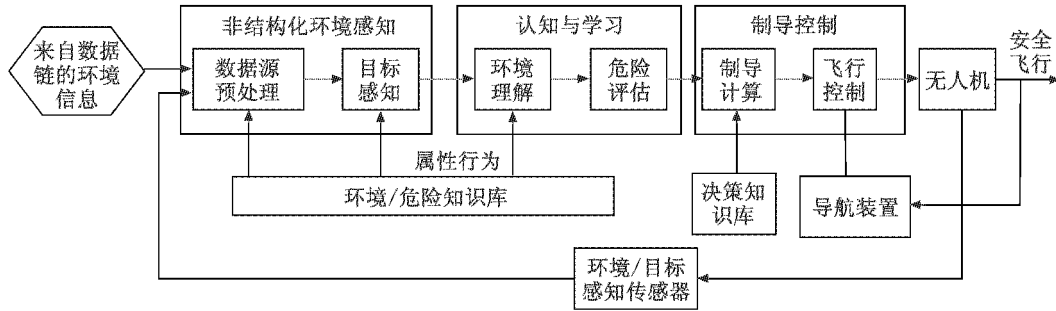


图3 基于认知制导的安全控制原理示意图

Fig. 3 Safety control principle of UAV based on cognition-guidance

由图3可知,本文提出的基于认知制导的无人机安全控制方法主要包含以下3个部分:目标认知、危险评估和决策制导。

1) 目标认知。

目标认知就是无人机对来自数据链的环境信息的感知和识别。一般而言,这些信息具有大量性、不确定性及复杂性。无人机将获得的外界环境的新信息(表现为短时记忆)与先验信息(表现为长期记忆)进行数据融合,然后将数据与人的知识经验结合起来,对数据进行自主分析、理解与认知。

2) 危险评估。

筛选认知的数据信息,进行危险评估。由于环境具有不确定性,因此运用主观贝叶斯方法、模糊集合理论、D-S 证据理论等不确定性推理方法,计算相应的条件概率以及先验概率,实现对危险信息的理解。

3) 决策制导。

D-S 证据理论拥有不确定性管理和类似人类认知推理的推理机制,因此可利用其进行决策制定的初步分析,然后运用贝叶斯理论进行定量分析。同时,决策层通过学习能力做出正确判断,产生制导指令。

3 面向自主防碰撞的无人机安全控制仿真

本文以两架无人机的防碰撞控制为例,对基于认知的无人机安全控制方法进行仿真研究。无人机通过机载雷达探测周围的目标,通过认知学习感知正在逼近的碰撞威胁。无人机当前速度为 V ,通过求解最优化问题得到修改的防碰撞方向 U 。决策层通过学习判断,得到控制策略为

$$\dot{\phi} = \frac{1}{N}(\phi_{com} - \phi) \quad (1)$$

$$\dot{\theta} = \frac{1}{M}(\theta_{com} - \theta) \quad (2)$$

式中, N, M 是时间延迟常数。

1) 水平机动。

根据速度 V 和 U 计算两者间水平视线倾斜角,定义每架无人机视线倾斜角为

$$\lambda = \text{sign}((V_H \times U_H)_z) \arccos\left(\frac{V_H \times U_H}{|V_H|}\right) \quad (3)$$

假设无人机最大滚转角为 ϕ_{max} ,可计算最大纵向倾斜角改变

$$\gamma_{max} = \frac{g}{|V_H|}, \text{对于 } 1 \text{ s 和 } \phi_{max} \quad (4)$$

式中:下标 H 表示水平分量; g 是引力加速度常数; V_H 是水平速度。取 $N=1$,水平机动逻辑如表1所示。

表1 水平机动选择

Table 1 Horizontal maneuver selection

视线倾斜角范围	滚转指令
$\lambda < -\gamma_{max}$	$\phi_{com} = -\phi_{max}$
$-\gamma_{max} \leq \lambda \leq \gamma_{max}$	$\phi_{com} = \left(\frac{\lambda}{\gamma_{max}}\right) \times \phi_{max}$
$\lambda > \gamma_{max}$	$\phi_{com} = \phi_{max}$

2) 垂直机动。

根据每架无人机的改变速度向量 V^d ,可获得所需的俯仰角。所需的俯仰角 θ_{req} 可表示为

$$\theta_{req} = \arctan\left(\frac{U_V}{|U_H|}\right) \quad (5)$$

式中,下标 V 表示垂直分量。

表2 垂直机动选择

Table 2 Vertical maneuver selection

俯仰角范围	时间常数, M/s
$0^\circ \leq \theta_{req} < 15^\circ$	1
$15^\circ \leq \theta_{req} < 30^\circ$	2
$30^\circ \leq \theta_{req} < 45^\circ$	3
$ \theta_{req} \geq 45^\circ$	4

分别考虑两架非合作型(UAV1, UAV2)和合作型无人机(UAV3, UAV4)的防碰撞控制。UAV1 直线飞行,为非合作目标,不进行规避;UAV2 通过认知制导系统发现来自 UAV1 的碰撞危险后,主动进行规避。

设 UAV1, UAV2 的初始位置、速度与目标位置的

信息如表 3 所示,合作型无人机的初始位置、速度与目标位置的信息如表 4 所示。得到两架非合作型无人机的防碰撞飞行规避仿真曲线如图 4 所示,UAV3,UAV4 的防碰撞飞行规避仿真曲线如图 5 所示。

表 3 非合作型双机初始信息

Table 3 Original information of two non-cooperative UAVs

无人机	信息类别	信息数值
UAV1	初始位置/m	(2000,10,100)
	目标位置/m	(-4000,4000,1500)
	初始速度/(m·s ⁻¹)	(-35,25,12)
UAV2	初始位置/m	(0,10,100)
	目标位置/m	(5000,4000,1500)
	初始速度/(m·s ⁻¹)	(30,27,12)

表 4 合作型双机初始信息

Table 4 Original information of two cooperative UAVs

无人机	信息类别	信息数值
UAV3	初始位置/m	(0,1000,1000)
	目标位置/m	(2000,-1500,1000)
	初始速度/(m·s ⁻¹)	(30,-30,0)
UAV4	初始位置/m	(0,-1000,1000)
	目标位置/m	(2000,1500,1000)
	初始速度/(m·s ⁻¹)	(30,30,0)

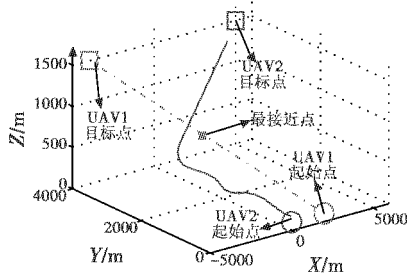


图 4 非合作型无人机的防碰撞规避飞行仿真曲线
Fig. 4 The flight simulation curve of collision avoidance for non-cooperative UAVs

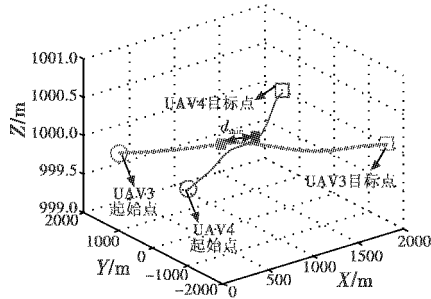


图 5 合作型无人机的防碰撞规避飞行仿真曲线
Fig. 5 The flight simulation curve of collision avoidance for cooperative UAVs

图 4、图 5 均表示双机飞行轨迹没有出现交叉,可见无人机在飞行过程没有发生碰撞。结果表明,基于认知制导的自主防碰撞系统能够确保无人机飞行过程中不发生碰撞,实现安全飞行。

4 结论

本文就无人机系统自主安全控制方法进行了研究。主要结论有:1) 探讨无人机制导与人类认知的联系,提出基于认知制导的安全控制方法;2) 建立基于认知制导的防碰撞控制策略,进行双机防碰撞仿真,验证了方法的有效性。

参考文献

- [1] 高劲松,朱荣刚,陈哨东,等. 无人机实战应用研究[J]. 无人机,2005,11(4): 30-33.
- [2] FAHLSTROM P G, GLEASON T J. 无人机系统导论[M]. 吴汉平,等译. 北京:电子工业出版社,2003.
- [3] RABBATH C A, LECHEVIN N. Safety and reliability in cooperating unmanned aerial system [M]. World Scientific Publishing Company, 2010.
- [4] KHATIB O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots [J]. International Journal Robotics Research, 1986, 5(1): 90-98.
- [5] TANNER H G, CHRISTODOULAKIS D K. Decentralized cooperative control of heterogeneous vehicle groups [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2007, 55(11): 811-823.
- [6] SHIM D H, CHUNG H, SASTRY S S. Conflict-free navigation in unknown urban environments [J]. IEEE Robotics and Automation Magazine, 2006, 13(3): 27-33.
- [7] 李霞,魏瑞轩,郭庆. 无人机系统任务管理研究[J]. 电光与控制,2011,18(1): 5-9.
- [8] 罗伟,吴森堂. 无人机嵌入式飞行控制系统软件设计方法[J]. 计算机测量与控制,2011,19(12): 3169-3171.
- [9] 朱华勇,牛轶峰,沈林成,等. 无人机系统自主控制技术现状与发展趋势[J]. 国防科学技术大学学报, 2010, 32(3): 115-120.
- [10] 魏屹东. 认知科学的功能主义本体论[J]. 晋阳学刊, 2011(1): 66-74.
- [11] 王莉. 基于规则的认知决策体系结构研究[D]. 武汉: 华中科技大学,2009.
- [12] 张丽萍,杨富文. 迭代学习控制理论的发展动态[J]. 信息与控制,2002,31(5): 425-429,436.
- [13] 孙兆林. 基于贝叶斯网络的态势估计方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2005.
- [14] 刘星,吴森堂,穆晓敏,等. 多无人机自主编队协同制导技术的概念、设计和仿真[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(19): 5075-5080.
- [15] CLOUGH B T. Unmanned aerial vehicle: Autonomous control challenges, a researcher's perspective [J]. The 2nd AIAA Unmanned Unlimited Systems, Technologies, and Operations, California, 2003, 6504: 1-15.