

文章编号: 1001-0920(2001)03-344-03

无人战术飞行器的自主控制

周 锐, 李惠峰, 陈宗基

(北京航空航天大学 自动控制系, 北京 100083)

摘 要: 阐述了无人战术飞行器的主要特点和性能要求, 重点讨论了无人战术飞行器的自主决策与控制问题, 从系统与控制理论的角度提出了无人战术飞行器的自主控制结构; 并从拟人思维的实际过程出发, 提出了采用分层式智能控制结构解决无人战术飞行器自主决策与控制的技术途径; 对环境的辨识、任务的规划以及控制的执行等问题进行研究, 给出了一些相应的分析方法。

关键词: 自主控制; 智能控制; 无人战术飞行器

中图分类号: TP 273

文献标识码: A

Autonomous Control of Unmanned Tactical Aircraft

ZHOU Rui, LI Hui-feng, CHEN Zong-ji

(Department of Automatic Control, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The important performance and characteristics of unmanned tactical aircraft (UTA) are discussed. The autonomous decision and control problem of UTA are emphasized. The scheme of autonomous control for UTA is proposed from system and control theoretic perspective. The semantic control theory which is hierarchical intelligent control is applied into autonomous decision and control problem of UTA from the human being's thought process. A robust autonomous control system scheme is presented. The environment identification, mission planning, and control execution of the autonomous decision system are developed, and some corresponding analysis methods are given.

Key words: autonomous control; intelligence control; unmanned tactical aircraft

1 引 言

自主性是无人战术飞行器 (UTA) 最基本的特点, 而完全的自主控制, 尤其是战术飞行器的自主控制, 目前还是一个富有挑战性的课题, 其挑战性主要来自于不精确性、不完全性、不确定性, 甚至是欺骗性的信息, 或当接受到新的情报和不可预料的突发事件出现时, 机载决策系统必须做出实时的任务规划和重规划^[1]。

本文阐述了无人战术飞行器的构成、特点和要求, 着重讨论了无人战术飞行器的自主决策与控制问题, 给出了一些相应的分析方法。

2 系统原理与结构

UTA 的自主控制是一种智能递阶控制, 主要协调上层的决策过程和底层的常规控制技术, 以达到控制复杂动态系统的目的。系统的一般原理和结

收稿日期: 2000-04-17; 修回日期: 2000-06-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (69904002); 航空基金项目 (98D51102)

作者简介: 周锐 (1968—), 男, 湖北钟祥人, 副教授, 博士, 从事飞行控制、制导与人工智能等研究; 陈宗基 (1943—), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 从事鲁棒与自适应控制系统理论及应用、人工智能与专家系统等研究。

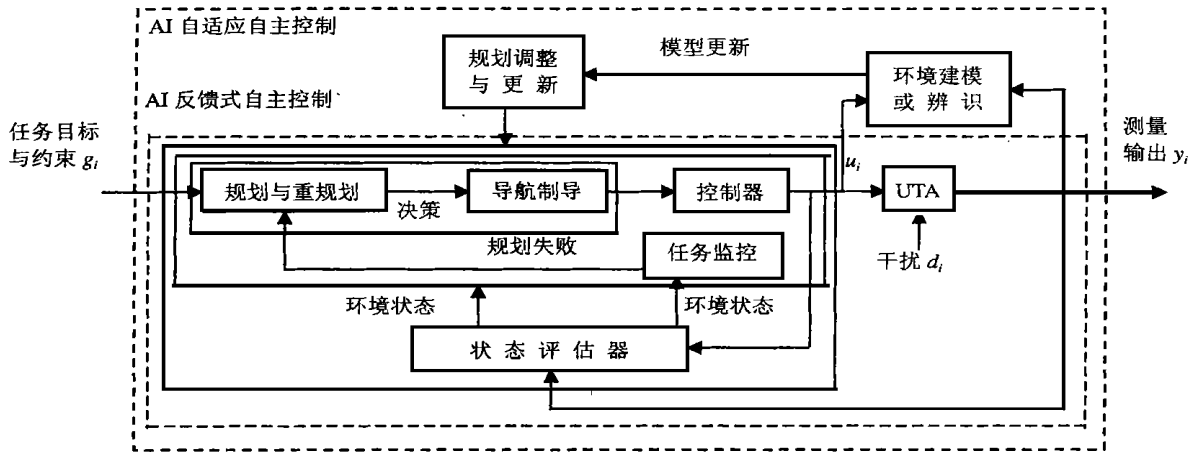


图 1 UTA 自主控制系统原理和结构示意图

构如图 1 所示。图中状态评估器的功能类似于常规控制系统中的卡尔曼滤波器, 主要协调和融合各传感器数据 (包括 UTA 和环境信息), 并执行传感器解释。内虚框表示 UTA 的反馈式自主控制系统, 外虚框表示自适应自主控制系统。该系统实际上是一种离散混合系统, 主要分析方法包括^[2]:

- 1) 采用离散事件系统理论进行分析;
- 2) 基于微分或差分方程的常规控制技术和基于符号形式的决策过程进行混合系统建模与仿真;
- 3) 采用 Petri 网和启发式优化技术对智能自主控制器顶层决策过程进行建模。

由于决策系统面对的是复杂多变的不确定性环境, 因此 UTA 要实现其自主式任务决策与控制, 必须具备以下条件:

- 1) 环境的辨识: 静止和运动威胁以及几何地形的表达;
- 2) 任务的选择: 飞行路径规划和实时重规划;
- 3) 适应变化的环境: 故障容错与重构控制, 鲁棒性与可靠性要求。

3 主要技术途径

3.1 决策与控制原理

为满足特定的 UTA 自主决策与控制问题要求, 采用一种具有拟人思维形式的语义控制^[3]原理来设计和实现 UTA 的决策与控制过程, 其原理如图 2 所示。UTA 的自主决策与控制过程实际上是语义控制思想的体现, 即识别环境- 选择策略- 作用于环境。

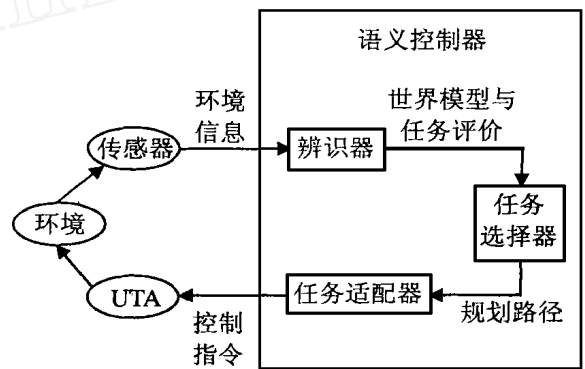


图 2 决策与控制原理

3.2 系统辨识器

辨识器的主要功能就是根据各种信息建立世界模型, 包括地形、地物和各种威胁源的空间关联和数学描述, 如敌方雷达、地空导弹发射站以及障碍物等。建模可采用多种方法, 常见的有栅格法和图论法。所基于的信息来源主要有:

- 1) 机载传感器: 包括被动红外或光学探测器、雷达、毫米波雷达和激光雷达等;
- 2) 数据库: 预先装载的数字地图、气象状况、UTA 性能极限、威胁源等;
- 3) C³I 地面站、无人侦察机、卫星、预警机等。

3.3 任务选择器

任务选择器的主要功能是:

- 1) 预飞行任务规划: 主要根据现有信息离线规划一条满足各种任务约束的最优待飞路径;
- 2) 实时重规划: 当接受或观测到新的信息, 以及不可预测的事件发生时, 对离线规划做出近乎实

时的重规划

问题的大小、复杂性和间隔尺寸的划分是影响规划实时性最为关键的因素,实际中可采用递阶分解(空间或时间)和变分辨率法(空间或时间)来实现实时规划.递阶规划的时空联系如图3所示,因此可认为整个系统在时空范围内构成了一个大的闭环系统.

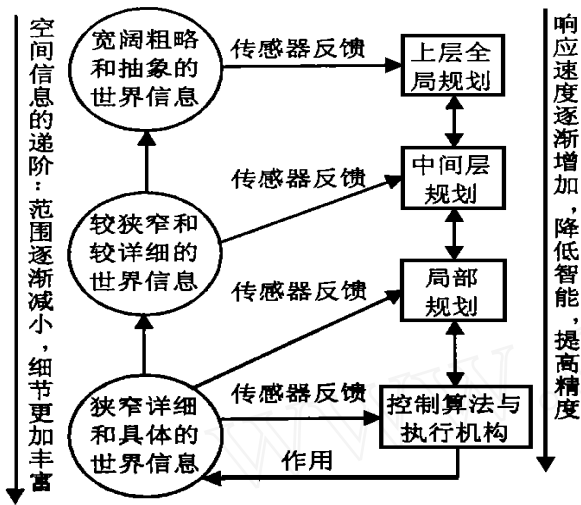


图3 递阶规划系统的时空联系

对于大的复杂性问题,启发式方法是优先可选的方法.如启发式搜索、神经网络、遗传算法、专家系统以及机器学习等.其中启发式信息的选择对规划的结果具有重要影响.启发信息一般可表示为^[4]

$$h = w_1 P_{\text{threat}} + w_2 P_{\text{bump}} + w_3 P_{\text{weather}} + w_4 t/T + w_5 f/F + \dots \quad (1)$$

其中, P_{threat} 表示UTA被威胁源击中的概率, P_{bump} 表示UTA撞上障碍物的概率, P_{weather} 表示天气的危险程度, t 和 f 分别表示飞行时间和燃油量, w_i 为权值.

专家系统在路径规划过程中起着非常重要的作用,可以确定不同分辨率的搜索空间、搜索方向和加权系数,判断是否重规划以及规划路径的平滑等.合理应用专家系统可以大大提高搜索效率.

3.4 任务适配器

任务适配器的主要功能就是执行高精度的控制功能,控制UTA精确跟踪任务选择器所规划的飞行路径.作为作战飞机,则要求UTA能在时变性、非线性、不确定性等条件下,具有鲁棒自适应机动跟踪和控制,以及故障检测与重构的能力^[5,6].

一种可行的自主系统执行级控制系统原理如图

4所示,其中机动指令模块主要是提供路径规划所需要完成的战术任务指令,并提供可行的理想轨迹与需要机动性之间的接口,使飞机的主升力面处于最佳方位.实现时采用约束优化技术

$$\min_{x, X, u, U} a_d - a_a(x, u) \quad (2)$$

其中, a_d 和 a_a 分别表示所需要的理想加速度和实际可得到的加速度, x 和 U 是可行的状态量和控制量集合.其它功能模块主要是实现控制系统的鲁棒性、自适应性,以及故障诊断与重构等功能.

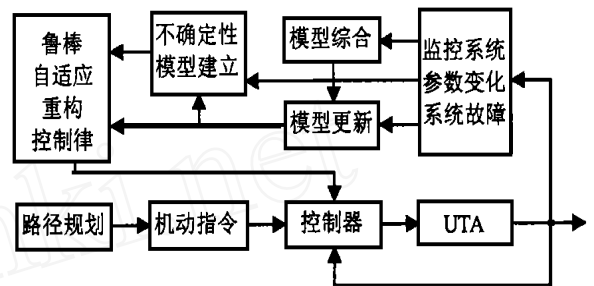


图4 高精度自主飞行控制系统

4 结 语

本文从系统和控制理论的角度提出了UTA自主控制系统的一般组成、特点和要求,并从拟人思维或语义控制的观点,对无人战术飞行器的自主决策与控制问题进行了分析,从环境的辨识到任务的规划直至控制的执行和任务的完成等方面进行了论述.进一步的研究目前尚在进行中.

参考文献

[1] Pachter M, Chandler P R. Challenges of autonomous control[J]. IEEE Contr Syst Mag, 1998, 1(8): 92-97.

[2] Passino KM, Antsaklis P J. Artificial intelligence planning system[J]. J Appl Artif Intell, 1989, 3(1): 1-32.

[3] Rodin E Y. Semantic control theory[J]. Appl Math Lett, 1988, 1(1): 73-78.

[4] 胡昱. 飞机战术飞行轨迹优化方法[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1999. 38-52.

[5] Boyle D P, Chamitoff G E. Maneuver tracking for self-piloted vehicles[J]. J Guid, Contr and Dyn, 1999, 22(1): 58-67.

[6] Brunke S, Campbell M E. Autonomous identification for high performance control. AIAA 99-3958.