

无人机集群路径规划

71121139 孔晔 09021232 薛沛林 09021230 孙彦林 71121140 杨政贤

摘要—近年来, 智能无人系统发展迅猛, 出现了无人机等一系列新产品, 并由此促进了智能无人集群系统的发展。智能无人集群系统将大大提高个体行为的智能化程度, 更好地完成单个个体无法完成的工作。对于以灵活机动为特点的无人飞行器 (UAV) 集群而言, 立体空间中的路径规划无疑是重中之重。本小组依托该领域综述性论文, 拓展研究了多种路径规划算法, 并对无人机集群路径规划研究的意义与未来方向进行讨论。

Index Terms—无人机三维路径规划, 基于抽样的基本算法, 基于节点的基本算法, 基于生物启发的优化算法, 集群路径规划

I. 引言

近年来, 智能无人系统发展迅猛, 出现了无人机、无人车、无人船、无人潜航器、机器人等一系列新产品。智能无人集群系统指若干无人系统根据任务分工, 在一定时间、空间内协同完成复杂任务的整体系统。智能无人集群系统具有单个无人系统不可比拟的优势, 在农业、制造业、交通、教育、医疗、军事、金融等多个领域具有广阔的应用前景。我们小组这次研究的是智能无人集群系统中应用最为广泛的无人机集群。

集群的研究起始于 1959 年法国生物学家 Pierre Paul Grasse, 研究发现昆虫之间存在高度结构化组织, 能够群体协同完成远远超出个体能力的复杂任务, 这种行为称为群集行为。群集指能够与其他个体以及周围环境交互作用的若干个体集合, 如蚁群、鱼群、蜂群等等, 它们的简单或微观行为的结合会导致更为复杂和宏观的行为, 从而使整个群集行为整体上取得显著效果。

集群并不是对多个个体进行简单的连接和组合, 而是使众多个体高效协作、紧密耦合, 构成自组织、高稳定的分布式系统, 激发个体智慧, 汇聚群体智能。集群技术将大大提高个体行为的智能化程度, 更好地完成单个个体无法完成的工作, 通过群体信息共享, 扩大对环境态势的感知, 实现协同任务分配与协调, 能够有效提高群体完成复杂任务的能力, 并具有高效率、高容错性和内在的并行性等优点。

无人系统指平台上无需人工操作的物理信息系统, 作用于物理世界来完成目标任务。无人系统是由机械、



图 1. 智能无人集群系统技术体系

控制、计算机、通信、材料以及人工智能等多种技术融合而成的复杂系统, 无人化和智能化是无人系统最显著的两个特征。无人系统的智能化是指在特定任务和环境条件下, 无人系统“感知、认知、分析、沟通、计划、决策和执行”的“自主能力”。无人系统可在时间域和空间域根据环境、任务变化进行实时调整并做出判断, 在无人或人工辅助情况下完成任务。

在实际应用上, 单个无人机系统由于自身动力、性能和性能等方面的限制, 无法单独完成复杂任务, 如军事作战、地震等自然灾害需要多无人机系统协同任务执行。为解决单个无人系统的局限性, 需以集群方式来解决。由此, 智能无人机集群是指由一定数量的无人机、控制系统及人机界面组成, 利用信息交互与反馈、激励与响应, 实现相互间行为协同, 适应动态环境, 共同完成特定任务的智能联合系统。智能无人机集群不是无人机间的简单组合, 而是通过必要的系统集成使之产生集群协同效应, 从而具备执行复杂多变、危险任务

的能力。因此,智能无人机集群既能最大限度地发挥无人系统的优势,提高整体的载荷能力和信息感知处理能力,又能避免单无人系统执行任务时被能力所限或任务效率不高的问题。

如图 1 所示,智能无人集群系统技术体系包括:系统架构、无人平台、通信组网、智能协同和效能评估等五个方面:

系统架构: 指从集群系统中各子系统的组成、关联性、交互模式等方面对系统的整体描述。可从信息交互、功能组件、系统部署、系统的关注者等多视角对智能无人集群系统架构进行描述,如从系统部署方式来看,可分为集中式、分布式和混合式。

无人平台: 指遥控操作或者自主运作的无人驾驶平台。关键技术包括系统架构、平台本体、动力驱动、载荷接口、自主控制和自主学习等。

通信组网: 实现智能无人集群系统各节点间以及系统与外部控制台间的信息交互,关键技术包括大容量、高可靠、抗干扰的传输技术和高效动态组网技术等。

智能协同: 指智能无人集群系统通过共享信息联合完成任务的过程,关键技术包括路径规划、协同感知、导航定位、任务规划、协同控制、跨域协同和人机共融。

效能评估: 是在一定条件下智能无人集群系统通过智能协同在规定时间内有效完成相应任务效果的综合评价,主要从智能无人集群的自主协同能力、系统鲁棒性、任务效能等方面进行定性和量化评价。

而我们组研究的重点则是智能协调技术体系下无人机及无人机集群的路径规划。

II. 无人机路径规划

路径规划是根据智能无人集群系统的工作环境、地理位置、威胁障碍、储能情况等因素,为每个无人系统执行所分配的任务建立可执行的轨迹安排。

智能无人集群系统路径规划的过程涉及众多因素,问题非常复杂,要考虑到特定的目标或者具体任务。从本质上来讲,智能无人集群系统协同路径规划是典型的多目标优化问题,在满足单系统轨迹可适用性要求的同时也要满足整个智能无人集群系统轨迹的协同性要求。目前智能无人集群路径规划常用的研究方法大致可以分为基于纯数学优化的规划方法、基于启发信息的人工智能优化算法和基于生物种群进化的群智能算法。

基于 [1], [2], [3], [4] 的工作,我们可以从数学角度分析无人机路径规划问题。假设无人驾驶飞行器在一个具有障碍物的三维空间 R^3 内飞行。整个空间可记作工作空间 w 。令 w_{o_i} 表示第 i 个障碍物,则无人机可以移动的空间可记为:

$$w_{free} = w \setminus \cup_i w_{o_i} \quad (1)$$

出发点 x_{init} 和目标点 x_{goal} 均是 w_{free} 中的元素,由此我们可以利用 $x_{init}, x_{goal}, w_{free}$ 定义路径规划问题函数为:

$$\delta : [0, T] \rightarrow R^3 \quad (2)$$

其中, $\delta(0) = x_{init}$, $\delta(T) = x_{goal}$, 对任意的 $\tau \in [0, T]$ 都有 $\delta(\tau) \in w_{free}$ 。

同时,当我们给定成本函数 $c : \Sigma \rightarrow R \geq 0$ (Σ 表示所有路径的集合) 后,我们可以定义最优路径 δ' 使得:

$$c(\delta') = \min(c(\delta), \delta \text{ 是所有可行路径的集合}) \quad (3)$$

由此我们得到了无人机路径规划的数学定义。

A. 路径规划与轨迹规划的区别与流行算法的介绍

B. 基于抽样的基本算法与基于节点的基本算法

1) *Dijkstra* 算法:

2) *PRM* 算法:

3) *RRT* 算法:

C. 基于生物启发的优化算法

D. 集群路径规划

III. 总结

A. 文章结构及论文关系

B. 工作意义

C. 未来研究方向

D. 欠缺之处

参考文献

- [1] H. Choset, K. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. Kavraki, and S. Thrun, *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations*, 01 2005.
- [2] F. Schöler, "3d path planning for autonomous aerial vehicles in constrained spaces," Ph.D. dissertation, 2012.
- [3] S. M. LaValle, *Planning Algorithms*. Cambridge University Press, 2006.

- [4] S. Karaman and E. Frazzoli, "Sampling-based algorithms for optimal motion planning," *The International Journal of Robotics Research*, vol. 30, no. 7, pp. 846–894, 2011. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/0278364911406761>