

无人机无人值守系统中多机协同任务分配与调度机制探讨

韩恒刚 梁鑫婕

蓝天实验室, 安阳市, 455000;

河南云洹网联无人机科技有限公司, 安阳市, 455000;

摘要: 本论文聚焦于无人机无人值守系统中多机协同任务分配与调度机制的深入探讨。通过系统分析多机协同作业在任务多样性、环境复杂性以及实时性要求等方面面临的挑战, 全面研究各类任务分配算法、调度策略及其在实际应用中的效果。从通信保障、实时监控与应急处理等维度, 构建完整的多机协同运行体系, 旨在为无人机无人值守系统提供高效、可靠的任务分配与调度解决方案, 提升多机协同作业的效率与稳定性, 推动无人机技术在多领域的广泛应用与发展。

关键词: 无人机无人值守系统; 多机协同; 任务分配; 调度机制; 通信保障

DOI: 10.69979/3029-2700.25.07.059

引言

随着无人机技术的飞速发展, 无人机无人值守系统在诸多领域展现出巨大的应用潜力。从农业植保、物流配送, 到测绘勘察、安防监控等, 无人机无人值守系统凭借其自主性、灵活性以及高效性, 逐渐成为各行业提升生产效率、降低人力成本的重要手段。在无人值守模式下, 多架无人机需协同完成多样化的任务, 这对任务分配与调度机制提出了极高的要求。多机协同作业涉及多架无人机在复杂环境下的任务分工、资源调配以及飞行路径规划等问题。若任务分配不合理, 可能导致部分无人机负载过重, 而部分资源闲置, 降低整体作业效率; 调度策略不当, 则可能引发无人机之间的冲突, 甚至危及飞行安全。因此, 深入研究无人机无人值守系统中多机协同任务分配与调度机制, 对于充分发挥无人机系统的优势, 提高其在复杂任务场景下的作业能力, 具有至关重要的现实意义, 也是推动无人机技术迈向更高发展阶段的关键环节。

1 多机协同任务分配算法研究

任务分配是多机协同作业的基础环节, 合理的任务分配算法能够充分发挥每架无人机的性能优势, 提高任务执行效率。目前, 常见的任务分配算法包括匈牙利算法、拍卖算法、遗传算法等。匈牙利算法基于二分图匹配原理, 适用于任务与无人机数量相等且任务分配成本矩阵已知的情况, 能够快速找到最优的任务分配方案, 使总任务执行成本最小化。然而, 该算法在面对大规模、复杂任务场景时, 计算复杂度较高, 求解效率较低。拍卖算法模拟拍卖过程, 将任务视为拍卖物品, 无人机作

为竞拍者, 通过不断竞拍获取任务, 具有较好的分布式特性, 能够在动态环境下快速调整任务分配方案。但拍卖算法在任务分配过程中, 可能出现竞拍不均衡的情况, 导致部分无人机获取过多任务, 影响整体效率。遗传算法借鉴生物进化中的遗传、变异和选择机制, 通过对任务分配方案的编码、交叉和变异操作, 逐步搜索最优解。遗传算法具有全局搜索能力, 对复杂任务场景具有较强的适应性, 但算法参数设置较为复杂, 容易陷入局部最优解。

在实际应用中, 需根据任务特点、无人机性能以及环境因素等, 选择合适的任务分配算法。对于任务类型相对单一、任务数量与无人机数量较为匹配的场景, 匈牙利算法能够快速、准确地完成任务分配。而在任务复杂多变、无人机数量较多的动态环境下, 拍卖算法或遗传算法更具优势。同时, 为了克服单一算法的局限性, 可将多种算法进行融合, 如将遗传算法与匈牙利算法相结合, 利用遗传算法的全局搜索能力找到较优的任务分配方案集合, 再通过匈牙利算法在该集合中找到最优解, 从而提高任务分配的效率与质量。

2 多机协同调度策略优化

在无人机多机协同作业场景下, 调度策略的合理与否直接关乎作业成效。先到先服务 (FCFS) 策略虽逻辑简单, 仅依据任务到达时间依次安排无人机执行任务, 但在实际复杂任务环境中存在明显短板。例如, 在森林防火监测任务中, 若同时出现常规区域巡查任务与突发火灾热点区域的紧急勘察任务, 按照 FCFS 策略, 紧急的火灾勘察任务可能因排在常规巡查任务之后而延迟

执行,导致无法及时掌握火势发展,错过最佳灭火时机,造成严重的森林资源损失。并且,不同无人机在续航能力、飞行速度以及搭载设备性能等方面差异显著,FCFS 策略对此未作区分,无法将合适的任务匹配给最具优势的无人机,使得资源利用效率低下,难以发挥多机协同的最大效能。

最短作业优先 (SJF) 策略聚焦于任务执行时长,优先调度耗时最短的任务,一定程度上能提升整体任务的执行效率,减少任务的平均完成时间。然而,当任务优先级层次分明时,其弊端便会凸显。假设在一场大型活动的安保监控任务中,重点区域的实时监控任务优先级极高,但执行时间相对较长,而周边区域一些简单的巡逻任务执行时间短。若采用 SJF 策略,高优先级的重点区域监控任务可能会长时间等待,致使重点区域安保出现监控空白,增加安全风险。此外,SJF 策略未充分考虑无人机的实时状态,如电量剩余情况、设备是否存在潜在故障等,可能安排电量不足或设备有隐患的无人机执行任务,不仅影响任务完成质量,还可能引发无人机飞行安全事故,严重威胁多机协同作业的稳定性与安全性。

为了优化调度策略,可引入优先级调度算法。根据任务的重要性、紧急程度以及对时间的敏感性等因素,为每个任务赋予相应的优先级。在调度过程中,优先调度高优先级任务,确保关键任务能够及时完成。同时,结合无人机的剩余电量、负载能力以及飞行速度等性能参数,进行动态调度。当某架无人机出现故障或任务执行过程中出现突发情况时,能够及时调整调度方案,将任务重新分配给其他可用无人机,保障任务的顺利进行。此外,还可采用基于时间窗的调度策略,为每个任务设定开始执行时间和完成时间的时间窗,无人机在时间窗内完成任务,避免任务冲突与延误。通过合理设置时间窗,能够优化无人机的飞行路径,减少飞行时间与能耗,提高多机协同作业的整体效率。

3 多机协同通信保障机制构建

高效、稳定的通信是多机协同任务分配与调度的重要保障。在无人机无人值守系统中,多架无人机之间以及无人机与地面控制站之间需要实时传输任务信息、飞行状态、位置数据等。然而,无人机在飞行过程中,常面临通信信号受遮挡、干扰以及通信距离限制等问题,影响通信质量与稳定性。为了构建可靠的通信保障机制,应选择合适的通信技术。目前,常用的无人机通信技术包括数传电台、4G/5G 移动通信网络以及卫星通信等。数传电台具有成本低、抗干扰能力强等优点,但通信距

离有限,适用于短距离、小规模的无人机应用场景。4G/5G 移动通信网络覆盖范围广、数据传输速率高,能够满足无人机在城市等人口密集区域的通信需求,但存在信号易受遮挡、网络延迟等问题。卫星通信不受地理环境限制,通信距离远,适用于远距离、偏远地区的无人机作业,但通信成本较高。

在实际应用中,可根据任务需求与作业环境,采用多种通信技术融合的方式。例如,在城市区域,以 4G/5G 移动通信网络为主,结合数传电台作为备用通信手段,当移动通信网络信号不佳时,自动切换至数传电台通信。在偏远地区或海上作业时,采用卫星通信作为主要通信方式,并配备应急通信设备,确保通信的连续性。同时,为了提高通信的稳定性与可靠性,需优化通信协议。采用自适应调制编码技术,根据通信信道的质量动态调整数据传输速率与编码方式,提高数据传输的准确性。引入差错控制机制,对传输的数据进行校验与纠错,降低数据传输错误率。此外,还应建立通信故障监测与预警系统,实时监测通信状态,当出现通信故障时,及时发出警报,并采取相应的应急措施,如重新建立通信链路、调整任务分配与调度方案等,保障多机协同作业的正常进行。

4 多机协同实时监控与应急处理体系建立

实时监控与应急处理是保障多机协同作业安全、稳定运行的重要环节。通过建立实时监控系统,能够对无人机的飞行状态、任务执行情况以及设备运行状况等进行全方位、实时监测。实时监控系统利用传感器技术、图像识别技术以及数据分析算法,收集无人机的位置、速度、姿态、电量等数据,并将这些数据实时传输至地面控制站。在地面控制站,通过可视化界面展示无人机的实时状态,使操作人员能够直观了解每架无人机的工作情况。当监测到无人机出现异常状态,如电量过低、飞行姿态失控、任务执行超时等,实时监控系统能够及时发出警报,并根据预设的应急处理策略,自动或手动启动应急处理流程。

应急处理策略应根据不同的异常情况进行制定。对于电量过低的情况,实时监控系统可根据无人机的当前位置与剩余电量,规划最短路径,引导无人机返回充电点进行充电。若无人机出现飞行姿态失控,可通过发送紧急制动指令,使无人机悬停或降落,避免发生碰撞事故。在任务执行过程中,若遇到突发情况导致任务无法正常完成,如目标区域出现恶劣天气、障碍物等,实时监控系统可重新评估任务需求,调整任务分配与调度方案,将任务重新分配给其他合适的无人机,或暂停任务

执行,等待条件恢复正常后再继续执行。同时,应建立应急预案库,针对常见的异常情况,制定详细的应急处理步骤与操作流程,提高应急处理的效率与准确性。此外,还应定期对应急处理体系进行测试与演练,确保在实际突发情况下,能够迅速、有效地做出响应,保障多机协同作业的安全。

5 多机协同任务分配与调度机制的优化与验证

为了提高多机协同任务分配与调度机制的性能,需对其进行不断优化与验证。在优化方面,可通过建立数学模型,对任务分配算法、调度策略以及通信保障机制等进行理论分析与仿真研究。利用仿真软件,模拟不同的任务场景、环境条件以及无人机数量与性能参数,对各种机制的运行效果进行评估。通过对比不同方案的任务完成时间、资源利用率、通信稳定性等指标,找出存在的问题与不足,进而对机制进行优化改进。例如,在任务分配算法优化中,通过调整算法参数、改进算法流程,提高算法的求解效率与任务分配质量。在调度策略优化方面,根据仿真结果,优化任务优先级设置、时间窗参数等,提高调度策略的合理性与有效性。

在验证环节,搭建全面且精准的实验平台至关重要。多架性能各异的无人机是实验主体,需依据任务需求挑选不同型号,如物流配送任务可选用载重较大、续航较长的无人机,测绘勘察则侧重于配备高清摄像与精准定位设备的无人机。地面控制站作为中枢,集成先进的操控软件与数据接收处理系统,实现对无人机的实时控制与数据汇总。通信设备选用稳定可靠的数传电台与4G/5G通信模块组合,确保数据传输高效、稳定。监测仪器涵盖各类传感器,用于精确采集无人机飞行中的姿态、电量、速度等数据。实验时,精心设计多种复杂任务场景。模拟物流配送任务,设置多个取货与送货点,规定配送时间窗,观察无人机如何协同规划最优路径、完成货物交接。测绘勘察任务场景下,划定不规则地形区域,要求无人机按预设航线采集数据,检验其协同作业时对区域的覆盖完整性与数据采集准确性。

实验过程中,全方位收集任务完成率、任务执行时间、无人机故障率等数据。任务完成率直观反映机制能否有效分配任务,使无人机顺利达成目标;任务执行时

间体现协同调度的效率高低;无人机故障率则揭示机制在应对复杂情况时对无人机设备稳定性的保障程度。将这些实验数据与前期仿真结果比对,若出现偏差,深入分析原因,是算法参数设置问题,还是实际环境干扰所致。针对发现的问题,对任务分配算法、调度策略等进行针对性优化,反复测试,直至多机协同任务分配与调度机制在实际应用中展现出稳定、高效的性能。

6 结语

无人机无人值守系统中多机协同任务分配与调度机制的研究是一个复杂而系统的工程,涉及任务分配算法、调度策略、通信保障、实时监控与应急处理以及系统优化与验证等多个方面。通过深入研究各类算法与策略,构建完善的通信保障与应急处理体系,并进行系统的优化与验证,能够为多机协同作业提供高效、可靠的运行机制,提升无人机无人值守系统在复杂任务场景下的作业能力。然而,随着无人机应用领域的不断拓展、任务需求的日益多样化以及技术的持续进步,多机协同任务分配与调度机制仍面临诸多挑战。未来,需要进一步加强相关理论研究,结合人工智能、大数据等新兴技术,不断优化任务分配与调度算法,提高系统的智能化水平。同时,加强多学科交叉融合,从通信技术、能源管理、材料科学等多个领域入手,提升无人机的性能与可靠性,为多机协同作业创造更好的条件。通过持续的研究与创新,推动无人机无人值守系统中多机协同任务分配与调度机制的不断完善与发展,为无人机技术在各行业的广泛应用提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 李明,王强.多机协同任务分配的匈牙利算法改进研究[J].控制与决策,2020,35(5):1035-1042. 2.
- [2] 张伟,刘辉.基于优先级的无人机多机协同调度策略优化[J].航空学报,2019,40(8):2345-2356. 3.
- [3] 赵刚,陈红.无人机通信技术在多机协同系统中的应用与发展[J].通信学报,2018,39(12):156-165. 4.
- [4] 孙悦,周明.多机协同实时监控系统的设计与实现[J].计算机工程与应用,2017,53(20):234-238. 5.
- [5] 吴迪,郑丽.多机协同任务分配与调度机制的仿真研究[J].系统仿真学报,2016,28(7):1567-1574. 6.