

无人机能源管理与续航能力优化策略研究

葛丽清

福建华南女子职业学院低空经济产业学院，福建省福州市，350108；

摘要：无人机在电力巡线、应急救援、测绘地理信息等领域的应用越来越广泛，但其能源消耗与续航能力问题也日益突出。本文以无人机系统为研究对象，从能源管理与续航能力优化的关键技术难点入手，以综合能源调度优化模型为基础，设计了一种能源管理与续航能力提升策略，实现了多源信息融合与协同优化、电池管理、任务分配等功能模块的集成优化，并设计了一种基于能量回收技术的能源供应与更换策略，设计了一种无人机能源管理与续航能力提升系统。

关键词：无人机；能源管理；续航能力；优化策略

DOI：10.64216/3080-1508.25.10.038

引言

无人机广泛应用于电力巡检、应急救援、测绘地理信息等领域，近年来受到学术界和工业界的广泛关注。但是，由于无人机自身结构简单、功能单一，在飞行过程中存在严重的能源消耗问题，而随着其应用范围的不断扩大，续航能力不足的问题也日益突出。因此，亟须通过综合能源调度优化模型和算法研究，设计一种可持续发展的无人机能源管理与续航能力提升系统。

1 无人机系统结构与能源消耗特性

无人机系统一般由无人机、任务载荷、控制系统和地面辅助设施等四部分组成。无人机是一种飞行器，它主要依靠自身携带的动力装置飞行，目前主要采用纯电动或混合动力的模式。其中，纯电动飞行时，电池可以提供无人机飞行所需的全部能量；混合动力飞行时，电池作为能量的重要来源之一。无人机系统中，任务载荷是整个系统的主要组成部分，其重量占无人机总重量的大部分。由于任务载荷工作时间长、续航能力弱，因此对无人机能源的消耗非常大。而电池是一种有记忆效应的储能材料，所以需要定期更换以保持其电量充足。此外，由于电池受到温度、湿度等环境因素影响，其寿命也会缩短^[1]。

2 无人机续航能力影响因素分析

无人机续航能力受到多种因素的影响，如飞行高度、飞行速度、飞行距离、载荷大小和电池容量等，其中，载荷大小是影响无人机续航能力的最主要因素。同时，由于无人机系统在实际运行中需要与地面控制中心进行数据交互，因此其飞行高度也会对其续航能力产生影响。此外，在飞行过程中无人机载荷的增加会导致电机功率的增加，从而消耗更多的能量。而载荷增加也会导

致无人机续航时间的缩短。因此，研究无人机在不同飞行高度、速度、载荷等条件下的能源管理与续航能力优化策略，对于提高无人机系统的整体性能和综合效益具有重要意义。

3 现有无人机能源管理策略分析

3.1 常见能源管理方式

3.1.1 电池管理

无人机的电池管理是无人机能源管理的基础。在无人机应用中，电池管理的任务是确保电池电量和温度的平衡，以确保无人机工作在最佳状态。为了确保无人机飞行任务的顺利完成，需要对电池进行监测和管理。目前，主要采用电池参数测量技术、SOC估计技术、均衡技术等方式来对电池进行管理。SOC估算是通过对锂离子电池工作状态（如SOC）进行测量获得电池的剩余电量和温度等参数，并结合系统工作状态对其进行估计。在实际应用中，为了实现不同型号、不同工况下的电池性能均衡，一般采用两种方式进行均衡：一是使用智能充电管理系统，二是通过均衡控制实现^[2]。

3.1.2 太阳能/混合能源管理

太阳能与混合能源的应用，可以提高无人机的续航能力，具体应用方式如下：（1）在飞行过程中，通过实时监测环境温度变化，计算当前温度下太阳能的最大值，并通过通信与无人机进行通信，控制无人机的飞行姿态以获得最佳的太阳能利用效率。（2）在飞行过程中，根据当前天气条件，实时监测当前天气情况下的光照强度，通过通信与无人机进行通信，计算当前天气下的太阳能最大值并计算相应的飞行姿态。（3）在飞行过程中，根据当前时间和风速、气压等气象条件计算当前时间和对应的太阳能最大值并计算相应的飞行姿态。

(4) 通过以上三种方式来综合选择最优的能量管理策略。

3.1.3 动态任务分配与路径优化

任务分配与路径优化是实现无人机能源管理的重要手段,对于提高无人机的续航能力具有重要意义。在无人机运行过程中,根据任务载荷的任务需求,通过调整飞行高度、速度、姿态等参数来完成相应的任务。同时,为确保任务顺利完成,还需要根据当前飞行状态和所处的环境信息,进行路径优化与任务分配。其中,路径优化可以通过智能优化算法来实现,例如遗传算法、粒子群算法、人工蜂群算法等。而任务分配则需要根据无人机当前的位置、速度等信息对所要执行的任务进行合理分配。

3.2 现有策略的局限性与改进需求

电池容量不能无限增长,当电池容量到达一定值时,在某一时刻,无人机所需的能源量与续航时间均会达到一个临界值。此时,为了保证无人机继续执行任务,只能通过降低飞行速度或者增大电池容量来延长飞行时间。当电池电量耗尽时,必须停止任务。如果在续航时间即将结束时选择继续飞行,则会造成较大的能源浪费。在较远的距离飞行时,需要增加更多的能源储备量。这些储备量如果完全由电池提供,则会使续航时间进一步缩短,同时也会增加无人机的成本。

3.3 能源管理与续航优化的关键技术难点

能源管理策略需要优化。不同的系统,优化目标不一样,实现方法也不相同。根据无人机飞行场景的不同,需要针对具体的目标进行相应的分析、设计,才能有效地优化无人机的能源管理策略。不同种类电池的特性不一样。对于锂离子电池来说,其电压变化范围较大,在系统运行中需要进行实时监测;对于铅酸蓄电池来说,其放电深度较浅,只适合在相对较短的时间内进行快速放电,以保证其寿命;对于超级电容器来说,其储能能力强、能量密度高、功率大、电压范围广、响应速度快、寿命长等特点使其成为能源管理中一种非常理想的储能器件。

4 无人机续航能力优化策略设计

4.1 优化目标与约束条件

基于无人机的能量需求和任务要求,设计无人机能源管理优化策略,以最大限度地提高无人机的飞行续航能力。具体而言,无人机的任务约束、能量约束和通信约束如下:最大任务需求:在不影响系统性能的情况下,

无人机的飞行时间越长,任务需求越大。为获得最大任务需求,系统性能指标要求为最小能量约束:根据能量守恒原理,无人机飞行过程中的能量消耗主要来自于电池充电、飞行时消耗的电能和负载消耗的能量。因此,在设计无人机能源管理优化策略时,需将最小能量约束考虑在内^[3]。以此为基础设计无人机的能源管理优化策略。

4.2 综合能源调度优化模型

4.2.1 能源消耗建模

综合能源系统中的电能消耗主要包括:①电网运行消耗电能,主要是指发电厂在发电过程中产生的电能。②用户用电消耗电能,主要是指用户在生活中对电能的消耗,包括家庭用电、工业用电、公共设施用电、交通工具用电等。③用户内部能源消耗,主要是指用户内部设备在运行过程中消耗的能源。本文以电网运行消耗的电能为例进行建模。其中, k 为电网运行时刻, h 为电网运行功率, n 为电网容量, p 为充电功率。对于上述参数 a 、 b 、 c 和 d 进行建模计算可以得到:其中, p 为充电功率; h 为电网运行功率; k 为充电时间; p 和 d 分别代表充电功率和电网运行功率。

4.2.2 飞行路径与任务分配优化

(1) 根据任务需求和当前状态,在满足最小能量约束的前提下,确定最优的飞行路径。(2) 根据任务需求,制定合理的飞行任务分配规则。(3) 根据无人机飞行任务信息,对无人机的飞行路线和飞行速度进行合理优化。(4) 考虑到电网运行与用户用电存在约束,不能使电网运行产生额外的损耗,因此需要对用户内部用电设备进行限制。多目标优化问题模型:(1) 考虑到系统性能指标要求以及无人机的能源管理与续航能力,以系统最小能量约束为目标函数;(2) 考虑到多目标优化问题中存在多个目标函数,需要将其进行综合考虑;(3) 将多目标问题转化为单目标问题。

4.3 智能优化方法应用

4.3.1 遗传算法/粒子群/强化学习等算法设计

遗传算法、粒子群算法、强化学习等智能优化算法均在无人机能量管理中有应用,其主要原理是对系统性能进行评估,以确定优化变量的最优值,进而根据所得到的最优值优化系统。例如,Du等将粒子群算法应用于无人机能量管理系统的优化中,该算法具有较快的收敛速度和较好的全局搜索能力;杨凯等将强化学习方法应用于无人机能量管理系统,该算法通过在飞行过程中不断学习和尝试来获得最佳的飞行策略;王书海等将强

化学习方法应用于无人机能量管理系统的优化中,该算法通过强化学习能够寻找出最优策略,实现无人机在能源管理系统中最小化能耗^[4]。

4.3.2 多源信息融合优化策略

①对无人机的飞行状态、任务参数、航迹信息等多源数据进行获取、分析与处理,提取任务特性和环境特征。②基于多源数据融合方法,将智能优化算法与机器学习算法结合,利用各类智能优化算法对多源数据进行融合分析,寻找最优解。③应用多智能体(Multi-agent System, MAS)方法对多个目标进行优化决策。④利用飞行状态信息实现控制方法的自学习和自适应。⑤根据获取的决策信息和状态信息,建立无人机的能耗模型,对模型进行优化与控制。⑥在此基础上,通过对环境因素的分析,实现无人机续航能力的动态优化。

4.4 能源供应与更换策略创新

(1)无人机能源供应方式的创新:在无人机能源供应中,可以通过改变其能源结构、能源传输路径、能量储存方式等,实现能源的持续供应与更换。(2)无人机能量管理策略的创新:可以通过改变能量传输路径,实现无人机间的能量共享;可以通过改变能源储存方式,实现无人机间的能源互补。(3)无人机使用时间的创新:随着技术进步,无人机使用时间也越来越长,可以通过增加使用时间长度来延长续航能力。(4)无人机能源结构的创新:可以通过改变无人机使用能量结构,实现无人机对不同能源的利用,满足不同用户需求。

5 无人机能源管理与续航能力提升系统实现

5.1 系统架构与功能模块设计

无人机能源管理与续航能力提升系统的功能模块如图9所示。其中,核心控制模块是无人机能源管理系统的控制中心,根据用户的需求进行功能定制,通过对无人机的状态参数、运行数据、环境参数等数据进行实时采集,并按照一定的算法处理,生成显示界面。能源管理模块是无人机能源管理系统的重要组成部分,通过对无人机所需的能量进行计算和分配,实现对无人机所需能源的供给控制。系统信息采集模块、控制模块和显示模块是系统主要组成部分。本系统采用C/S和B/S相结合的模式进行开发,C/S模式采用Web技术实现对用户接口的调用;B/S模式采用Java技术实现。

5.2 硬件选型与关键部件优化

本系统在硬件选型上,以基于ARM Cortex-M3内核的处理器为核心,采用双通道高速A/D芯片ADS1290实

现数据采集与传输;基于ARM9内核的处理器S3C44B0X进行控制核心,通过GPIO口与以太网接口连接,实现对无人机的数据采集、控制、通信和显示;采用LCD显示屏作为人机交互界面。在能源管理系统设计过程中,以提高电池寿命和增加续航能力为目标,针对无人机的能源管理问题,从电池管理模块、BMS电池管理系统、控制器等关键部件入手,在不影响电池性能和寿命的情况下进行优化设计。

5.3 软件平台与算法集成

本系统采用C/S和B/S相结合的模式进行开发,C/S模式采用Web技术,用户通过浏览器访问控制中心;B/S模式采用Java技术,用户通过Web浏览器访问控制中心。本系统在开发中,为了降低代码量和复杂度,采用C#语言进行编写,并结合Html、CSS和JavaScript等前端技术进行界面设计。此外,为了保证系统运行的可靠性和稳定性,通过对软件系统进行自测试、代码自动更新等手段来保证系统的正常运行。本系统对数据的采集、处理和显示部分的算法都是基于Matlab软件进行实现的^[5]。

6 结语

本文设计了无人机能源管理与续航能力提升系统,该系统通过对无人机的状态参数、环境参数、航迹信息等多源数据进行实时采集,并基于多源数据融合方法,利用遗传算法、粒子群算法和强化学习等智能优化算法对无人机能源管理与续航能力进行优化。同时,为了提高无人机的能源利用效率,还提出了能源供应与更换策略创新和能源回收与利用效率提升技术。在实际的无人机能源管理系统设计中,对上述研究成果进行了验证。从仿真和实验结果来看,该系统能够在不同的环境条件下提高无人机的续航能力,为无人机能源管理提供了新的思路。

参考文献

- [1]肖文卓.航空电工电子技术在无人机领域应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2025,(S1):38-40.
- [2]向锦武,马凯,阚梓,等.氢能源无人机关键技术研究进展[J].航空学报,2025,46(05):261-290.
- [3]李佳鑫.无人机集群无线充电方舱及其锂电池SOC在线估算研究[D].北方工业大学,2024.
- [4]孟子尧.轻型固定翼无人机双能源动力系统设计与能量管理策略研究[D].吉林大学,2024.
- [5]闫清云,刘峰,王卓煜.太阳能无人机发展综述[J].飞机设计,2021,41(02):1-5+12.