

人工智能赋能的无人机智能巡视系统能效优化策略

刘黎刘珍

国网湖北省电力有限公司超高压公司 湖北武汉 430000

摘要：随着科技的飞速发展，无人机智能巡视系统在众多领域得到了广泛应用。人工智能技术的融入，为该系统带来了更强大的功能和更高的效率。然而，系统的能效问题成为了限制其进一步发展的关键因素。本文旨在探讨人工智能赋能的无人机智能巡视系统的能效优化策略。首先对系统的组成与架构、关键技术进行概述，接着分析系统的能效评估指标体系、影响因素以及现有系统存在的能效问题，最后针对性地提出基于人工智能的飞行路径规划、智能能源管理系统、人工智能辅助的设备选型与优化以及多无人机协同作业策略等能效优化策略，以期为提高无人机智能巡视系统的能效提供理论支持和实践指导。

关键词：人工智能；无人机智能巡视系统；能效优化

引言

信息化时代的今天，无人机技术以其灵活性和高效性被广泛运用于基础设施巡检、安防监控和农业监测等多个领域。人工智能技术的飞速进步为无人机的智能巡查系统带来了前所未有的活力，赋予了它更为出色的独立决策、数据解析和智能辨识功能。但是无人机智能巡视系统工作时面临能效问题，例如续航时间较短、能源消耗较高等，这些问题不仅会制约系统应用范围与工作效率，而且会提高运行成本。因此，如何在人工智能赋能下对无人机智能巡视系统进行能效优化已成为研究热点。

一、人工智能赋能的无人机智能巡视系统概述

1. 系统组成与架构

人工智能赋能的无人机智能巡视系统通常采用分层架构设计，主要包括无人机平台层、数据采集与传输层、数据处理与分析层、用户界面层和系统管理层。

(1) 无人机平台层：负责执行巡检任务，包括起飞、飞行、降落等操作。该层采用模块化设计，包含飞行控制模块、传感器模块、通信模块和电源模块。飞行控制模块负责无人机的导航、避障和飞行路径规划；传感器模块集成了高清摄像头、红外传感器、激光雷达等，用于采集巡检数据；通信模块负责无人机与地面控制中心之间的数据传输；电源模块为无人机提供稳定的电源供应。

(2) 数据采集与传输层：负责采集巡检数据，并通过无线网络将数据传输至地面控制中心。该层的传感器选择和配置需要考虑其分辨率、覆盖范围、工作频率和

功耗等因素，以确保数据采集的准确性和效率。通信系统通常包括无线通信模块和地面控制站，无线通信模块需要具备较高的数据传输速率和稳定性，以支持高分辨率图像和视频的实时传输。

(3) 数据处理与分析层：对采集到的数据进行实时分析和处理，识别潜在的安全隐患。该层采用分布式计算架构，包括图像识别、路径规划、数据处理和结果展示等模块。通过机器学习或人工智能技术，系统可自动分析数据，识别潜在问题，如在电力巡检中检测电线断裂或绝缘子损坏。

(4) 用户界面层：提供直观的操作界面，方便用户查看巡检结果和系统状态。用户可以通过该界面设置巡检任务、查看实时视频、获取巡检报告等。

(5) 系统管理层：负责系统的配置、监控和维护。该层可以对无人机的飞行参数、传感器状态、通信质量等进行实时监控，确保系统的稳定运行。

2. 关键技术

(1) 人工智能技术：人工智能技术在无人机智能巡视系统中发挥着核心作用。通过机器学习、深度学习等算法，系统可以实现图像识别、缺陷检测、异常状态判断等功能。例如，在电力巡检中，利用人工智能技术可以准确识别电线的断裂、绝缘子的损坏等缺陷；在建筑施工巡检中，可以检测违章作业、设备故障等异常情况。

(2) 传感器技术：传感器是无人机智能巡视系统的的核心。高清摄像头、红外传感器、激光雷达等传感器可以为系统提供丰富的巡检数据。不同类型的传感器具有不同的特点和应用场景，如高清摄像头适用于

图像采集和视觉识别，红外传感器可以检测物体的温度变化，激光雷达可以获取物体的三维信息。

(3) 通信技术：通信技术确保了无人机与地面控制中心之间的数据传输和指令下达。无线通信模块需要具备较高的数据传输速率和稳定性，以支持高分辨率图像和视频的实时传输。5G网络的发展为无人机智能巡视系统提供了更高效的数据传输解决方案，能够显著减少数据传输延迟。

(4) 飞行控制技术：飞行控制技术是无人机安全、稳定飞行的保障。飞行控制模块负责无人机的导航、避障和飞行路径规划。通过先进的飞行控制算法，无人机可以实现自主起飞、降落、悬停、避障等功能，提高巡检任务的执行效率和安全性。

二、人工智能赋能的无人机智能巡视系统能效分析

1. 能效评估指标体系

人工智能赋能下无人机智能巡视系统能效评估指标体系对系统性能具有重要意义。续航时间作为一项重要的指标，反映无人机单次充电或者换电后继续运行的能力，并受到电池容量、飞行速度以及负载重量的影响，更长的续航时间可以让无人机完成更多的巡检任务，从而提高工作效率。无人机的能源消耗率揭示了其在特定时间或距离内的能源使用状况，这与其飞行姿势、周围环境以及设备的能耗有关，而低的能源消耗率则意味着系统的能效更高。数据处理效率度量了系统对采集数据的分析处理速度与精度，有效的数据处理可以降低时间与能源消耗，其受到算法与硬件性能等因素的影响较大。任务完成率是无人机按规定时间执行巡检任务所占的百分比，受到飞行性能、环境条件以及任务规划等因素的影响，任务完成率较高说明该系统能够高效地使用能量。

2. 能效影响因素分析

在人工智能赋能下，无人机智能巡视系统的能效会受到诸多因素的影响。无人机以硬件性能为根本，性能优良的飞行控制系统能够增强飞行的稳定性和效率并降低能耗；高分辨率的传感器虽然可以提供准确的信息，但是在数据采集过程中会消耗较多的能量；电池的容量与性能直接决定了其续航能力。飞行环境影响不容低估，风速、气温和气压均能改变无人机的飞行性能和能量消耗，强风使得无人机需要更多的能量来保持姿态，而极端温度则会导致电池性能下降。任务规划是否合理非常重要，飞行路径不合理将加大飞行距离与飞行时间并增加能耗；任务的复杂程度以及对数据的获取要求的不同也使得能源消耗存在差别。

3. 现有系统能效问题总结

现有人工智能赋能的无人机智能巡视系统存在着诸多能效问题。首先，续航时间短是一大关键问题，因电池技术受限，多数无人机难以长时间、大范围执行巡检任务，飞行过程中能源消耗大也加剧了这一困境。能源消耗不均衡现象突出，起飞和降落阶段需消耗较多能源，数据采集和处理阶段传感器及数据处理模块也会产生一定能耗，导致能源利用效率低下。数据处理效率低也是亟待解决的问题，部分系统的数据处理算法效率欠佳，数据处理时间长，增加了能源消耗，且数据传输延迟影响系统实时性与能效。此外，任务规划不合理，飞行路径规划不当使无人机飞行距离和时间增加，任务复杂程度与数据采集要求不合理，也进一步加重了能源消耗，同时任务分配和调度不够优化，无法充分发挥无人机性能优势。

三、人工智能赋能的无人机智能巡视系统能效优化策略

1. 基于人工智能的飞行路径规划

以人工智能为基础进行飞行路径规划，可显著提高无人机智能巡视系统能效。这种规划方法首先收集数据，然后对飞行速度、飞行距离以及估计成本等参数进行预设。飞行速度具有最小值与最大值约束，该区间内全部速度均以集合形式表达；飞行距离计算就是把邻近两点的运动轨迹看成一条直线并投影在坐标系 x 、 y 轴上求得位移，然后对位移增量进行累计求和；估计成本根据速度集合求得平均速度并结合飞行距离求得估计的飞行时长，然后计算飞行耗费的能量。

随后对费用进行了更新，包括最短路径的更新费用、估算费用，并设计评价函数求出总成本。路径规划中根据禁飞区域的状况寻找切点与停止点，并利用评价函数对切点进行筛选。如果路径地区仅有1个禁飞区域，则无人机以指定的直线运动；如果有多个禁飞区域时，首先计算起始点到每个禁飞区域中心点的距离，并选取最接近的禁飞区域决定切点或者停止点。反复运行，直到到达预设边界或者寻找到达目标的航路，最后获得最优航路，从而缩短无人机的飞行距离与飞行时间，减少能源的消耗。

2. 智能能源管理系统

智能能源管理系统 (Intelligent Energy Management System, IEMS) 借助先进信息技术、物联网及大数据分析等手段，监控、管理和优化能源使用，旨在提升能源效率、降低成本、减少碳排放并确保能源使用的可持续

性。该系统在各能耗点设置传感器与智能电表相结合的方式，采集电力、水分、气体等能源的实时消耗数据，采用无线通信技术传送至中央管理系统中进行解析^[1]。该系统可根据实时数据分析结果自动调节照明、空调及其他设备的运行状态以达到最佳节能效果，并可依据不同时段及使用方式进行调节，制订了最佳的设备操作策略，例如在高峰时段减轻不必要的负荷。

在实践中，智能能源管理系统可以与天气预报相结合，对能源进行优化调度，对建筑物进行预先预冷或者预热，减轻空调负荷；在绿色建筑与社区，集成光伏、储能系统，实现“自发自用、余电上网”的微电网管理，减少对传统电网依赖。

3. 人工智能辅助的设备选型与优化

人工智能辅助设备选型和优化对提高系统能效具有显著效果。其能够基于用户所输入的设备参数来预测其可能的性能表现并对其进行精准匹配，从而满足复杂的要求。我们构建了一个设备知识图谱，该图谱涵盖了设备的各项参数、性能指标和品牌型号等重要信息。通过运用相似度算法，计算候选设备与用户需求的匹配度，并据此推荐最适合的匹配设备。

机器学习在此过程中也扮演了关键角色，它负责收集过去设备的性能数据，如能源消耗、可靠性和维护费用等，然后通过训练模型来建立设备性能与参数设置之间的联系，并预测设备的性能表现。聚类算法能够对设备数据进行分类并确定潜在的产品差异化；通过强化学习，代理可以在设备优化的背景下进行试错学习，从而确定最优的配置方案，并允许设备自主调整其工作参数以达到效率的最大化。

自然语言处理技术具有处理用户提出的设备选择问题的能力，能够将这些问题转化为结构化的查询语句，并在知识库中搜索相关信息以推荐合适的设备。另外，综合运用线性规划、整数规划和非线性规划的优化算法，并综合考虑设备的性能、成本、可靠性以及环境因素来求解最优的参数及设备选择方案，通过优化设备的选择和配置，可以进一步增强系统的整体效能。

4. 多无人机协同作业策略

多无人机协同作业策略对于提高无人机智能巡视系统的能效具有重要意义。从通信保障角度来看，DSRC、卫星通信等自组织通信网络能够保证多无人机之间低延迟、高可靠地进行动态数据传输以及支持跨域协同作业，采用多跳中继和Mesh网络技术可解决视距限制问题，让无人机充当临时基站扩展通信覆盖范围，差分隐私加密

技术还能提升数据传输安全性，防止敏感信息被窃取。

任务完成时需要进行威胁评估，并针对检测到的动态威胁来判断是否影响无人机以及是否应急，再依据评估结果迅速作出避障决策并调整飞行路径及姿态以避免动态威胁相撞。多无人人间应通过信息交互与协调达到协同避障的目的，以避免多机冲突的发生。每一架无人机都会根据其当前状态和周围环境的信息来预测未来的飞行状况和可能的障碍物位置，从而计算出最佳的飞行路径和控制策略，并与其他无人机进行有效的交互和协调，以实现协同作业。以城市物流配送为例，它能够及时躲避行人和车辆等突发动态障碍物的影响，确保操作的安全和高效开展。

结论

人工智能赋能无人机智能巡视系统，在提升巡检效率、降低成本、保障安全方面优势显著。但该系统的能效问题已经成为制约该系统后续发展的一个关键因素。通过总结人工智能赋能无人机智能巡视系统构成和架构，关键技术，并对系统能效评估指标体系进行分析，考虑到各种影响因子和当前系统中存在的能源效率问题，我们专门提出了一系列基于人工智能的能效优化策略，包括飞行路径规划、智能能源管理系统、人工智能辅助设备的选择与优化，以及多无人机的协同作业策略。实施上述策略有利于提升无人机智能巡视系统能效、增加续航时间、减少能源消耗、促进无人机智能巡视系统广泛应用于各个领域。今后，在人工智能、传感器和通信技术持续发展的背景下，无人机智能巡视系统能效会进一步提高，对各个产业的发展也会有更加有力的支撑。

参考文献

- [1] 周全, 周柯, 金庆忍, 等. 卫星互联网赋能新型电力系统创新应用[J]. 电力系统自动化, 2024, 48(6): 42-61.
- [2] 戴鸿健, 陈宇, 赵斌. 变电站巡检中无人机智能巡视系统的应用[J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(1): 73-75.
- [3] 史林元, 刘刚, 艾力开木·艾尔肯. “三要素”发挥无人机巡检最大效能[J]. 中国电力企业管理, 2024(30).
- [4] 刘东, 王军, 姜仆壮, 等. 变电站智慧“三维”联合巡检体系的构建和应用[C]//2023电力行业信息化年会. 国网辽宁省电力有限公司朝阳供电公司, 2023.
- [5] 王宁, 王雁冰, 杨健, 等. 风机自主巡视的无人机控制策略研究[J]. 中国测试, 2023, 49(10): 156-162.