

基于混合整数线性规划模型的无人机外卖配送路径优化

摘要

本文基于优化理论研究无人机送餐路径规划,通过建立**混合整数线性规划模型**对不同无人机数量、店铺数量、顾客数量的无人机送餐最短完成时间路径进行规划,然后对存在订单下单时间与最晚完成时间的最少无人机使用数量的路径规划增加**时间窗约束**,最后采用 **Gurobi 求解器**中的**启发式算法**实现线性规划模型的求解。

针对问题一,考虑单无人机送餐路径规划,由于无人机恒速飞行,构造 0-1 矩阵描述无人机送餐路径作为决策变量,以最小化送餐路径距离为目标,考虑不可通行约束、起点终点约束、完成订单约束、无人机耗电约束、MTZ 约束构建了**混合整数线性规划模型 (MIP 模型)**,采用 **Gurobi 求解器**中的**启发式算法**实现优化模型求解,得到**最短耗时为 34.16min**,**最优路径见图 5**。求解器在 **2s** 左右得到最优解,说明 Gurobi 求解效率高,并通过改变无人机电池容量对所构建模型进行灵敏度分析,结果表明单个无人机作业的**最低电量为 5**;当**电量达到 11**,继续提升电量的收益很小。

针对问题二,考虑双无人机送餐路径规划,同样构造两个 0-1 矩阵分别描述两架无人机送餐路径作为决策变量,以后到达无人机送餐路径距离最短为目标,对问题一中所考虑约束条件进行适当改进,构造**最小最大化模型**。求解得到每架无人机**均服务 5 位顾客**,**最短耗时为 17.59min**,**最优路径见图 9**。

针对问题三,考虑多店多无人机送餐路径规划,对 0-1 矩阵进行增广以满足新增节点间可通行路径情况,并同样以后到达无人机送餐路径距离最短为目标,对约束条件进行适当改进以构建 **MIP 模型**,求解得到每架无人机**均服务 2 位顾客**,**最短耗时为 6.93min**,**最优路径见图 14**。

针对问题四,考虑存在订单下单时间与最晚完成时间的最少无人机送餐路径规划,构造节点至店铺可等待策略满足顾客订单时间约束,以无人机使用数量最小化为目标,在问题三所建立约束条件基础上增加**时间窗约束**并做出适当改进,构建 **MIP 模型**,通过对目标值进行遍历,得出**最少需要 3 架无人机才能完成送餐任务**,**订单完成时间 28.53min**,**最优路径见图 16**;最后对所求结果进行正确性分析,并对速度和电池容量分别进行灵敏度分析,表明增加速度相较于增加电池容量收益更大。

本文优势在于: 1. 所构建混合整数线性规划模型具有良好的可拓展性,通过对决策变量与约束条件进行适当修改即可表述不同类型的车辆调度问题; 2. 本文使用启发式算法求解优化问题,具有极强的鲁棒性,且求解效率高。

关键词: 带时间窗约束车辆调度问题 混合整数线性规划模型 启发式算法