

机场地面保障服务车辆协同调度和仿真优化

徐晨, 王笑天, 刘博

(民航中南空管设备工程(广州)有限公司, 广州 510080)

摘要:为实现大型机场地面保障服务高效化、智能化运行管理,通过研究多航班、多种地服车辆、多车场、带容量时间窗的复杂车辆路径规划问题,构建地服资源协同调度模型。结果表明,根据航班到达规律和机位分布情况,基于分解的高维进化算法求解效果较好,得到车辆使用数少、行驶距离短、超出时间窗惩罚函数最小和任务均衡的四维多目标优化问题的调度优化方案;通过 Anylogic 仿真软件验证,可实现机位占用情况、车辆使用情况动态分配和监控。

关键词:大型机场地面保障服务;车辆路径规划;高维多目标优化算法;Anylogic 仿真

中图分类号:V351; **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)14-0215-08

航班地面保障是机场为了保证航班正常运行而提供的一系列清洁、配餐和加油等活动的服务。地面保障服务分别由不同部门和单位通过不同类型保障车辆来执行,具有流程复杂、车辆资源受限和协同调度难度大等特点。现如今越来越多的机场依托运行经验,研究科学的地面保障车辆调度智能化系统,解决机场和航空公司的地面保障资源信息不完全对称、航班地面保障服务需求量和地面保障资源供应量间不同程度失衡的问题。

机场地面保障车辆调度研究涉及:单种地面保障车辆的路径与调度问题、多种地面保障车辆的协同调度问题和利用仿真软件优化车辆路径与调度问题三个方面。

Norin 等^[1]设计了贪婪随机自适应搜索算法实现单种车辆调度的最小化航班延误和最小化行驶里程;王一飞^[2-3]、陈鑫和刘长有^[3]应用蚁群算法解决车辆调度动态规划问题;Christian 和 Asvin^[4]以一种用于生成可行调度表的后向标记方法研究车辆路线和车辆司机调度问题;钟建华^[5]采用基于改进 NSGA-II 算法求解飞机牵引车调度问题;王博等^[6]基于机场协同决策系统提出了机坪牵引车调度方法。

Padrón 等^[7]、任子云^[8]、王俊义^[9]、樊伟等^[10]、许晨晨和邵荃^[11]考虑不同的车辆,结合多种车辆进行结合考虑并优化整个地面保障流程。以工作负

荷相对均匀和资源节约为设计原则,综合多种车辆相互运作关系,得到优化方案。

廖丹和黄宝军^[12]用 AirTOp 仿真建模,实现了机场地面保障车辆与航空器的联合建模;衡红军和王芳^[13]建立了基于多智能体系统(multi-agent system, MAS)的实时调度算法,分布式规划服务车辆路径并组合形成方案。

机场地面保障服务车辆调度问题随着智能仿生算法的发展已日趋成熟,但大部分研究针对单一车辆或场景,无法很好地实现从基础理论到实际复杂场景应用的过渡。针对机场地面保障服务的流程和特点,分析实际运行中多种模式下各地服车辆与所保障航班的关联性,解决多航班、多种地服车辆、多车库中心、多目标的复杂协同问题。采用 Anylogic 软件进行机场场面保障服务流程仿真,验证方案的合理性和实用性。

1 机场地面运行保障分析

地面资源服务模式以航班运行流程为主线进行分类,包括始发、过站、过夜和快速过站航班 4 种模式的航空器流程保障标准。过站航班运行模式所涉及的地面保障服务车辆最齐全且服务流程要求最高,需要航空器保障车辆、旅客服务车辆、场道保障车辆及应急救援车辆为其提供服务。

1.1 航空器地面保障服务流程

地面保障服务从航空器到达本站前分配机位

收稿日期:2023-04-12

作者简介:徐晨(1998—),女,青海西宁人,硕士,民航中南空管设备工程(广州)有限公司,助理工程师,研究方向为交通运输规划与管理;王笑天(1988—),女,山东栖霞人,硕士,民航中南空管设备工程(广州)有限公司,工程师,研究方向为交通运输规划与管理;刘博(1994—),男,河北保定人,硕士,民航中南空管设备工程(广州)有限公司员工,助理工程师,研究方向为交通运输工程。

开始,至航空器撤轮档后结束为止。每种车辆所需的提前到位等待、对接和服务时间各不相同。这些时间还与所服务航空器的机型和航空器停放机位属性相关。

在满足规范要求的前提下,统计地服车辆的历史服务时间,可初步确定各类地面保障车辆的标准作业时间。对国内某大型枢纽机场2019年9月25日至2020年6月24日1225架次航班的清水车作业时间进行调研,得到服务近机位C类航空器清水配供作业时间统计图(图1)。同一类型车辆的服务时间存在不确定性,将95%箱体值作为服务于C类航空器的清水车标准作业时间。

同理得到其他各类地服车辆的标准作业时间,如表1所示。

与旅客服务相关的地服保障标准作业时间,如表2所示。

由机型(C、D、E、F)和航班停放机位类型(近/远机位),地服车辆服务最早/最晚开始时间、结束时间、标准作业时间及关键工序,可以确定航空器地面保障服务流程。停放近机位的C类航空器的过站地面保障流程如图2所示。

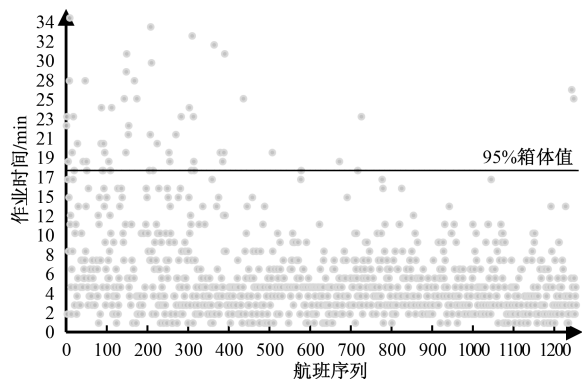


图1 清水车作业时间统计(C类)

表1 航空器保障车辆标准作业时间汇总

机型	地服车辆标准作业时间/min					
	拖型	清水	加油	配餐	污水	垃圾
C	5	18	20	5	5	5
D	10	25	25	10	10	5
E	10	26	28	10	10	7
F	20	30	40	20	20	10

表2 旅客服务车辆标准作业时间汇总

机型	车辆标准作业时间/min				
	机	登机	行李卸货	行李装货	客梯车操作
C	22	7	15	20	4
D	23	10	20	25	4
E	25	15	20	25	4
F	30	20	30	35	4

将航班保障涉及流程解析为26个时间节点,归纳为地面保障流程的时间工序模型如图3所示。

各节点紧前、紧后工序等参数说明如表3所示。

节点23~25为地服车辆的提前到位准备工序。

针对地服车辆服务流程优化,可有效地缩短航班过站时间,从而提高场面资源调度和运行效率。

1.2 车辆路径规划问题

机场除了跑道、滑行道和联络道,还专门设有地服车辆的行驶道路、服务区域及车库中心等区域,保证航空器飞行活动安全有序进行。地服车辆调度是经典车辆调度问题(vehicle routing problems, VRP)的一种衍生问题。若干空闲车辆从车库出发,前往航空器所在机位提供地面保障服务,服务完成后如有新的需求,则前往下一航空器所在机位提供服务,否则返回车库中心。地面保障车辆有使用限制,即服务完一定架次数量的航空器后,应保留合适剩余油量前往指定地点(特种车辆加油站或补给中心)补充资源。

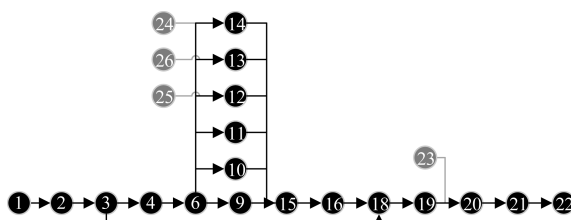


图2 航空器地面保障流程的关键工序示意图

表3 地面保障流程关键工序的时间参数说明

节点序号	节点名称	紧前工序	紧后工序
1	滑入机位	—	2
2	挡轮档	1	3
3	廊桥对接	2	4
4	开客舱门	3	6
5	开货舱门	3	7
6	旅客下机	4	9—14
7	行李卸货	5	8
8	行李装货	7	17
9~14	航空器保障服务	6	15
15	旅客登机	9~14	16
16/17	关客/货舱门	15/8	18
18	廊桥撤离	16/17	19
19	前轮挡及前锥桶撤离	18	20
20	牵引车对接	19	21
21	主轮及其他锥桶撤离	20	22
22	滑出机位	21	—

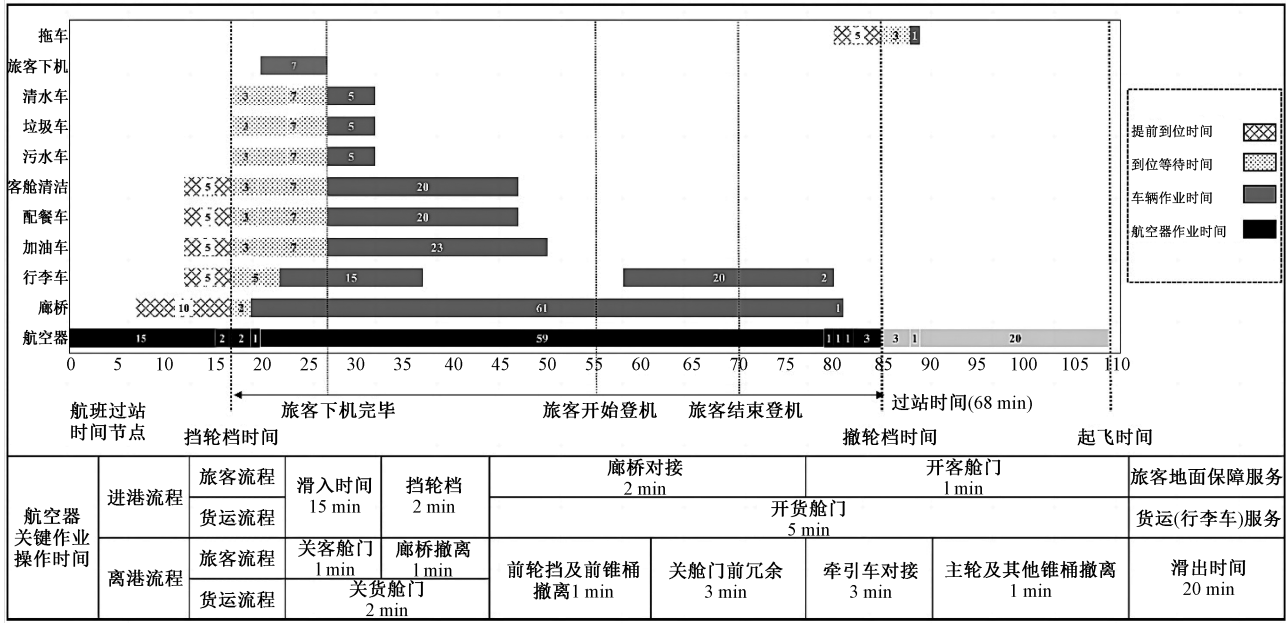


图3 C类航空器过站航班地面保障流程(近机位)示例

将这一过程归纳为带容量和时间窗的多目标车辆路径规划问题(capacitated vehicle routing problems with time windows, CVRPTW)。通过车辆数限制、车辆容量限制、服务时间窗限制等基本约束生成地服车辆服务航空器的顺序集合、车辆数和车辆行驶距离的调度方案。

2 CVRPTW 模型

CVRPTW 模型包含一个车库中心 K , 因为同种地服车辆所属不同地服公司其容量和服务时间也有差异, 所以区分同一种地服车的不同属性(如地服公司属性)进行建模。

2.1 目标函数

模型包含三个基本目标, 式(1)为总使用车辆数量最小、式(2)为行驶总路径最短、式(3)为超出地面保障服务时间限制数目最小、式(4)为地服车辆服务次数差异最小。

$$\min \sum_{j=1}^C \sum_{k=1}^K x_{ojk}^v \quad (1)$$

$$\min \sum_{(i,j) \in C} \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ijk}^v \quad (2)$$

$$\min \sum_{(i,j) \in C} \sum_{k=1}^K |x_{ijk}^v \omega_{(i,k)}^v + t_{jm}^v - b_{jm}^v| N_{t_i} \quad (3)$$

$$\min \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (V_{k_m}^v - \bar{V})^2}{n}} \quad (4)$$

式中: K 为车库中心; C 为机场场面网络节点集合; k_m^v 为地服车辆类型, 第 m 种地服车辆第 v 类; $V_{k_m}^v$ 为

第 m 种地服车辆 v 类的服务次数; x_{ijk}^v 是状态变量, 表示第 m 种地服车辆(v 类型)是否从机位 i 行驶到机位 j , 是为 1, 否则为 0; c_{ij} 为机位 i 到 j 的行驶成本; $\omega_{(i,k)}^v$ 为地面保障车辆到达指定机位时间; t_{jm}^v 为航空器 f 接受车辆 k_m^v 服务的流程时间; b_{jm}^v 为航空器 f 接受车辆 k_m^v 服务的最晚开始时间。

式(3)中包含一个惩罚函数 N_{t_i} , 用于表征当前车辆服务时间和计划时间差值, 按式(5)计算。

$$N_{t_i} = \begin{cases} \frac{a_{jm}^v - \omega_{(i,k)}^v}{a_{jm}^v - E}, & E \leq \omega_{(i,k)}^v < a_{jm}^v \\ \frac{\omega_{(i,k)}^v - a_{jm}^v}{\omega_{(i,k)}^v + t_{jm}^v - b_{jm}^v}, & a_{jm}^v \leq \omega_{(i,k)}^v \leq b_{jm}^v \\ 1, & b_{jm}^v < \omega_{(i,k)}^v \leq L \end{cases} \quad (5)$$

式中: E 为车库中心左时间窗; L 为车库中心右时间窗; a_{jm}^v 为航空器 f 接受车辆 k_m^v 服务的最早开始时间。

当车辆 k_m^v 行驶至航班 f 所在机位 i 的时间 $\omega_{(i,k)}^v$ 小于航班 f 的左时间窗, 惩罚函数的值为 0, 即车辆服务时间满足计划时间; 当 $\omega_{(i,k)}^v$ 大于 a_{jm}^v 时, 地面保障车辆的服务延迟增大, 惩罚函数的值也随之增加; 当 $\omega_{(i,k)}^v$ 大于航班 f 的右时间窗, 惩罚函数的值到达最大(100%), 惩罚函数随车辆服务时间变化如图 4 所示。

2.2 约束条件

约束条件如下所示。

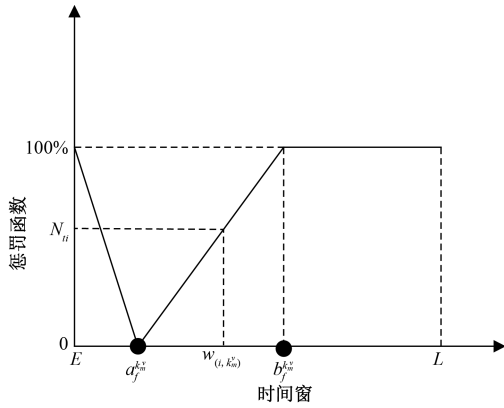


图4 惩罚函数

$$\sum_{k_m^v \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk_m^v} = 1, \forall i \in C \quad (6)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0jk_m^v} = 1, \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ijk_m^v} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{jik_m^v} = 0, \forall k \in K, \forall j \in C \quad (8)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k_m^v} = 1, \forall k \in K \quad (9)$$

$$\omega_{(i,k_m^v)} + t_{ij}^v + t_{ij} - \omega_{(j,k_m^v)} \leq (1 - x_{ijk_m^v})M, \quad \forall k \in K, \forall i, j \in C \quad (10)$$

$$a_{f_m}^{k_m^v} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk_m^v} \leq \omega_{(i,k_m^v)} \leq b_{f_m}^{k_m^v} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk_m^v}, \quad \forall k \in K, \forall i \in C \quad (11)$$

$$E \leq \omega_{(i,k_m^v)} \leq L, \forall k \in K, \forall i \in C \quad (i = 0, 1, \dots, n+1) \quad (12)$$

$$\sum_{i \in C} D_{f_m}^{k_m^v} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk_m^v} \leq P_{v_m}^k, \forall k \in K \quad (13)$$

$$x_{ijk_m^v} \geq 0, \forall i, j \in C, k \in K \quad (14)$$

$$x_{ijk_m^v} = \text{binvar} \quad (15)$$

式中: $\Delta^+(i)/\Delta^-(i)$ 为从 i 出发/返回的弧集合; t_{ij} 为机位 i 到 j 的时间; M 是一个无穷大的数; $P_{v_m}^k$ 为地面保障车辆的满载容量; $D_{f_m}^{k_m^v}$ 为航空器所需地面保障服务的需求量; 式(6)限制每个航班只能被分配到一条路径; 式(7)为车辆在初始位置(车库)流量限制; 式(8)为车辆经过的所有路径的流量限制; 式(9)为车辆返回初始位置(车库)流量限制; 式(10)限制车辆从节点 i 到达节点 j 的时间小于 j 点所接受服务的左时间窗, M_{ij} 是一个足够大的数, 可以取 10^{-7} ; 式(11)和式(12)分别限制车辆到达节点 j 的时间满足时间窗约束和车库的时间窗约束; 式(13)为车辆服务供给和航空器服务需求的限制; 式(14)和式(15)限制 $x_{ijk_m^v}$ 为 0~1 整数变量。

3 CVRPTW 问题的优化

针对地服保障特点, 进一步优化 CVRPTW 模

型, 解决多种地服车辆、多航班、多车场、多目标的复杂场面问题。

3.1 多车场的车辆调度问题

在上述地面保障服务协同调度模型基础上增加每个车库的车辆数量约束, 如式 16 所示。

$$\sum_{i \in MD_y^+} x_{(MD_y, i, k_m^v)} + \sum_{i=1}^C \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{(i, j, k_m^v)} + \sum_{n \in MD_y^-} x_{(n, MD_y, k_m^v)} \leq K_y \quad (16)$$

式中: Y 为车库集合; y 为单个车库中心 ($y \in Y, y = 1, 2, \dots$); 车库停放车辆最大值为 K_y ; $x_{(MD_y, i, k_m^v)}$ 为 0~1 整数状态参数, 表示从车库 MD_y 出发的车辆 k_m^v 是否经过节点 i ; $x_{(n, MD_y, k_m^v)}$ 为车辆 k_m^v 是否经过节点 n 返回车库的状态参数; $x_{(i, j, k_m^v)}$ 为车辆中间节点经过顺序的状态参数。

用国际 Solomon 算例 C101 进行验证, 结果如图 5 和图 6 所示。单车库的最短行驶路径为 191.1, 指定车库中心的多车场情景(3 个车库)车辆的总行驶距离是 109.8。可以看出, 多车库中心比单车库中心的车辆路径规划行驶距离更短, 充分考虑机场地面保障资源的布局情况, 从而有效减少耗油、碳排放和冲突等各种与距离成正比的成本。

此外, 车库中心的分布对车辆行驶路径结果的影响也很大。实验表明, 指定车库的总行驶路径迭代次数均高于未指定车库中心的迭代次数。因此, 对于新、改建机场, 若未确定车库中心位置, 可采用距离分配法, 通过行驶距离矩阵计算出多个较优车库中心位置, 然后将待服务航班进行分类, 依次分别放入合适的车库中心集合中, 从而确定最佳车库

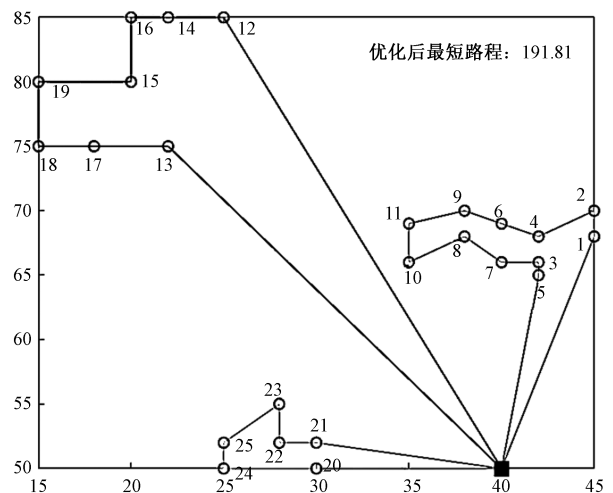


图5 单车库中心最优配送方案路线

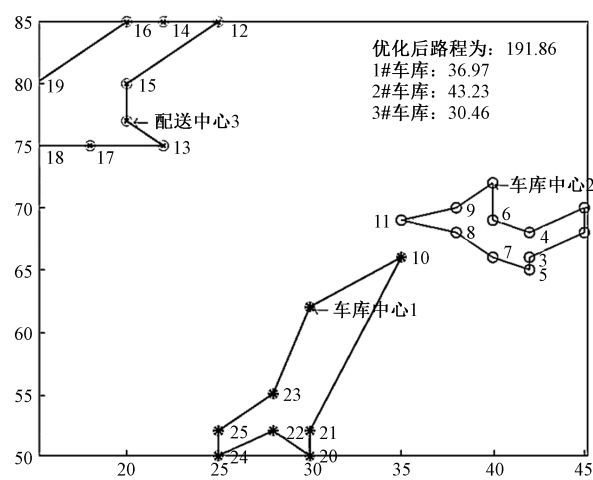


图 6 单车库中心最优配送方案路线

中心位置,为机场场面车库规划设计科学合理的指导建议。

3.2 高维多目标车辆路径规划问题

CVRPTW 模型是一个高维多目标问题,即行驶距离最短、车辆数最少、超出时间窗惩罚函数最小和车辆任务均衡的多目标。

以 Eclipse-MOEA Framework 2.13 JDK 8 为实验平台,采用基于分解的多目标进化算法^[14] (multi-objective evolutionary algorithm based on decomposition, MOEA/D)的高维多目标算法进行求解。该算法得到的 POF (Pareto optimal front, Pareto 最优前沿)效果较好,在使用车辆数尽可能小的情况下,无论是整体还是单个车辆的行驶距离都较小,车辆任务分布和时间窗违背函数(TWVariance)都很均匀,可以看作一组满意解。

4 基于 Anylogic 的优化仿真

以北京大兴国际机场某天航班为例进行验证,得到的多车辆、多航班、多车场动态多目标资源调度信息如下。

清水车、垃圾车车库统称特种车库,加油车、污水车、行李车、配餐车有各自专用车库,获取车库代号及坐标。不同地服公司的车辆类型不同,每种车的初始位置和现有资源数量如表 4 所示。

用代号“01”“02”和“03”分别表示东航地服、南航地服和首新地服,加油车服务不区分地服代理公司,由“04”表示。

地服车辆在各节点之间的行驶距离,如表 5 所示。

表 5 中对角线数据是地服车辆从车库到机位的行驶时间,其他数据为车辆在机位间的行驶时间。

选取典型日航班计划作为实验数据,共计 390 个航班,其中 C 类航空器 337 架次,E 类 53 架次,统计所有航班到达机位时间和离开机位时间,并以此时间节点作为地面保障服务流程整体开始时间和最晚结束时间设计资源调度和配置方案,航班和地服车辆信息如表 6 所示。

以清水车(01)资源配置和调度为例展示方案。图 7 中 1~129 号为航班服务顺序,130~133 为 4 个车库中心,得到 21 861 个 Pareto 前沿。POF 解集的使用车辆数为 11,行驶距离为 60 541.23(相对距离无量纲),最优解的平均推迟时间为 11.77s(推迟时间以最早服务开始时间为标准进行计算,所有清水调度未造成延误),车辆间服务方差为 8.31。

基于 AnyLogic 软件工具验证车辆调度算法,生成地服车辆的实时调度信息表,验证方案的可行性。

表 4 地服车辆信息

车辆	初始位置	现有车辆数量/辆
清水车 01	P01/ P02/ P03/ P04	11
清水车 02	P01/ P02/ P03/ P04	14
清水车 03	P01/ P02/ P03/ P04	9
垃圾车 01	P01/ P02/ P03/ P04	7
垃圾车 02	P01/ P02/ P03	11
垃圾车 03	P01/ P02/ P03	7
污水车 01	W01	7
污水车 02	W01	11
污水车 03	W01	7
行李车 01	B01/ B02/ B03/ B04	23
行李车 02	B01/ B02/ B03/ B04	34
行李车 03	B01/ B02/ B03/ B04	16
配餐车 01	C01/ C02	15
配餐车 02	C01/ C02	39
配餐车 03	C01/ C02	24
加油车 04	O01/ O02	53

表 5 地服车辆行驶时间均值(部分)

机位编号	行驶时间/min			
	111	110	109	108
111	2.43	2.62	2.87	2.91
110	2.62	2.81	3.06	3.10
109	2.87	3.06	3.32	3.35
108	2.91	3.10	3.35	3.39

表 6 航班时刻表(部分)

航班号	机型	资源车类型	到达机位时刻	离开机位时刻	机位编号
CZ3185	E	清水车 02	13:13	14:28	126
		污水车 02			
		垃圾车 02			
		行李车 02			
		加油车 01			
		配餐车 02			

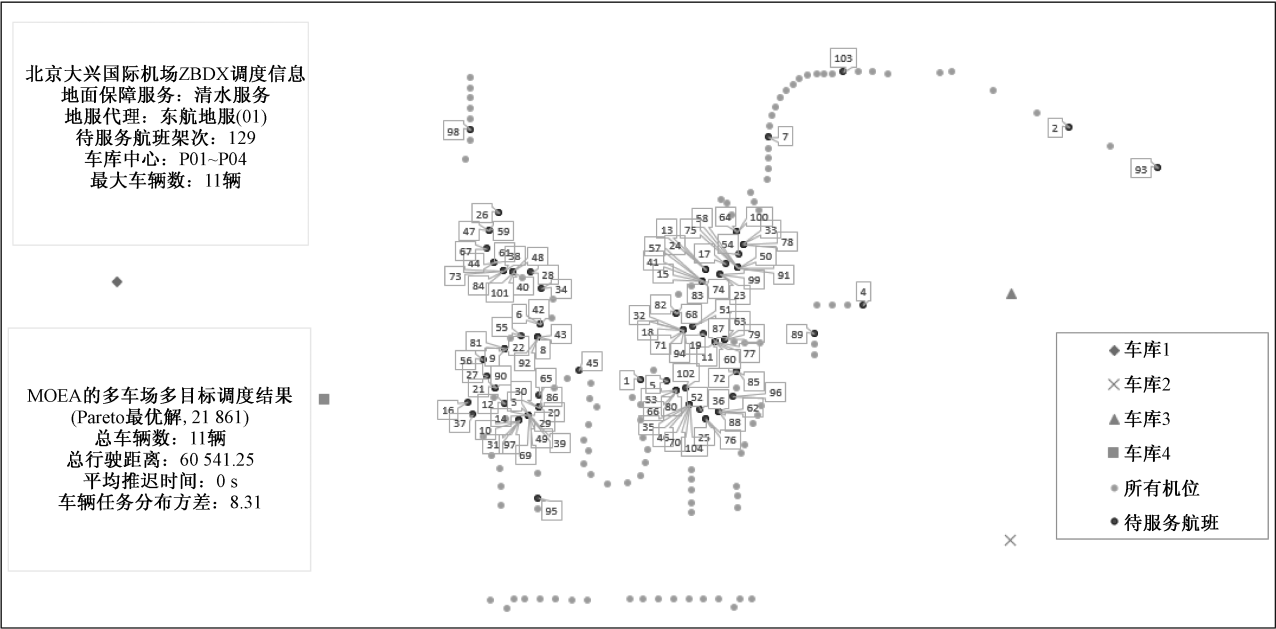


图 7 北京大兴国际机场地服车辆调度信息(01 清水车)

Anylogic 是一款基于 JAVA 语言的仿真软件, 支持迅速拖曳建模。创建航班、停机位和航班调度需求等 7 个智能体, 构建地服车辆智能体系统模型架构, 如图 8 所示。

仿真规则设定为航空器按航班计划时间到达指定机位, 向车库中心发送地面保障服务需求消息, 车库调度中心接收消息, 根据机型匹配信息、车辆所在位置、车辆服务状态和车辆服务规则等因素搜索合适车辆, 生成调度计划并给相应车辆转发消息。指定车辆前往航空器所在机位提供地面保障服务, 服务完成后判断车库中心是否有新的需求订单, 若有, 则前往下一航空器所在机位提供服务, 否则返回车库中心。

仿真得到航班计划所需各地服车辆数量、行驶距离、延误累计等情况, 如表 7 所示。

地服车辆调度信息如表 8 所示。

通过 Anylogic 软件仿真界面实时监控地服车辆使用情况、车辆调度时间、车辆调度情况和车辆调度情况。

仿真结果显示, 所有车辆均在航班待服务时间窗内, 未造成航班延误, 同时车辆调度方案与实际运行中航空公司地服资源车辆与航班相互匹配的复杂情况相符合, 具有较好的实用价值。

表 7 仿真结果——地服车辆使用情况统计

编号	总车辆数	行驶距离	使用次数	延误累积
清水车 01	11	1 603.93	127	0.0
清水车 02	14	2 291.45	191	0.0
清水车 03	9	881.96	67	0.0
垃圾车 01	7	1 672.47	127	0.0
垃圾车 02	11	2 362.37	191	0.0
垃圾车 03	7	901.76	67	0.0
污水车 01	7	1 672.47	127	0.0
污水车 02	11	2 362.37	191	0.0
污水车 03	7	901.76	67	0.0
行李车 01	23	1 566.44	127	0.0
行李车 02	34	2 211.2	191	0.0
行李车 03	16	864.01	67	0.0
配餐车 01	15	1 630.2	127	0.0
配餐车 02	39	2 162.56	191	0.0
配餐车 03	24	828.23	67	0.0
加油车 01	53	4 684.55	385	0.0

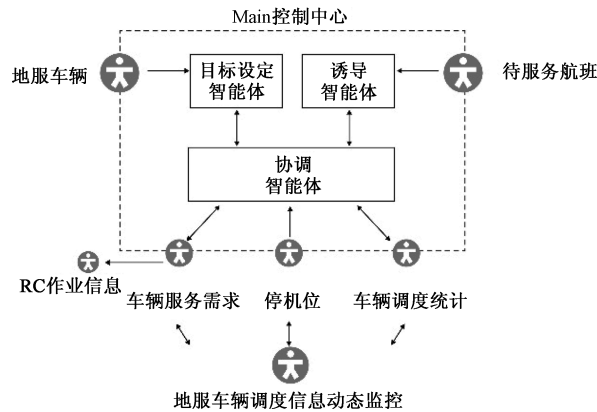


图 8 基于 Anylogic 的地服车辆模型多智能体面板

表8 仿真结果-地服车辆服务时间统计(部分)

航班号	时间							
	降落	起飞	清水车	污水车	垃圾车	行李车	加油车	配餐车
1	8:18	9:23	8:28—8:28— 8:29—8:34	8:08—8:08— 8:18—8:23	8:08—8:08— 8:18—8:23	8:03—8:03— 8:18—8:53	8:03—8:03— 8:18—8:36	8:03—8:03— 8:18—8:38
2	8:26	9:31	8:36—8:36— 8:38—8:43	8:16—8:16— 8:26—8:31	8:16—8:16— 8:26—8:31	8:11—8:11— 8:26—9:01	8:11—8:11— 8:26—8:44	8:11—8:11— 8:26—8:46
3	9:11	10:16	9:21—9:21— 9:24—9:29	9:01—9:01— 9:11—9:16	9:01—9:01— 9:11—9:16	8:56—8:56— 9:11—9:46	8:56—8:56— 9:11—9:29	8:56—8:56— 9:11—9:31
4	9:17	10:22	9:27—9:27— 9:28—9:33	9:07—9:07— 9:17—9:22	9:07—9:07— 9:17—9:22	9:02—9:02— 9:17—9:52	9:02—9:02— 9:17—9:35	9:02—9:02— 9:17—9:37
5	9:19	10:24	9:29—9:29— 9:32—9:37	9:09—9:09— 9:19—9:24	9:09—9:09— 9:19—9:24	9:04—9:04— 9:19—9:54	9:04—9:04— 9:19—9:37	9:04—9:04— 9:19—9:39
6	9:25	10:30	9:35—9:35— 9:39—9:44	9:15—9:15— 9:25—9:30	9:15—9:15— 9:25—9:30	9:10—9:10— 9:25—10:00	9:10—9:10— 9:25—9:43	9:10—9:10— 9:25—9:45
7	9:27	10:32	9:37—9:37— 9:38—9:43	9:17—9:17— 9:27—9:32	9:17—9:17— 9:27—9:32	9:12—9:12— 9:27—10:02	9:12—9:12— 9:27—9:45	9:12—9:12— 9:27—9:47
8	9:38	10:43	9:48—9:48— 9:51—9:56	9:28—9:28— 9:38—9:43	9:28—9:28— 9:38—9:43	9:23—9:23— 9:38—10:13	9:23—9:23— 9:38—9:56	9:23—9:23— 9:38—9:58
9	9:41	10:56	10:02—10:02— 10:04—10:14	9:20—9:20— 9:41—9:51	9:20—9:20— 9:41—9:51	9:15—9:15— 9:41—10:26	9:15—9:15— 9:41—10:07	9:15—9:15— 9:41—10:09
10	9:41	10:46	9:51—9:51— 9:54—9:59	9:31—9:31— 9:41—9:46	9:31—9:31— 9:41—9:46	9:26—9:26— 9:41—10:16	9:26—9:26— 9:41—9:59	9:26—9:26— 9:41—10:01

注:地服车辆服务航班的4个时间分别表示开始调用时间、地服车辆接收调用时间、资源车到达机位时间和地服车完成服务时间。以清水车为例,服务航班“1”时,航班到达机位时间8:18,预计起飞时间9:23,清水车8:28开始调用并接收调用,8:29到达机位,8:24完成服务。

5 结论

对地面保障资源的类型、特点、分类和服务模式进行全面的概述,确定了“合理使用、超前配置”的原则,针对过站航班构建带容量和时间窗的车辆行驶路径规划CVRPTW模型。

优化CVRPTW地面保障车辆调度模型,实现多种地服车辆、多航班、多车场和多目标的车辆路径规划问题研究,可减少由于地服车辆调度造成的航班延误和运行成本。

1)提出预先分配车库中心和计算车库中心两种情境的CVRPTW解决方案。研究发现多车库且可计算车库位置的情境下车辆使用数量和行驶距离均较短,可为机场规划建设地面保障车辆车库中心设置提供科学可靠的理论依据。

2)用基于分解的进化算法MOEA/D求解车辆数、行驶距离、时间窗惩罚函数和任务数均衡的4维多目标问题,能得到较为满意解集。

3)基于Anylogic仿真软件进行方案验证。统计服务于390架次航班的6种/16类地服车辆(共288辆)使用情况,实时监测地服车辆的调度信息和机位占用情况。结果显示,所得到的理论研究对于实际地面保障服务复杂情景较符,具备应用价值。

参考文献

- [1] NORIN A, YUAN D, GRANBERG T A, et al. Scheduling deicing vehicles within airport logistics: a heuristic algorithm and performance evaluation[J]. Journal of the Operational Research Society, 2012, 63(8): 1116-1125.
- [2] 王一飞. 机场加油车辆优化调度问题研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2014.
- [3] 陈鑫, 刘长有. 基于蚁群算法的机场除冰车辆调度问题研究[J]. 科技和产业, 2013, 13(2): 77-80.
- [4] CHRISTIAN T, ASVIN G. Bidirectional labeling for solving vehicle routing and truck driver scheduling problems[J]. European Journal of Operational Research, 2020, 283(1): 108-124.
- [5] 钟建华. 基于改进NSGA-II算法的飞机牵引车安全调度[J]. 科技和产业, 2020, 20(4): 175-180.
- [6] 王博, 王剑辉, 彭笑非, 等. 基于机场协同决策系统的机坪牵引车调度方法[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(4): 1667-1673.
- [7] PADRÓN S, GUIMARANS D, RAMOS J J, et al. A biobjective approach for scheduling ground-handling vehicles in airports[J]. Computers & Operations Research, 2016, 71: 34-53.
- [8] 任子云. 大型机场航班地面保障车辆协同调度研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2016.
- [9] 王俊义. 面向服务策略的机场特种车辆调度问题研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2018.

- [10] 樊玮,吴建波,衡红军. 基于多 Agent 的机场地面服务车辆调度方法研究[J]. 计算机应用与软件, 2015, 32(10): 262-265, 278.
- [11] 许晨晨,邵荃. 不确定作业时间下机场地面服务保障设备调度优化[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(3): 372-378.
- [12] 廖丹,黄宝军. 基于 AirTop 机场综合保障能力仿真与评估[J]. 航空计算技术, 2017, 47(1): 77-80.
- [13] 衡红军,王芳. 基于 MAS 的机场特种车辆实时调度问题的研究[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(9): 45-50.
- [14] ZHANG Q, LI H. Moea/d: a multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2007, 11(6): 712-731.

Research on Collaborative Scheduling Techniques and Simulated Optimization of Airport Ground Service Resources

XU Chen¹, WANG Xiaotian¹, LIU Bo¹

(Central South of Civil Aviation Air Traffic Control Equipment Engineering (Guangzhou) Co. Ltd. ,Guangzhou 510000, China)

Abstract: In order to provide efficient and intelligent service for Airport Ground operations, according to the different demand optimization models of multi-depot, multi-vehicle, multi-flight, and multi-objective-allocation in actual operation, collaborative scheduling was proposed. The results show that MOEA/D algorithm completes the 4-dimensional multi-objective vehicle routing problem of vehicle volume, travel distance, time window penalty function, and service variance between vehicles; the dynamic allocation and monitoring of the parking occupancy and vehicle usage can be realized through the simulation Anylogic experiments.

Keywords: airport ground service; vehicle routing problem; multi-objective optimization algorithm; anylogic simulation