

机场共享自助值机托运服务资源配置研究

刘 英¹, 向 勇^{2,3}, 杨秀清^{2,3}, 周新志¹

(1. 四川大学电子信息学院, 成都 610065;
2. 中国民航局第二研究所, 成都 610041; 3. 民航成都物流技术有限公司, 成都 611400)

摘 要: 共享自助值机托运系统能够有效缓解未来机场资源有限的紧张状况,其资源的有效配置才是提升该自助协同工作系统性能的关键. 本文建立了一个静态资源整数规划模型和动态调整策略,模型考虑了值机和托运设备之间的协同关系,并约束配置方案能提供稳定的服务水平,策略则针对不同规模的初始配置方案增减设备数量来提升设备利用率. 离散时间仿真结果表明,相比传统值机系统,该模型应用到机场共享自助值机托运系统中产生的静态配置方案既可提高 132% 的设备利用率,又可缩短 62.5% 的旅客排队等待时间,动态调整策略又在其基础上提升了 8%~15% 的设备利用率,可全面提升未来机场航站楼的性能.

关键词: 自助值机; 资源配置; 整数规划模型; 动态调整策略; 离散事件仿真

中图分类号: N949 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19907/j.0490-6756.2021.053001

Research on resource allocation model and strategy of airport shared self-service check-in and baggage check system

LIU Ying¹, XIANG Yong^{2,3}, YANG Xiu-Qing^{2,3}, ZHOU Xin-Zhi¹

(1. College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. The Second Research Institute of CAAC, Chengdu 610041, China;
3. Civil Aviation Logistics Technology Company Limited, Chengdu 611400, China)

Abstract: The shared self-service check-in system can effectively alleviate the tension of limited airport resources in the future. The effective allocation of resources is the key to improving the performance of this collaborative work system. This paper establishes a static resource integer programming model and dynamic adjustment strategy. The model considers the collaborative working relationship between system counter and transportation equipment, and restricts the configuration scheme to provide a stable service level. the strategy improves the equipment utilization by increasing or decreasing the number of equipment according to the initial allocation scheme of different scales. The discrete event simulation results show that the static allocation scheme generated by the model applied to the shared self-service check-in system can not only improve the equipment utilization rate by 132%, but also shorten the queuing time of passengers by 62.5% respectively, compared with traditional check-in system. Furth more, the dynamic adjustment strategy has increased the equipment utilization rate by 8%~15%, which can comprehensively optimize and improve the efficiency of future airport baggage handling systems.

Keywords: Self-service check-in; Resource allocation; Integer programming model; Dynamic adjustment strategy; Discrete event simulation

收稿日期: 2020-09-15
基金项目: 国家自然科学基金委员会-中国民用航空局民航联合研究基金(U1933123)
作者简介: 刘英(1995-), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 主要研究方向为模式识别与智能系统. E-mail: ml3693408678@163.com
通讯作者: 周新志. E-mail: xz.zhou@scu.edu.cn

1 引言

目前,随着航空客运量的显著增长,旅客到达机场登机过程中的一系列操作常常产生明显的等待时间,这被认为是机场服务能力水平低下的表现,从而影响旅客对机场服务的满意感. 机场现有的值机和行李托运系统的智能化程度较低,且相互独立,仍要求旅客完成一系列复杂的手续. 尽管机场现已部分引入自助值机技术,但自助柜台并非共享使用,行李托运仍为人工处理,且行李运输系统在行李处理高峰期无法及时扩展路径等来满足旅客的需求. Wittmer^[1]表明自助服务技术(自助值机和自助托运)有利于提升旅客值机流程满意感. 以及国际航空电讯集团的 Dong^[2]在论坛中倡导共享自助设备,即任意航空公司、任意航班的任意旅客都可在同一个设备上完成值机托运操作. 通过引入共享自助设备来简化值机托运手续和采用自主移动机器人(Autonomous Mobile Robot, AMR)进行无轨道运输,尽量减少旅客所需时间和缓解机场资源有限问题.

机场值机系统的资源配置研究可分为静态和动态下的建模优化研究,大多数学者所建静态模型以最少运营成本、最小开放设备数量等为优化目标函数^[3-4]. 随着优化目标函数的增多,文献[5]提出一个平衡了服务水平和服务成本的值机柜台分配决策系统. 文献[6]在给定时间间隔内对值机柜台的分配问题进行有效解决,使旅客满意度最大化. 此外,还可引入概率函数、策略或权重等方法来优化多目标模型. 一般而言,静态配置为了保证持续的服务水平,会造成系统设备利用率较低. 在机场资源动态配置方面, Hsu 等^[7]建立了动态分配乘客和动态分配设施的数学模型,但是该模型仍然是基于复杂的登机手续的组合优化. 田超^[8]收集首都机场 T2 的值机数据,提出机场值机资源动态配置的优化建议,但模型未能达到同时优化旅客满意度和设备利用率. 杨扬^[9]建立旅客值机排队等待时间的预估模型,对开放的柜台进行动态调整,但该研究仍是基于人工值机柜台.

目前对于机场值机系统的资源配置研究主要集中在独立模式下人工值机柜台的分配、开放时间和轮班计划的优化上,值机和托运分开进行,这对于有托运需求的旅客来说,仅仅引入自助值机技术意义不大,因此值机和托运手续将会朝着共享自助一体化的方向发展. 已有学者研究了旅客对自

助技术的接受程度,文献[10]通过概率统计分析了不同人群对于自助技术的选择倾向. 文献[11]研究了旅客对自助技术的认可程度和特征,提出了不同激活比例的自助设备规模将改善旅客等待时间的假设,但其并未关注自助设备的利用率.

因此,本文研究了此场景下的资源配置问题,考虑系统中值机和托运相互协同工作的模式,建立了共享自助值机托运系统的静态资源整数规划模型,以解决该问题在静态分配下的最优性. 以及动态调整配置方案策略,旨在解决自助设备利用率不高的欠缺问题. 参考机场规划范围,将一天分为若干个相同间隔的规划周期,在每个规划周期中通过静态资源优化配置模型得到可行的配置方案,然后在运行期间执行动态调整策略. 并利用中型机场的实际数据对该模型和策略进行测试分析了结果,验证了可行性.

2 静态资源优化配置模型

采用 AMR 运输的共享自助值机托运系统的资源配置问题是一个关联多决策变量的复杂多目标问题,但是机场主要关注配置方案的成本、处理能力和能够提供的服务水平,因此模型将旅客量作为输入,以柜台数量和 AMR 数量为两个关键决策变量. 系统中设备满足若空闲立即响应服务策略,旅客满足先到先服务(FCFS)策略,为了描述该模型,需要使用以下符号.

2.1 索引与参数

- P_{α} : 需要托运行李的旅客比例;
- P_{bi} : 托运行李量为 i 的旅客比例, $i = \{1, 2, 3\}$;
- T_{gt} : 时间段 t 内柜台可提供办理手续的时间, 一般 $T_{gt} = t$;
- c_1, c_2 : 单位 AMR 和单位柜台运营成本;
- m_1, m_2 : AMR 和柜台运营成本占总成本的权重;
- M_t : 时间段 t 内到达机场的旅客量 M ;
- M_{br} : 时间段 t 内到达值机托运系统的旅客量;
- N_t : 时间段 t 内值机托运系统需要处理的行李量;
- D : 若干个相同间隔的规划时间段 t 集合;
- ρ_t : 时间段 t 内系统的服务强度;
- P_{0t} : 时间段 t 内柜台空载率;
- λ : 旅客的到达间隔服从参数为 λ 的负指数分布;
- W_{qt} : 时间段 t 内旅客平均排队等待时间;

Φ : 旅客平均排队等待时间满意解。

2.2 决策变量

N_{1t} : 时间段内配置的 AMR 运输设备数量,

$N_{1t} \in [0, N_{1\max}]$, $N_{1\max}$ 为 AMR 数量最大值;

N_{2t} : 时间段内开放的值机托运柜台数量,

$N_{2t} \in [0, N_{2\max}]$, $N_{2\max}$ 为柜台数量最大值;

u : $N_{1t} \bmod N_{2t}$ 不等于 0 时为 1, 否则为 0;

v : $((N_t - N_{1t}) \bmod N_{1t}) \bmod N_{2t}$ 不等于 0 时为 1, 否则为 0;

x : $(N_t - N_{2t}) \bmod N_{1t}$ 等于 0 时为 1, 否则为 0;

s : $(N_t - N_{2t}) \bmod N_{1t}$ 不等于 0 时为 1, 否则为 0;

h : $N_{1t} \bmod N_{2t}$ 不等于 0 时为 1, 否则为 0;

w_1, w_2 : w_1, w_2 为 0-1 变量。

其中, “mod” 表示取余运算, “ $\lfloor \quad \rfloor$ ” 表示向下取整。

时间段 t 系统开放服务时, N_{1t} 表示配置的 AMR 数量; N_{2t} 表示开放的柜台数量; 式(1)为目标函数 1 使该配置下总运作成本最小。旅客柜台平均服务时间为 t_{serve} , 柜台处理完手续后, AMR 将行李搬运至行李收集总线, 每个行李的处理方式相同, 平均运输时间为 t_{trans} , 式(2)为目标函数 2 使 N_t 个行李处理的总时间最小。

$$\text{Min } f_1 = m_1 * c_1 * N_{1t} + m_2 * c_2 * N_{2t} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } f_2 = & t_{\text{serve}} + w_1 * \left\{ \left\lfloor \frac{N_t - N_{2t}}{N_{1t}} \right\rfloor * t_{\text{trans}} + \right. \\ & x * \left\{ \left\lfloor \frac{N_{2t}}{N_{1t}} \right\rfloor + u \right\} * t_{\text{serve}} - t_{\text{trans}} \left. \right\} + \\ & s * \left\{ \left\lfloor \frac{(N_t - N_{2t}) \bmod N_{1t}}{N_{1t}} \right\rfloor + v \right\} * t_{\text{serve}} \left. \right\} + \\ & w_2 * \left\{ \left\lfloor \frac{N_t}{N_{2t}} \right\rfloor - 1 + h \right\} * t_{\text{serve}} \end{aligned} \quad (2)$$

2.3 约束

$$M_{br} = M_t \sum P_{\alpha}, M_t = \{M \mid (M, t)\}, \forall t \in D \quad (3)$$

$$N_t = M_t \sum P_{\alpha} * \left(\sum_{i=1}^3 P_{li} * i \right), \forall t \in D \quad (4)$$

$$w_1 + w_2 = 1, w_1, w_2 \in \{0, 1\} \quad (5)$$

$$\left\lfloor \frac{N_{1t}}{N_{2t}} \right\rfloor < w_1 * \frac{t_{\text{trans}}}{t_{\text{serve}}} + w_2 * \frac{N_{1\max}}{N_{2\min}}, \forall t \in D \quad (6)$$

$$\left\lfloor \frac{N_{1t}}{N_{2t}} \right\rfloor \geq w_1 * 0 + w_2 * \frac{t_{\text{trans}}}{t_{\text{serve}}}, \forall t \in D \quad (7)$$

$$0 < \left\lfloor \frac{N_{1t}}{N_{2t}} \right\rfloor < \frac{t_{\text{trans}}}{t_{\text{serve}}}, x + s = 1, \forall t \in D \quad (8)$$

$$0 < N_{1t} < N_{1\max}; 0 < N_{2t} < N_{2\max}, \forall t \in D \quad (9)$$

$$\sum N_t * t_{\text{serve}} \leq N_{2t} * T_{gt}, \forall t \in D \quad (10)$$

$$W_q = \frac{(\rho_t)^{N_{2t}} * \frac{\rho_t}{N_{2t}}}{N_{2t}! * (1 - \frac{\rho_t}{N_{2t}})^2 * \lambda} * P_{0t} < \Phi, \forall t \in D \quad (11)$$

约束(3)为需要托运行李的旅客数量, 其中, M_t 为不同时间段 t 的旅客量; 约束(4)为有行李托运需要的旅客所托运的行李总量; 约束(5)~(7)表示系统在 t 时间段内只可满足其中一种 AMR 规模配置情况, 以及对应决策变量 N_{1t} 和 N_{2t} 比值的取值范围; 约束(8)表示行李数量由该 AMR 规模处理情况只可满足是否整数倍处理完毕其中一种; 约束(9)是场景和成本限制; 约束(10)表示容量约束; 约束(11)表示旅客平均排队等待时间 W_q 小于满意解 Φ min, 该服务水平约束用排队论来描述。

3 动态调整策略

由于机场资源有限, 机场的值机和行李处理系统实际服务能力常常无法达到最佳服务策略, 如图 1 所示, 系统提供的服务能力(虚线)常常超过其需求量(实线), 造成设备利用率低下, 浪费资源; 然而在一些高峰时期服务能力严重不足, 给旅客留下航空公司的服务能力低下的形象。

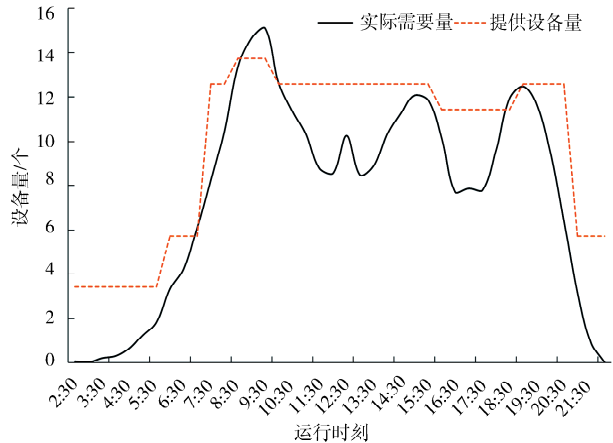


图 1 机场值机资源配置的传统模式
Fig. 1 The traditional mode of airport check-in resource allocation

该系统提供的服务能力很大程度上取决于机场在战术层面上做出的调度, 因此机场需要一个自助值机托运设施动态调整配置方案的决策系统, 来配置更为灵活的方案, 对设备进行更充分的利用。

在通过静态资源配置模型求解出的配置方案中选取一组方案 (N_1, N_2) 进行开放。开放的柜台编

号为 $(1, 2, 3, \dots, N_2)$, AMR 编号 $(1, 2, 3, \dots, N_1)$, 假设当前所有柜台处于服务状态, 并且每个柜台此次进入空闲状态的剩余时间是 $(z_1, z_2, \dots, z_{N_2})$, $z_1, z_2, \dots, z_{N_2} \in [0, t_{\text{serve}}]$, 当前队伍中排队的人数为 m , T_{queue} 表示 m 个人最小排队等待时间, 描述为 $T_{\text{queue}}(m)$. 假设该系统保证旅客的排队等待时间小于 $\Phi \text{ min}$, 当前排队人数由 m_{current} 表示, 则通过当前排队人数来决策系统是否需要新增或减少柜台数目(每次调整只涉及在当前配置方案 $(N_1^{\text{pre}}, N_2^{\text{pre}})$ 的基础上新增或减少一个设备), k 表示静态配置方案中 AMR 和柜台数量之间的最优比例关系(即 AMR 数量满足柜台没有无车等待的情况).

3.1 新增设备策略

为了满足旅客排队等待时间小于排队等待时间满意解, 系统新增设备策略的描述如下.

$T_{\text{queue}}(m) < \Phi$ (单位: min), 当 $m_{\text{current}} \geq m$ 时, $N_2 = N_2^{\text{pre}} + 1, N_1 = N_1^{\text{pre}} + k$.

其中, $T_{\text{queue}}(m)$ 的分析如下.

1) $m < N_2$ 即 $\lfloor \frac{m}{N_2} \rfloor = 0$.
 $T_{\text{queue}} = \max\{z'_1, z'_2, \dots, z'_m\}$, 其中, z'_1, z'_2, \dots, z'_m 为 z_1, z_1, \dots, z_{N_2} 中最小的 m 个数.

2) $m > N_2$, $\lfloor \frac{m}{N_2} \rfloor \geq 1$, 且 $m \bmod N_2 \neq 0$.
 $T_{\text{queue}} = (\lfloor \frac{m}{N_2} \rfloor - 1) * t_{\text{serve}} + \max\{z_1, z_2, \dots, z_{N_2}\} + \max\{z'_1, z'_2, \dots, z'_{m \bmod N_2}\}$, 其中, $z'_1, z'_2, \dots, z'_{m \bmod N_2}$ 为 z_1, z_1, \dots, z_{N_2} 中最小的 $m \bmod N_2$ 个数.

假设以最糟糕的情况来考虑 N_2 个柜台此次进入空闲状态的剩余时间, 即 $\forall z_i = t_{\text{serve}}, i = 1, 2, \dots, N_2$, 则 $T_{\text{queue}}(m)$ 可简化为

$$T_{\text{queue}}(m) = (\lfloor \frac{m}{N_2} \rfloor + 1) * t_{\text{serve}}.$$

因此, 新增设备策略可重新描述为

$T_{\text{queue}} = (\lfloor \frac{m}{N_2} \rfloor + 1) * t_{\text{serve}} < \Phi$ (单位: min), 当 $m_{\text{current}} \geq m$ 时, $N_2 = N_2^{\text{pre}} + 1, N_1 = N_1^{\text{pre}} + k$.

3.2 减少设备策略

由于在高峰期时增加了设备数量, 当高峰期后开放的设备会有富余, 应适当减少. 为保证服务能力不受影响, 系统每经过一个 t_{serve} 和 t_{trans} 的时间周期后, 至少有单位设备进入空闲可服务状态. 再考虑到旅客可能在队伍中的排队等待时间和存在两个旅客进入系统时间特别相近的情况, 因此当剩余的柜台 $N_{2\text{re}}$ 数量大于 2 时, 并且至少持续 T_{last} 分钟

时, 则在当前配置方案 $(N_1^{\text{pre}}, N_2^{\text{pre}})$ 的基础上减少单位个设备, 具体描述如下: 当 $N_{2\text{re}} \geq 2, T_{\text{last}} \geq t_{\text{serve}} + t_{\text{trans}} + \Phi$ 时, $N_2 = N_2^{\text{pre}} - 1, N_1 = N_1^{\text{pre}} - k$.

4 仿真实验与结果分析

在非线性复杂规划问题上, 进化计算比传统的数学优化效果更好; 在求解速度上, 由于该系统的各参数在固定场景中的规律较为稳定, 因此相比于其他进化算法, 差分进化算法能够更快找到静态资源优化配置模型的可行解.

4.1 机场数据准备

模型选取场景大小以国内某中型机场现有自助托运系统所在场景为参考, 对传统的值机岛场景和行李托运场景进行适当改造, 设置为 $50 \text{ m} * 35 \text{ m}$ 的空间, AMR 的运输速度稳定在 1.0 m/s , AMR 平均运输往返时间为 80 s (包含装卸行李时间). 据国内某机场自助设备的使用情况来看, 自助设备的旅客操作时间为 $20 \sim 30 \text{ s}$, 假定值机托运柜台的平均服务时间稳定为 30 s , 旅客在柜台的最低操作时间为 20 s .

模型的输入为各时间段的旅客量, 为验证模型的可行性, 获取国内某机场单航班旅客到达比例分布表^[12], 整理后各时段的到达比例如图 2 所示. 选取 60 min 为统计时段, 结合航班计划, 计算获得各时间段到达旅客数, 表 1 为计算得到某日 $6:00 \sim 21:00$ 旅客人数到达分布.

表 1 各时间段旅客人数到达分布表
Tab. 1 Passenger arrival distribution table in each time period

时间段	到达人数/人
6:00~7:00	378
7:00~8:00	716
8:00~9:00	1 189
9:00~10:00	1 488
10:00~11:00	1 198
11:00~12:00	955
12:00~13:00	940
13:00~14:00	939
14:00~15:00	867
15:00~16:00	1 196
16:00~17:00	893
17:00~18:00	782
18:00~19:00	1 074
19:00~20:00	1 206
20:00~21:00	796

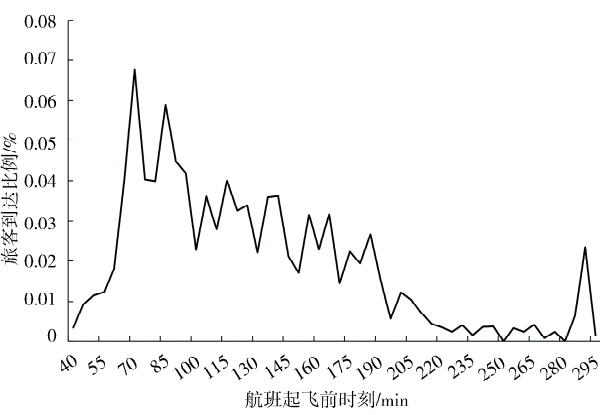


图 2 单航班旅客到达比例分布
Fig. 2 Passenger arrival distribution per flight

据 SITA 2019 旅客 IT 洞察报告显示^[13],80% 的旅客托运行李,而大部分(56%)只托运一件行李,18%旅客托运两件行李,还有 7%旅客托运三件行李.由此可根据该时段到达旅客量获得需要托运的行李数量,作为值机托运系统的最终输入.

4.2 静态资源配置模型求解结果

当 $W_q \leq 1$ min/人时,模型输出各时间段的配置方案如表 2 所示.

表 2 静态资源模型求解配置方案
Tab. 2 Static resource model solution allocation scheme

时间段	AMR 数量/个	柜台数量/个
6:00~7:00	16	8
7:00~8:00	28	14
8:00~9:00	44	22
9:00~10:00	56	28
10:00~11:00	40	20
11:00~12:00	38	19
12:00~13:00	38	19
13:00~14:00	36	18
14:00~15:00	32	16
15:00~16:00	42	21
16:00~17:00	34	17
17:00~18:00	28	14
18:00~19:00	44	22
19:00~20:00	42	21
20:00~21:00	34	17

根据表 2 求解的配置方案,绘制配置的设备数量与旅客量之间的关系图如图 3 所示,二者呈正相关关系.模型产生配置方案的设备数量和旅客量之间的正相关关系与实际机场分配结果的关系相符

合,但是旅客的到达类型、到达间隔都存在不确定性,因此配置方案是否达到模型设计要求还需对实际情况进行仿真验证,仿真用于评估和改进规划,以帮助机场提供旅客满意的服务水平.

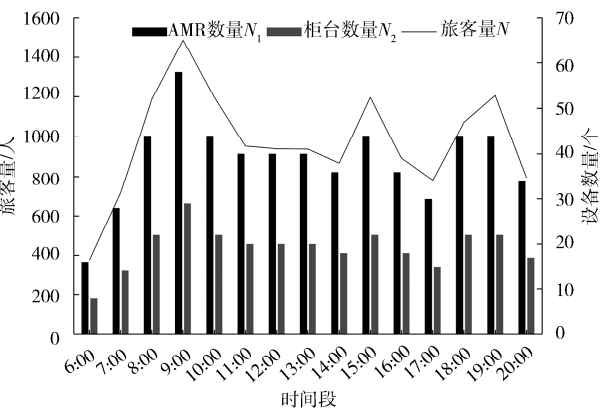


图 3 配置方案的设备数量与旅客量关系图
Fig. 3 Relationship diagram between the number of equipment and passenger volume of the allocation scheme

4.3 离散事件仿真模型

由于所建模型是基于采用 AMR 运输的共用自助值机托运系统,该系统暂未在机场投入使用,本文选择数值仿真的方式,采用 Java 语言编程对模型进行仿真模拟.假设旅客到达流为泊松流,到达间隔服从负指数分布,编程产生服从该分布的随机数数组,模拟该时间段的旅客到达情况.模型的排队等待时间满意解设为 1 min,将模型求解出该旅客量的配置方案应用到程序仿真中,统计仿真中系统处理完当前旅客量花费的总时间、柜台总处理时间、AMR 的总运输时间和旅客总等待时间,计算柜台利用率、AMR 重载率和旅客排队平均等待时间,结果如表 3 所示.

通过表 3 计算整个系统的平均柜台利用率为 43.8%,AMR 的平均利用率为 58.4%,平均排队等待时间为 0.488 min.不同配置方案系统的柜台利用率都能稳定在 40%左右,AMR 利用率稳定在 50%以上,旅客的平均排队等待时间全部保持在 1 min 以下.

4.4 动态调整配置方案

由于模型求解的静态资源配置方案为了保证持续的服务能力,配置数量都大于实际需求,因此在每个时间段 t 内,设置系统初始配置方案(N_1^B , N_2^B)小于模型求解的静态资源配置.在系统运行期间,执行动态调整策略,对比系统各指标的变化情况.

表 3 各时间段仿真数据

Tab. 3 Simulation data of the allocation scheme in each time period

时间段	旅客量/人	开放总时间/s	柜台利用率/%	AMR 利用率/%	平均等待时间/min
6:00~7:00	378	3 600.9	39.5	52.6	0.434
7:00~8:00	716	3 601.5	42.5	56.6	0.457
8:00~9:00	1 189	3 605	44.9	59.9	0.601
9:00~10:00	1 488	3 625.4	44.0	58.7	0.694
10:00~11:00	1 198	3 599	49.9	66.5	0.571
11:00~12:00	955	3 619	41.7	55.6	0.557
12:00~13:00	940	3 601.6	41.2	54.9	0.396
13:00~14:00	939	3 601	43.4	57.8	0.584
14:00~15:00	867	3 611.5	45.0	60.0	0.298
15:00~16:00	1 196	3 599	47.5	63.3	0.381
16:00~17:00	893	3 608.2	43.7	58.2	0.437
17:00~18:00	782	3 612.3	46.4	61.9	0.470
18:00~19:00	1 074	3 603.4	40.7	54.3	0.537
19:00~20:00	1 206	3 602.1	47.8	63.8	0.184
20:00~21:00	796	3 638.3	39.0	52.0	0.716

表 4 各时间段的指标数据(初始配置设备数量较大)

Tab. 4 Simulation data in each time period (larger initial allocation scheme)

旅客量/人	N^P	N^B	开放总时间/s	柜台利用率/%	AMR 利用率/%	平均等待时间/min	增加次数/次	减少次数/次
378	14	7	3 600.9	45.1	60.1	0.978	0	0
716	24	12	3 601.5	46.5	62.0	1.242	1	0
1 189	40	20	3 605.0	49.2	65.6	1.153	1	0
1 488	50	25	3 625.4	48.3	64.3	1.244	1	0
1 198	40	20	3 599.0	50.1	66.4	1.167	1	0
955	34	17	3 619.0	46.6	62.2	1.453	0	0
940	34	17	3 601.6	43.1	58.1	0.905	0	0
939	34	17	3 601.0	42.9	57.9	0.903	0	0
867	28	14	3 611.5	53.0	70.7	1.328	0	0
1 196	40	20	3 599.0	49.3	65.7	1.156	1	0
893	28	14	3 608.2	53.0	70.7	1.328	0	0
782	26	13	3 612.3	50.0	66.7	0.873	0	0
1 074	38	19	3 603.4	46.2	61.6	1.466	1	1
1 206	40	20	3 602.1	50.3	67.0	1.175	1	0
796	26	13	3 638.3	39.0	52.0	0.716	0	0

当选择不同的初始配置方案时,对系统的设备利用率和旅客等待时间都有不同程度的影响. 从表

4 计算得到当初始配置设备数量较大时,整个系统的设备利用率为 47.5%和 63.4%,旅客排队等待时间稳定在 1 min;从表 5 可知当初始配置设备数量较小时,设备利用率为 50.7%和 67.5%,旅客平均排队等待时间为 1.5 min.

表 5 各时间段的指标数据(初始配置设备数量较小)

Tab. 5 Simulation data in each time period (smaller initial allocation scheme)

旅客量/人	N^P	N^B	开放总时间/s	柜台利用率/%	AMR 利用率/%	平均等待时间/min	增加次数/次	减少次数/次
378	12	6	3 600.9	51.4	68.5	1.914	1	0
716	24	12	3 601.5	46.5	62.0	1.242	1	0
1 189	38	16	3 605	51.8	69.0	1.638	1	0
1 488	48	24	3 625.4	50.2	66.9	1.566	1	0
1 198	38	16	3 599	51.8	69.0	1.638	1	0
955	34	17	3 619	46.6	62.2	1.453	0	0
940	34	17	3 601.6	46.6	62.2	1.453	0	0
939	34	17	3 601	46.6	62.2	1.453	0	0
867	26	13	3 611.5	55.4	73.8	1.675	2	0
1 196	38	19	3 599	51.8	69.0	1.638	1	0
893	26	13	3 608.2	55.4	73.8	1.675	2	0
782	24	12	3 612.3	54.2	72.3	1.542	0	0
1 074	38	19	3 603.4	46.2	61.6	1.466	1	1
1 206	38	16	3 602.1	51.8	69.0	1.638	1	0
796	24	12	3 638.3	54.2	72.3	1.542	0	0

4.5 结果对比分析

尽管本文使用的值机托运系统与大多数学者研究的不同,但是机场此类系统的评价方式相似,比如机场看重设备利用率,旅客看重排队等待时间. 对比文献[7]对桃园机场的传统值机方式建模和应用研究结果,本文所建立静态资源配置模型得到的配置方案,在柜台利用率上比桃园机场整体值机系统利用率(0.438 vs. 0.189)提高了 132%,同时平均排队等待时间(0.488 min vs. 1.3 min)降低了 62.4%. 因此,该模型满足文献[11]提出机场全面引入自助技术将旅客平均排队等待时间降低 62%的假设.

动态调整策略仿真得到当初始配置设备数量较大时,整个系统的设备利用率较静态配置的设备利用率(0.438 vs. 0.475 和 0.584 vs. 0.634)提升 8.5%,旅客排队等待时间稳定在 1 分钟;当初始配置设备数量较小时,设备利用率(0.438 vs. 0.507

和 0.584 vs. 0.675)提升 15.7%,旅客平均排队等待时间稳定在 1.5 min. 与文献[8]提出的模型相比,其自助值机岛平均设备利用率为 38.4%,而本文所建模型和策略将设备利用率稳定在 50%左右.

以旅客量 N_t 为 1 074 为例如图 4(a),相同的初始配置方案,相比静态配置,动态调整分别提高

了系统设备利用率 1.72%和 2.03%,且旅客排队等待时间保持在 1 分钟以内. 这对于机场来说仅仅引入一个调整策略就能在不影响旅客的排队等待时间满意度的前提下,提高设备利用率. 从图 4(b)可以看到当初始配置方案配置的设备数量越少时,设备利用率越高,但同时旅客排队等待时间也会增加.

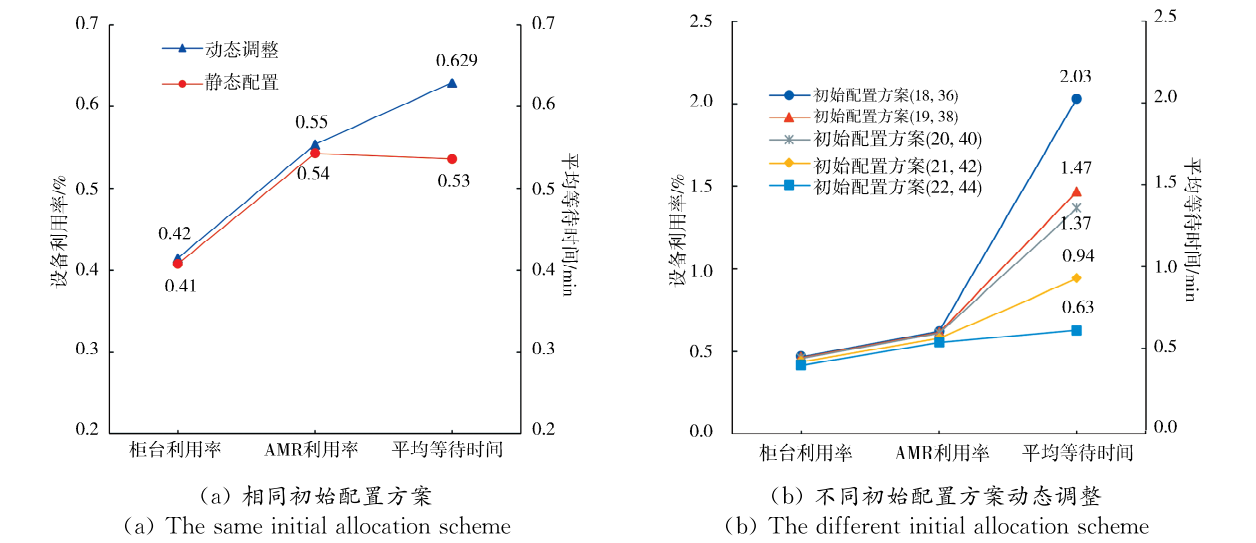


图 4 静态配置和动态调整各指标对比($N_t=1\ 074$)
Fig. 4 Comparison of static allocation and dynamic adjustment

由于旅客的实际到达是不稳定的,因此有必要进行设备数量的调整. 图 5 为不同初始配置方案的设备数量的变化情况,可以看到当初始配置方案配置的设备数量越少时,动态调整策略增加设备的次数越多,该旅客量下单位小时内最多调整了 3 次.

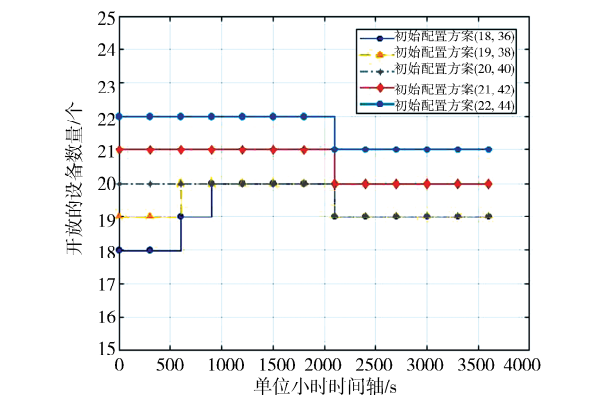


图 5 不同初始配置方案动态调整次数对比($N_t=1\ 074$)
Fig. 5 Comparison of the adjustment times for different initial allocation scheme

5 结 论

本文提出了一种整数规划模型和动态调整策略相结合的方式,来优化共享自助值机托运一体化

系统的资源配置问题,其中建立的整数规划模型,能够解决静态资源的最优配置问题,保证持续的服务水平贴近旅客的实际需求. 考虑到静态资源配置方案存在资源浪费的情况,在其基础上,加上动态调整策略,提高设备利用率. 通过对实际客流量的离散事件模拟,仿真计算结果表明:(1) 与传统值机系统相比,共享自助值机托运服务技术可大大降低旅客排队等待时间和提高值机柜台利用率;(2) 引入动态调整策略能稳定旅客排队等待时间的同时提高设备利用率. 因此,该规划模型和动态调整策略能够为未来机场应用 AMR 到机场行李处理系统提供重要参考和优化技术.

参考文献:

[1] Wittmer A. Acceptance of self-service check-in at Zurich airport [J]. Res Trans Bus Manag, 2011, 1: 136.

[2] Dong F. SITA: futureairport self-service vision [R/OL]. [2020-09-03]. <http://news.carnoc.com/list/458/458279>.

[3] Park Y, Ahn S B. Optimal assignment for check-in counters based on passenger arrival behaviour at an

airport [J]. Trans Plann Tech, 2003, 26: 397.

[4] Van Dijk N M, Van Der Sluis E. Check-in computation and optimization by simulation and ip in combination[J]. Eur J Oper Res, 2006, 171: 1152.

[5] Giuseppe B, Antonio D, Andrea G, *et al.* A decision support system to improve performances of airport check-in services [J]. Soft Comput, 2018, 23: 2877.

[6] Adacher L, Flamini M. Check-in counters management: The case study of lisbon airport [C]// Prague, CZECH Republic; ICINCO, 2019.

[7] Hsu C I, Chao C C, Shih K Y. Dynamic allocation of check-in facilities and dynamic assignment of passengers at air terminals [J]. Comput Ind Eng, 2012, 63: 410.

[8] 田超. 机场值机资源动态配置研究——以首都机场 T2 为例[J]. 价值工程, 2016, 35: 148.

[9] 杨扬. 人工值机柜台动态分配策略研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2017.

[10] Castillo-Manzano J I, López-Valpuesta L. Check-in services and passenger behaviour: Self service technologies in airport systems[J]. Comput Hum Behav, 2013, 29: 2431.

[11] Cláudio M C E. Automated airport check-in: developing an agent-based model [D]. ULisboa: Universidade de Lisboa, 2018.

[12] 黄玉. 基于服务水平约束的值机柜台动态分配[J]. 中国民航飞行学院学报, 2017, 28: 48.

[13] SITA. Passenger IT Insights 2019[R/OL]. [2020-09-01]. <http://www.sata.aero/resources/type/surveys-reports/passenger-itinsights-2019>.

[8] 田超. 机场值机资源动态配置研究——以首都机场

引用本文格式:

中 文: 刘英, 向勇, 杨秀清, 等. 机场共享自助值机托运服务资源配置研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2021, 58: 053001.

英 文: Liu Y, Xiang Y, Yang X Q, *et al.* Research on resource allocation model and strategy of airport shared self-service check-in and baggage check system [J]. J Sichuan Univ: Nat Sci Ed, 2021, 58: 053001.