

基于粒子群算法的汽车租赁短期车辆配置问题研究

罗利, 张晶晶

(四川大学 工商管理学院服务管理研究所, 四川 成都 610064)

摘要:合理的车辆配置与调度是租车公司运营管理考虑的主要问题之一,也是提高租车公司的租车率和收益的有效途径。针对目前我国租车公司普遍缺乏历史数据、预定提前期短、租期短、门店间距离短等主要运营特点,本文将租车公司运营中频繁而复杂的短期车辆配置问题作为研究对象,提出单日的车辆配置方法,构建随机期望模型,并采用合理的方法分解模型,选择粒子群算法对子模型进行求解,并用数值算例验证了该方法的可行性与效果。该方法能够帮助租车公司管理者做出正确的决策,在提升顾客满意度的同时,提高租车率和租车公司的收益。

关键词:运筹学;能力规划;粒子群算法;汽车租赁短期车辆配置

中图分类号:C931.1

文章标识码:A

文章编号:1007-3221(2011)05-0113-09

The Research of Short-term Fleet Deployment Problem for the Car Rental Industry Based on the Particle Swarm Optimization Algorithm

LUO Li, ZHANG Jing-jing

(Service Management Institute, Business School, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: How to allocate and schedule vehicles rationally is one of the main considerations for the operations management of car rental companies. Rational allocation and scheduling is also the effective way that can increase the car rental rates and profits. In this paper, with a view to the current key operation features of domestic car rental companies, for instance, lack of historical data, short lead time for booking, short rental term, and short distance between the stores, we consider the frequent and complicated short-term fleet deployment problem. We present the formulation of a random expectation model for single-day deployment problem, use a reasonable method for model decomposition, select the particle swarm algorithm to solve the sub-models, and demonstrate the feasibility and effectiveness of this approach by a numerical example. This approach can help the managers of car rental companies make the right decisions, improve customer satisfaction, and in the same time, increase rental rates and profits.

Key words: operations research; capacity planning; particle swarm optimization; short-term fleet deployment in car rental industry

0 引言

中国汽车租赁行业正进入一个高速发展的阶段,具有无比光明的发展前景。但随着租车公司营业网点的增多,车辆规模的增大,过去基于经验和简单平均统计量的管理办法难以支持网络化经营的复杂决

收稿日期:2010-04-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70771068, 70440007)

作者简介:罗利(1968-),女,四川宜宾人,教授,博士生导师,研究方向:服务管理及收益管理;张晶晶(1983-),女,新疆阿拉尔人,硕士研究生,研究方向:服务管理及收益管理。

策,管理者无法做出详细准确的每日车辆配置计划,导致条块分割、各门店独立经营的局面,整体租车率和收益较低,严重阻碍了我国汽车租赁业的正常运营和健康发展。

汽车租赁短期车辆配置是指通过门店间的车辆运输调度、车型间的升级替代,平衡各门店的各种车型车辆在短期内的供给与需求。门店间合理的车辆配置是提高租车率和收益的有效途径。租车公司的运营主管每天要考虑的两个主要问题:(1)应给各门店的每种车型分配多少车辆才能满足该店的随机需求,从而使公司获得最大的收益?(2)如何在门店间进行车辆的调度与车型的升级,才能在调度、升级成本最小的条件下使各门店的车辆数达到最优配置?当运营数据充分时,分公司经理能够根据预订单并参考历史数据,对未来的租车需求和供给进行预测,从而做出车辆配置计划。但是,由于我国租车业发展较晚,网络化经营更处于起步时期,租车公司的运营特点主要表现为:(1)历史数据不足,难以支持同期需求预测;(2)预订提前期短,无法根据预订单对未来一段时间的需求进行预测;(3)租期短;(4)分公司内门店间距离短,车辆运输时间短且运输成本低。运营主管可在每天运营结束后获得各门店、各车型的在库车辆数,并预测下一天各门店、各车型需求数量的分布情况,即能够得到的信息仅有下一天的需求预测值和车辆供给情况,因而只能根据一天的信息做出单日决策,需要考虑的条件包括高等级车车型对低等级车型的可替代性,即车型升级;门店间可进行车辆运输调度,假设调度成本较低,远小于出租收益与升级成本;假设租期因素可忽略,对问题进行简化。计划目标为确定下一天应该给每个门店分配多少车辆,以及如何在门店间进行车辆的调度和升级,从而使单日收益最大化。

在国外,关于租车业车辆配置问题的研究主要集中于对运营系统的描述。Carroll 与 Grimes^[1]为 Hertz 公司设计了一套运营管理系统,提供车辆规模与配置等方面的战略与战术计划制订功能。该系统从子系统中采集数据信息,制订中期和长期调度计划,从而支持决策。Edelstein 与 Myron^[2]以解释变量关系、评估方案效果为目的设计了一套分公司控制系统,系统能够显示出分公司当前配置的车辆数、接受的预定数量等信息,但该系统仅能反映现实情况,而不能根据现有数据做出优化决策。Ernst et al.^[3]为新西兰的一家旅游租车公司设计的系统则主要针对其长租、异地还车和需求确定的运营特点开发相应的车辆配置与调度系统。Geraghty 与 Johnson^[5]为 National Car Rental 设计的收益管理系统则主要关注存量控制、定价与超售决策的制定。在车辆配置问题优化模型方面,Pachon et al.^[7-8]构建了期望模型求解战术计划 TFP (Tactical Fleet Planning),通过将模型分解为车辆分配 FDP (Fleet Deployment sub-problem) 与调度 TP (Transportation sub-problem) 两个相关的子问题对模型进行求解。但该模型没有考虑车型间相互替代的情况,存在改进的空间。Fink 与 Reiners^[4]将 TFP 构建为时空网络流模型,通过供需的预测,做出未来一周的配置与调度计划,且在每日末对计划进行更新。由于将需求作为确定的输入变量,该模型的有效性依赖于需求预测的准确性。其次,模型虽然允许车辆升级,但被升级车辆在计划期内无法还原成原车型,致使模型的应用存在一定局限性。卡车租赁业与汽车租赁业具有很大的相似性,都需要确定各门店、车型的最优配置数量和调度方案。Wu et al.^[9]考虑车辆购买与出售决策,以购买、运输、存储、维护等总运营成本最小为目标,构建了一个卡车租赁 TFP 的网络流模型,并运用 Benders 分解与拉格朗日松弛算法对模型进行求解。Yang et al.^[10]回顾了近年来研究车辆配置规划问题的相关文献。国内学者对汽车租赁业的研究则主要集中在战略、盈利模式等定性领域,而对战术计划制定的定量分析涉及很少。陈旭^[11]利用收益管理思想研究汽车出租定价和车辆配置问题,但模型未考虑租期因素,与实际情况有一定差距。肖文莉,周蓉,王昊^[12]描述了租车业收益管理的特点,展望了收益管理在租车业应用的前景。本文针对我国当前租车公司缺乏历史数据、预定提前期短、租期短、门店间距离短等主要运营特点,在 Pachon et al.^[7]研究基础上,建立考虑车型升级问题的战术计划 TFP,并采用合理的方法分解模型,选择粒子群算法对子模型进行求解,数值算例的结果验证了该方法的可行性与效果。

1 模型构建

本节将根据 Pachon et al.^[7]的研究,构建单日的车辆配置模型 TFP。但是,与 Pachon et al.^[7]模型不同的是,我们的模型考虑了车型升级问题。模型中符号说明如下。

基本参数为:

L : 门店集合 $i=1, 2, \dots, L$;

K : 车型集合 $k=1, 2, \dots, K$ $k=1$ 表示最高等级车辆;

P_{ik} : 第 i 个门店、第 k 种车型的日租收益 $P_{i1} > P_{i2} > \dots > P_{ik}$ $i \in L$ $k \in K$;

V_{ik} : 第 i 个门店、第 k 种车型第二天的可用车辆数, 包括当天晚上在库的车辆数以及预计第二天上午将归还的车辆数 $i \in L$ $k \in K$;

C_{ijk} : 将第 k 种车型的车辆从门店 i 运至门店 j 的单位运输成本 $i, j \in L$ $k \in K$;

$U_{kk'}$: 用 k' 车型满足 k 车型需求的升级成本 $k, k' \in K$ $k' \leq k$;

I_{ik} : 第 k 种车型的车辆在第 i 个门店闲置一天的存储与折旧费用 $i \in L$ $k \in K$;

ξ_{ik} : 代表第二天、第 i 个门店、第 k 种车型需求数量的连续随机变量, 其概率密度函数记为 $f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik})$, 累积分布函数记为 $F_{\xi_{ik}}(\xi_{ik})$ $i \in L$ $k \in K$;

决策变量如下:

X_{ik} : 分配给第 i 个门店、第 k 种车型的车辆数量 $i \in L$ $k \in K$;

$Y_{ijkk'}$: 从 i 门店运送 k' 车型的车辆至 j 门店满足 k 车型需求的数量 $i, j \in L$ $k, k' \in K$ $k' \leq k$ 。

由于需求以随机变量的形式进入目标函数, 单日的车辆配置与调度问题可以用如下的期望规划模型来表述(简称 TFP 模型)。

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K \left\{ \int_0^{X_{ik}} [P_{ik}\xi_{ik} - I_{ik}(X_{ik} - \xi_{ik})] f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik}) d(\xi_{ik}) + \int_{X_{ik}}^{\infty} P_{ik}X_{ik} f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik}) d(\xi_{ik}) \right\} - \\ & \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^k \sum_{i,j \in L} C_{ijk'} Y_{ijkk'} - \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^k \sum_{i,j \in L} U_{kk'} Y_{ijkk'} \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{j=1}^L \sum_{k'=k}^K Y_{ijkk'} = V_{ik}, \forall i \in L, k \in K \quad (1) \\ & \sum_{i=1}^L \sum_{k'=1}^K Y_{ijkk'} = X_{jk}, \forall j \in L, k \in K \quad (2) \\ & \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K X_{ik} = \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K V_{ik} \quad (3) \\ & X_{ik}, Y_{ijkk'} \geq 0, \forall i, j \in L, k \in K \quad (4) \end{aligned}$$

目标函数表示租车公司一天的总收益, 是所有门店、各车型一天内的期望收益之和与调度成本、升级成本之差。约束(1)表示从每个门店运出的型车的总量等于该门店 k 型车的可用车辆数, 运出量包括本门店留存, 以及调度、升级到其他门店和车型的全部数量。约束(2)表示各门店运入的 k 型车总量等于其最优配置数量。约束(3)表示分配的车辆数等于总车辆数。

该模型与标准的期望值模型相比形式较为简单, 是在确定性约束条件下使目标函数期望值达到最优。但租车业的具体问题规模较大, 须寻找有效的算法进行求解。由于运输成本远小于日租收益和升级成本, 我们可以将 TFP 模型分解为: 车型间的配置与升级子模型(FDUP, fleet deployment and upgrade plan)与门店间的车辆配置与调度子模型(FDTP, fleet deployment and transportation plan)。通过 FDUP 子模型得到各车型应分配的车辆数, 以及各车型间的升级方案; FDTP 子模型则在各车型总量确定的前提下, 将每个车型的车辆分配给门店, 并确定各门店间的调度方案。

2 车型间的车辆分配与升级子模型

2.1 FDUP 子模型描述

该子模型将分散在各门店的不同车型车辆视为整体, 暂不考虑门店因素。对模型中使用的不同符号作如下定义。

参数为: P_k : 第 k 种车型的日租收益 $P_1 > P_2 > \dots > P_K$; V_k : 第 k 种车型第二天的可用车辆数; $U_{kk'}$: 用车型 k' 满足 k 车型需求的升级成本 $k, k' \in K$ $k' \leq k$; I_k : 第 k 种车型的车辆闲置一天的存储与折旧费用; ξ_k : 代表分公司内第二天、第 k 种车型需求数量的连续随机变量, 概率密度函数记为 $f_{\xi_k}(\xi_k)$, 累积分布函数记为

$F_{\xi_k}(\xi_k)$; 假设各门店相同车型的需求数量相互独立, 在已知各门店需求概率密度函数的条件下, 一个车型的需求数量的密度函数 $f_{\xi_k}(\xi_k)$ 可以通过卷积公式求得。

决策变量: X_k : 分配给第 k 种车型的总车辆数; $Y_{kk'}$: 用 k' 车型的车辆满足 k 车型需求的数量, $k, k' \in K, k' \leq k$ 。

FDUP 子模型如下

$$\max \sum_{k=1}^K \left\{ \int_0^{X_k} [P_k \xi_k - I_k(X_k - \xi_k)] f_{\xi_k}(\xi_k) d(\xi_k) + \int_{X_k}^{\infty} P_k X_k f_{\xi_k}(\xi_k) d(\xi_k) \right\} - \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^k U_{kk'} Y_{kk'} \quad (5)$$

$$\text{s. t. } \sum_{k'=k}^K Y_{kk'} = V_k, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{k'=1}^K Y_{kk'} = X_k, \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K X_k = \sum_{k=1}^K V_k \quad (8)$$

$$X_k, Y_{kk'} \geq 0, \forall k, k' \in K$$

模型以日出租期望收益与升级成本之差最大化为目标。约束(5)表示用于升级的 k 型车总量等于 k 型车的可用车辆数。约束(6)表示升级到 k 型车的总量等于其最优配置数量。约束(7)将分配总量限制为分公司的总可用车辆数。

2.2 子模型求解

FDUP 子模型仍是一个随机期望规划模型, 但维度明显降低。求解随机期望值模型的主要方法是利用随机仿真与智能算法相结合来进行, 其中以遗传算法(Genetic Algorithm, GA)最为成功。但遗传操作中的选择、交叉、变异过程复杂, 不易掌握, 而且其收敛速度缓慢、精度低。本文选择粒子群算法对模型进行求解。粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)是由 Eberhart 与 Kennedy 于 1995 年提出的一种新的智能技术^[6], 它与 GA 类似, 采用基于种群的并行全局搜索策略, 仅采用简单的速度—位置模型实现对整个空间的寻优操作。该算法只需调整很少的参数, 具有简单、易于实现、收敛速度快、精度高等优点。

利用 PSO 算法求解随机期望值模型算法具体步骤如下:

(1) 在 K 维问题空间上对微粒群进行初始化。 K 代表车型数量, 设定群体规模为 popsize。随机生成决策向量 X 的可行解, 规则如下:

① 计算各车型在升级策略下的最大可用车辆数 $sk(k)$

$$sk(k) = \sum_{i=1}^k V_i, \forall k \in K$$

② 逐一生成 X 的 1 至 K 维随机数, 每一维随机数符合下列条件

$$0 \leq X_1 \leq sk(1)$$

$$0 \leq X_k \leq sk(k) - \sum_{i=1}^{k-1} X_i, \forall k = 2, \dots, K-1$$

$$0 \leq X_K \leq sk(K) - sk(K-1), \forall k = K$$

③ 重复该过程 popsize 次, 从而得到 popsize 个初始可行的微粒: $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik})$, $i = 1, \dots, \text{popsize}$ 。

④ 对速度等进行初始化。

对于惯性因子 ω , 研究表明, 较大的 ω 趋向于全局搜索, 较小的 ω 趋向于局部搜索。本文采用的是随时间递减的 ω 以获得较好的全局寻优能力

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{n \cdot (\omega_{\max} - \omega_{\min})}{N}$$

其中 n 为当前迭代次数, N 为总迭代次数, $\omega_{\max} = 0.9$, $\omega_{\min} = 0.1$ 。

加速因子 C_1, C_2 本文取 $C_1 = C_2 = 2$ 。

对于速度, 本文对其进行最大限制: 如果当前对微粒的加速将导致它的某维的速度分量 V_{id} 超过该维的最大速度限额 V_{\max} , 则该维的速度被限制为 V_{\max} , 它决定了微粒在解空间的搜索精度, 如果 V_{\max} 过大, 粒

子容易飞过最优解,反之,粒子容易陷入局部搜索空间而无法进行全局搜索,若问题的搜索空间限制在 $[-X_{\max}, X_{\max}]$ 内,则可设定 $V_{\max} = kX_{\max}$, $0 \leq k \leq 1$, 本文取 $k = 0.4$ 。即

$$\begin{cases} V_{id} = V_{\max}, & \forall V_{id} > V_{\max} \\ V_{id} = -V_{\max}, & \forall V_{id} < -V_{\max} \end{cases}$$

(2) 计算每个微粒的适应值

①对于每一个 X_i 求解 $Y_{kk'}$, 得到 $\sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^K U_{kk'} Y_{kk'}$ 的最小值;

② 计算 $\sum_{k=1}^K \left\{ \int_0^{\infty} [P_k \xi_k - I_k(X_k - \xi_k)] f_{\xi_k}(\xi_k) d(\xi_k) + \int_{\infty}^{\infty} P_k X_k f_{\xi_k}(\xi_k) d(\xi_k) \right\} - \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^K U_{kk'} Y_{kk'}$ 作为微粒适应值;

(3) 对每个微粒, 将其适应值与所经历的最好位置的适应值进行比较, 若较好则将其作为当前最好位置;

(4) 对每个微粒, 将其最好适应值与全局所经历的最好适应值进行比较, 若较好则将其作为当前的全局最好位置;

(5) 根据进化方程(i)、(ii)进化;

$$v_{id}^{k+1} = \omega v_{id}^k + c_1 \text{rand}_1(p_{id} - x_{id}^k) + c_2 \text{rand}_2(p_{gd} - x_{id}^k) \quad (\text{i})$$

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (\text{ii})$$

在式(i)、(ii)中 $i = 1, 2, \dots, M$, M 是该群体中粒子的总数;

v_{id}^k : 第 k 次迭代粒子 i 飞行速度矢量的第 d 维分量;

x_{id}^k : 第 k 次迭代粒子 i 位置矢量的第 d 维分量;

p_{id} : 粒子 i 个体最好位置 $pbest_i$ 的第 d 维分量;

p_{gd} : 群体最好位置 $gbest$ 的第 d 维分量;

ω : 惯性权重, 它使微粒保持运动的惯性, 使其有能力探索新的区域;

c_1, c_2 : 为正的加速度常数, 通常取值为 2, 它们使每个微粒向 $pbest$ 和 $gbest$ 位置加速运动, 分别起到了协调“勘探”和“开发”解的作用;

rand: 随机函数, 产生 $[0, 1]$ 的随机数, 它们用来模拟自然界中群体行为的轻微扰动。

(6) 判断更新后的粒子是否符合步骤(1)中的粒子生成规则, 若可行, 则更新, 否则返回步骤(5)重新生成粒子, 如更新次数达到一定循环限制次数仍不符合粒子生成规则, 该粒子不进行更新, 本文取最大循环次数为 5 次;

(7) 重复步骤(2)到(6), 至一个预设的最大迭代次数或一个足够好的适应度, 本文选择最大迭代次数为 500 次;

(8) 输出最好的微粒及对应的适应度作为最优解及对应的最优值。

3 门店间的车辆分配与调度子模型

3.1 FDTP 子模型描述

在求解 FDUP 得到各车型的最优分配数量后, 需进一步确定对于每个车型的车辆是如何在门店间进行分配和调度的。此时, 模型可表述如下。

参数: X_k : 分配给第 k 种车型的总车辆数; $Y_{kk'}$: 用 k' 车型的车辆满足 k 车型需求的数量 $k, k' \in K, k' \leq k$ 。决策变量: Z_{ik} : 分配给第 i 个门店、第 k 种车型的车辆数量; T_{ijk} : 从 i 门店运送 k 车型的车辆至 j 门店满足 k 车型需求的数量 $k, k' \in K, k' \leq k$ 。

FDTP 子模型:

$$\max \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K \left\{ \int_0^{Z_{ik}} [P_{ik} \xi_{ik} - I_{ik}(Z_{ik} - \xi_{ik})] f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik}) d(\xi_{ik}) + \int_{Z_{ik}}^{\infty} P_{ik} Z_{ik} f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik}) d(\xi_{ik}) \right\} - \sum_{k=1}^K \sum_{\substack{k'=1 \\ j \in L}}^k C_{ijk} T_{ijk}$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^L Z_{ik} = X_k, \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^L \sum_{k'=1}^K T_{ijkk'} = Z_{jk}, \forall j \in L, k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^L \sum_{k'=k}^K T_{ijkk'} = V_{ik}, \forall i \in L, k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{i \in L} \sum_{j \in L} T_{ijkk'} = Y_{kk'}, \forall k, k' \in K \quad (12)$$

$$Z_{ik}, T_{ijkk'} \geq 0, \forall i, j \in L, k \in K \quad (13)$$

模型以各车型车辆的日租期望收益与车辆调度成本之差最大化为目标,约束(9)表示分配给所有门店用于满足 k 型车需求的车辆总数等于 FDUP 子模型计算得到的 k 型车最优分配数量;约束(10)表示各门店运入的用于满足 k 型车需求的总车辆数等于各门店的最优分配数量;约束(11)表示从各门店调出的 k 型车总数等于该门店 k 型车的可用数量;约束(12)表示用于满足 k 型车需求的各等级车型升级车辆数等于 FDUP 子模型计算得到的最优升级数量。

3.2 FDTP 子模型求解

3.2.1 FDTP 子模型的分解

FDTP 是一个含随机变量的高维规划模型。由于调度成本远小于租赁收益,因而我们可以借鉴 Pachon et al.^[7] 在解决单车型的 TFP 问题时所采用的两阶段算法,对模型进行求解。Pachon et al.^[7] 将 TFP 分解为车辆分配 FD (fleet deployment sub-problem) 与调度 TP (transportation sub-problem) 两个相关的子问题。但由于车型间升级现象的存在,对 FDTP 子模型进行求解时,我们不能完全采用分车型的两阶段算法对每个车型分别计算调度数量。在此,我们将 FDTP 子模型分解为针对单车型的分配问题,以及一个综合考虑各车型的调度问题。对于每一个 k 车型,都有如下的 FD 模型。

$$\begin{aligned} (\text{FD}) \max \quad & \sum_{i=1}^L \left\{ \int_0^{Z_k} [P_k \xi_{ik} - I_k(Z_{ik} - \xi_{ik})] f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik}) d(\xi_{ik}) + \int_{Z_k}^{\infty} P_k Z_{ik} f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik}) d(\xi_{ik}) \right\} \\ \text{s. t. } \quad & \sum_{i=1}^L Z_{ik} = X_k \\ & Z_{ik} \geq 0, \forall i \in K \end{aligned} \quad (14)$$

$$Z_{ik} \geq 0, \forall i \in K \quad (15)$$

求解 FD 模型可以得到各门店每种车型的最优分配数量 Z_{ik} ,将所有门店的分配结果代入下一阶段的综合运输模型,最终得到各车型在各门店间的调度方案,总调度模型 TP 如下。

$$\begin{aligned} (\text{TP}) \min \quad & \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^k \sum_{j \in L} C_{ijkk'} T_{ijkk'} \\ \text{s. t. } \quad & \sum_{i=1}^L \sum_{k'=1}^k T_{ijkk'} = Z_{jk}, \forall j \in L, k \in K \end{aligned} \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^L \sum_{k'=k}^K T_{ijkk'} = Z_{ik}, \forall i \in L, k \in K \quad (17)$$

$$\sum_{i \in L} \sum_{j \in L} T_{ijkk'} = Y_{kk'}, \forall k, k' \in K \quad (18)$$

$$Z_{ik}, T_{ijkk'} \geq 0, \forall i, j \in L, k \in K \quad (19)$$

3.2.2 FDTP 子模型的求解

TP 模型是一个产销平衡的运输模型,因而可以利用传统的线性规划方法求解得到最优值。FD 分配子模型同样采用 PSO 算法进行求解,运算步骤与 FDUP 子模型基本相同,在此,仅对粒子初始化等不同部分进行描述,具体步骤描述如下:

(1) 在 L 维问题空间上对微粒群进行初始化。 L 代表门店数量,设定群体规模为 popsize。随机生成决策向量 Z 的可行解,规则如下:

①逐一生成粒子 Z 在 1 至 L 维上的随机数,其中

$$0 \leq Z_1 \leq X, 0 \leq Z_i \leq X - \sum_{j=1}^{i-1} Z_j, \forall i = 2, \dots, L$$

②重复该过程 popsize 次 ,从而得到 popsize 个初始可行的微粒: $Z_i = (Z_{i1} , Z_{i2} , \cdots , Z_{iL}) , i = 1 , \cdots , \text{popsize}$ 。然后对速度等进行初始化;

(2) 计算每个微粒的适应度函数
$$\sum_{i=1}^L \left\{ \int_0^Z [P_i \xi_i - I(Z_i - \xi_i)] f_{\xi_i} (\xi_i) d (\xi_i) + \int_Z^{\infty} P Z_i f_{\xi_i} (\xi_i) d (\xi_i) \right\}$$

(3) 至 (8) 都与 FDUP 子模型的求解步骤相同。

4 数值算例

本节将参照某公司历史运营情况进行数据假设 ,对上面模型的具体运用进行分析。以一个具有 3 个门店、3 种车型的分公司为例。该分公司具有 1、2、3 高、中、低档三种车型的 车辆 ,车辆的日租收益、闲置成本及升级成本等信息见表 1。

表 1 各车型日租收益、闲置成本及升级成本表(单位:元/日)

项 目 \ 车 型	1	2	3
日租收益	528	448	278
闲置成本	170	140	90
升级成本	(0 , - , -)	(80 0 , -)	(240 , 170 0)

表 1 中升级成本“-”表示高等级不能升为低等级。另外 ,车型间的升级成本是一个机会成本 ,指高等级车辆当前不用于升级并在以后出租比当前用于升级所能增加的收益。因此 ,升级成本的大小取决于该车型在以后被出租的概率。由于缺少对未来需求的预测数据 ,为避免过度升级造成损失 ,在此采用保守策略给升级成本设定一个较大的系数。假设被升级车辆以后以原等级被出租的概率为 100% ,各车型间的升级成本设定为车型间日租收益的差值。为避免车型嵌套升级 ,将隔一个车型升级时的升级成本设定为略小于收益差值 ,例如使 1、3 车型间的升级成本设定得略小于 1、2 与 2、3 升级成本之和 ,即 $U_{31} < U_{21} + U_{32}$ 。

分公司具有三个门店 ,门店间的基础运输费用见表 2。不同车型车辆的运输费用需在基础运费的基础上乘以相应的系数 ,1、2、3 车型的运费系数分别为 1.5、1.2、1。

表 2 门店间的基础运输费用表(单位:元)

调 出 \ 调 入	A	B	C
A	0	20	40
B	20	0	50
C	40	50	0

一天运营结束时 ,运营主管获得各门店对第二天的车辆供给信息 ,见表 3。

表 3 各车型可用数量表(单位:辆)

车 型 \ 门 店	A	B	C	合计
1	9	5	6	20
2	22	14	4	40
3	29	34	37	100

假设各门店的需求独立同分布 ,均服从正态分布。由卷积公式 ,可计算得到各车型的总需求分布密度函数 ,见表 4。

表 4 各门店、车型需求分布预测表

车 型 \ 门 店	A	B	C	汇总
1	$N(4 , 1^2)$	$N(8 , 2^2)$	$N(2 , 1^2)$	$N(14 , 2.5^2)$
2	$N(19 , 2^2)$	$N(18 , 2^2)$	$N(7 , 1^2)$	$N(44 , 3^2)$
3	$N(35 , 2^2)$	$N(38 , 2^2)$	$N(16 , 1^2)$	$N(89 , 3^2)$

汇总以上信息后 ,即可开始制定单日的战术计划 ,步骤如下:

步骤一 将各车型的总需求分布密度函数(表4“汇总”栏)、总量(表3“合计”栏)作为参数输入FDUP子模型,采用PSO算法进行求解。本文利用MATLAB软件编程对模型进行求解,在计算时设定每代粒子数为20个,更新500代,最终解得各车型的最优分配数量和各车型间的相互替代总量如下表5所示。得到FDUP子模型一天的最优期望收益为49295元,其中扣除升级成本400元。

表5 各车型最优分配数量统计表(单位:辆)

车型	1	2	3
最优分配数量	15	45	10
替代量	(15 0 0)	(5 40 0)	(0 0 100)

绘制进化代数与适应度值关系曲线如下图1所示,可以看出算法约进化到20代时已经得到全局最优值。

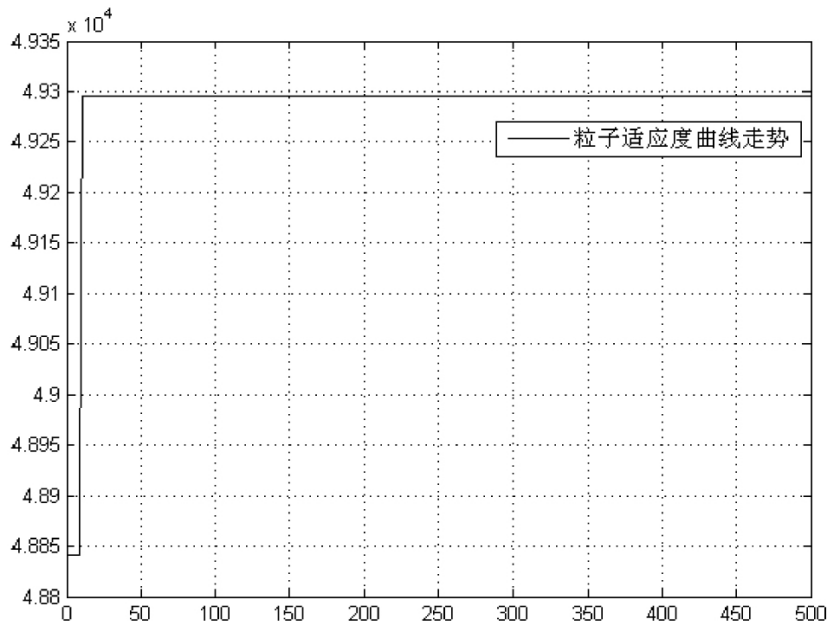


图1 粒子群进化代数与适应度值关系图

步骤二 将各门店、车型的需求分布密度函数(表4)、各车型最优分配数量(表5)作为参数输入FD子模型,分车型进行求解,得到各门店、各车型的最优分配数量如下表6所示。

表6 各门店各车型最优分配数量统计表(单位:辆)

车 型 \ 门 店		A	B	C	合计
1		4	9	2	15
2		20	18	7	45
3		40	42	18	100

步骤三 将各门店各车型最优分配数量(表6)、各车型升级总量(表5)作为参数输入TP子模型,求解线性规划。本文用LINGO 9.0对该模型进行求解,解得门店间的最优调度策略如下表7所示。其中主对角线上的数字表示本门店留存数量,括号中的数字表示升级数量,其余方格内的数字表示门店间的调度数量。例如A1A1格中的数字“4”表示门店A、车型1的留存数量为4辆;C1C2格中的数字“4”表示门店C用车型1满足车型2需求的总升级车辆数为4辆;C3A3格中的数字“11”表示门店C调度至门店A车型3的总量为11辆。得到总调度成本为1092元。

综上,制定并执行该战术计划,分公司一天的期望总收益为48203元。将不进行升级与调度作为执行方案1,将仅采取升级策略而不进行调度作为执行方案2,将同时升级与调度作为执行方案3,比较各方案的收益与成本如下表8所示。

表 7 门店间各车型调度方案(单位:辆)

调 出 \ 调 入		A			B			C		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
A	1	4	(1)	29	4	3				
	2		19							
	3									
B	1				5	14	34			
	2									
	3									
C	1			11		8		2	(4)	18
	2								3	
	3									

表 8 各方案收益、成本统计表(单位:元)

项 目 \ 方 案 号	方案 1	方案 2	方案 3
期望收益	40525	41780	48203
升级成本	0	400	400
调度成本	0	0	1092

由表 8 可见 ,方案 3 的收益比方案 1 增加了 18. 94% ,比方案 2 增加了 15. 37% ,方案 2 的收益比方案 1 增加了 3. 1% 。因而我们可以推断调度策略的质量将显著影响总收益的变化 ,且同时采用升级与调度策略将获得最佳收益。

5 结 论

本文针对我国租车业当前缺乏历史数据、预定提前期短、租期短、门店间距离短等运营特点 ,提出了单日的车辆配置方法 ,构建随机期望模型 ,并采用合理的方法分解模型 ,选择粒子群算法对子模型进行求解 ,最后用算例验证了该方法的可行性与效果。算例分析显示 ,与不采取任何措施相比 ,采用本文提出的方法收益值增加了近 19% ,能够有效提高租车公司的出租收益。

参考文献:

- [1] Carroll W J , Grimes R C. Evolutionary change in product management experiences in the car rental industry[J]. Interfaces , 1995 , 25(5) : 84-104.
- [2] Edelstein M , Myron M. The pool control system[J]. Interfaces , 1977 , 8(1) : 21-36.
- [3] Ernst A T , Horn M , Krishnamoorthy M. Static and dynamic order scheduling for recreational rental vehicle at tourism holdings limited[J]. Interfaces , 2007 , 37(4) : 334-341.
- [4] Fink A , Reiners T. Modeling and solving the short-term car rental logistics problem[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review , 2006 , 42(4) : 272-292.
- [5] Geraghty M K , Johnson E. Revenue management saves national car rental[J]. Interfaces , 1997 , 27(1) : 107-127.
- [6] Kennedy J , Eberhart R C. Particle swarm optimizaion [C]. //Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. Piscataway: IEEE Press , 1995 : 1 942-1 948.
- [7] Pachon J E , Iakovou E , Ip C , Aboudi R. A synthesis of tactical fleet planning models for the car rental industry[J]. IIE Transactions , 2003 , 35(9) : 907-916.
- [8] Pachon J E , Iakovou E , Ip C. Vehicle fleet planning in the car rental industry[J]. Journal of Revenue and Pricing Management , 2006 , 5(3) : 221-238.
- [9] Wu P L , Hartman J C , Wilson G R. An integrated model and solution approach for fleet sizing with heterogeneous assets[J]. Transportation Science , 2005 , 39(1) : 87-103.
- [10] Yang Y Z , Jin W Z , Hao X N. Car rental logistics problem: a review of literature[J]. IEEE , 2008(8) : 2815-2819.
- [11] 陈旭. 基于收益管理的汽车出租定价与车辆配置[J]. 系统工程理论方法应用 2005 6 , 14(3) : 264-267.
- [12] 肖文莉 , 周蓉 , 王昊. 租车行业收益管理研究现状及前景展望[J]. 物流科技 2007 4 (1) : 80-84.