DOI:10.14120/j.cnki.cn11-5057/f.2011.12.017

基于粒子群算法的短期汽车租赁服务的调度优化问题研究

刘德文[1]　鲁若愚[1]　张晶晶[2]
(1.电子科技大学经济与管理学院,成都 610054;
2.中国联通西藏分公司,拉萨 850000)

摘要：汽车租赁服务是一个服务分布网络化、客户需求不确定与汽车租赁服务短期供给不确定的行业,这就使得汽车租赁服务商会面临复杂的日常运营决策问题。混合了车辆升级的统一调度方法是降低供给与需求不确定的有效解决方案,可以提高汽车出租率和车辆利用率,满足客户需求,增加服务提供商的收入。本文正是基于此,提出了使用类子群算法求解的车辆分配、升级和调度优化的方案,算例表明这种方法可以有效提高汽车租赁服务的收入。

关键词：短期汽车租赁服务;车辆升级与调度优化;粒子群算法;随机规划

引　言

2007 年,国内已有 2000 多家汽车租赁企业,租赁车辆接近 10 万辆,营业额近 100 亿元[1]。各租赁服务公司为面对竞争而增加的网点使得日常决策难度增加。同时,在供给和需求受到时间、门店网络和车型等多种因素的影响下,如果分配给门店的车辆数少于需求,即供给不足,门店将拒绝部分顾客的租车需求,造成服务水平下降,客户满意度降低;若分配的车辆数大于需求,又会造成资源的浪费,或者导致其它门店的车辆不足。一般地,决策者既要保证有足够的车辆满足顾客需求,又要求每辆车保持较高的使用率,这就需要在互相冲突的目标间进行选择,通常门店间准确的车辆配置与调度计划是确保该目标实现的主要方法。Carroll 和Grimes[2]认为美国租车业的管理者难以做出详细准确的每日调度计划,无法有效利用网络资源,整体租车率和收益较低。他们为 Hertz 公司设计了可以提供车辆规模与配置等方面的战略与战术计划制订功能的中、长期运营管理系统。Julian 等[3]通过将汽车租赁车辆调度模型分解为车辆分配 FDP(Fleet Deployment subproblem)与调度 TP(Transportation subproblem)两个相关的子问题对模型进行求解,存在考虑车型间升级情况的模型改进空间。Peiling 等[4]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 分解与拉格朗日松驰算法对模型进行求解。Fink 与 Reiners[5]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。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。

汽车租赁服务需求的时间与空间波动特性,是车辆在不同门店间调度的主要原因;同时,由于汽车租赁服务主要由租期、取车门店、还车门店、取车时间、车型、价格等多个维度构成,使得汽车的租赁服务的需求呈

收稿日期：2009-06-24
基金项目：国家自然科学基金项目(70772068);重庆哲学社会科学规划项目(2008-JJ20)。
作者简介：刘德文,电子科技大学经济与管理学院,博士;鲁若愚,电子科技大学经济与管理学院教授,博士生导师,博士;张晶晶,中国联通西藏分公司分析师,硕士。

现多维度特征。正是由于允许顾客将车辆归还至不同的门店，致使各门店的总供给车辆数不断变化，容易造成供给与需求的不匹配。租赁企业为满足客户需求，一般都尽可能多地增加不同档次、不同品牌的运营车型。当客户预订了某一级别的车辆，门店在预定取车时间却无相应车辆供应时，就可以用门店具有的更高等级的车辆以原预定等级车辆的日租价格出租给客户，我们将这种情况定义为车辆升级。本文正是通过对现实情况进行建模而解决考虑车辆服务升级的调度优化问题。文章第二部分提出数学模型，第三部分对模型进行求解，第四部分做了算例分析，最后得出结论。

汽车短期租赁服务车辆计划模型

对于单日调度问题，决策者需通过制定门店间的升级与调度计划，确定下一天应给每个门店分配的各类车辆数，比较各门店的应配置数量与现有数量，确定各门店当晚或第二天上午应调度出去的车辆数和目的地，以便达到最优的车辆配置。以下是模型中的符号说明：

L：服务提供商的门店集合，l=1，2，…，L；

K：服务提供商的车型集合，L=1，2，…，K；

P_{ik}：第 i 个门店、第 k 种车型的日租收益，$P_{11}>P_{12}>\cdots>P_{1k}$；

V_{ik}：第 i 个门店、第 k 种车型第二天的可用车辆数，$i\in L$，$k\in K$，V_{ik} 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；

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、$k'\in K$，$k'\leqslant k$；

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 $f_{ik}(\xi_{il})$，累积分布函数记为 $F_{\xi_{ik}}(\xi_{il})$，其中 $i\in L$，$k\in K$；

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、$k'\in K$，$k'\leqslant k$。

因此，对于一个门店 i 而言，车型 k 一天的总收益 R_{ik} 可用下式表示：

$$R_{ik}=\begin{cases}P_{ik}\xi_{ik}-I_{ik}(X_{ik}-\xi_{il})，当\ X_{ik}\geqslant\xi_{ik}\\ P_{ik}X_{ik}，当\ X_{ik}<\xi_{ik}\end{cases} \tag{1}$$

则门店 i，车型 k 的期望收益 $E(R_{il})$ 可以表示为：

$$E(R_{il})=\int_0^{X_{ik}}[P_{ik}\xi_{ik}-I_{ik}(X_{ik}-\xi_{il})]f_{\xi_{ik}}(\xi_{il})d(\xi_{il})+\int_{X_{ik}}^{\infty}P_{ik}X_{ik}f_{\xi_{ik}}(\xi_{il})d(\xi_{il}) \tag{2}$$

对于汽车服务租赁的提供商来讲，其最佳收益的目标函数可以表示为：

$$Max\left(\sum_{i=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}E(R_{il})-\sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{k}\sum_{i,j\in L}C_{ijk'}Y_{ijkk'}-\sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{k}\sum_{i,j\in L}U_{kk'}Y_{ijkk'}\right), \tag{3}$$

则有下式：

$$Max\left\{\begin{array}{l}\sum_{i=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}\left\{\int_0^{X_{ik}}[P_{ik}\xi_{ik}-I_{ik}(X_{ik}-\xi_{il})]f_{\xi_{ik}}(\xi_{il})d(\xi_{il})+\int_{X_{ik}}^{\infty}P_{ik}X_{ik}f_{\xi_{ik}}(\xi_{il})d(\xi_{il})\right\}\\ -\sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{k}\sum_{i,j\in L}C_{ijk'}Y_{ijkk'}-\sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{k}\sum_{i,j\in L}U_{kk'}Y_{ijkk'}\end{array}\right\} \tag{4}$$

约束条件为：

$$\sum_{i=1}^{L}\sum_{k'=k}^{K}Y_{ijk'k}=V_{ik}，\forall i\in L，k\in K \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^{L}\sum_{k'=1}^{k}Y_{ijkk'}=X_{jk}，\forall j\in L，k\in K \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}X_{ik}=\sum_{i=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}V_{ik} \tag{7}$$

$$X_{ik},Y_{ijkk'}\geqslant 0,\forall i,j\in L,k\in K$$

约束(5)表示从每个门店运出的 k 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(6)表示各门店运入的 k 型车总量等于其最优配置数量，包括本门店留存，以及其他门店调度、升级到本门店的全部数量。约束(7)表示分配的车辆数等于可以用来提供服务的总车辆数。Fink 等指出一家租车公司的车型通常在 15 种左右，这样的解规模，即使对于具有高效搜索能力的启发式算法也需要花费较长的时间，因此有必要对模型进行分解，并寻找更好的求解办法。由于运输成本远小于日租收益和升级成本，因此可以分解为:车型间的配置与升级子模型(FDUP)以及门店间的车辆配置与调度子模型(FDTP)。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。

1、车型间的车辆分配与升级子模型(FDUP 模型)

该子模型将服务提供商的各种车型视为整体，暂不考虑门店因素，则服务提供商的目标为以日出租期望收益与升级成本之差最大化为目标：

$$Max\sum_{k=1}^{K}\left\{\int_{0}^{X_k}[P_k\xi_k-I_k(X_k-\xi_k)]f_{\xi_k}(\xi_k)d(\xi_k)+\int_{X_k}^{\infty}P_kX_kf_{\xi_k}(\xi_k)d(\xi_k)\right\}-\sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{k}U_{kk'}Y_{kk'}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{k=1}^{K}X_k=\sum_{k=1}^{K}V_k \tag{8}$$

$$X_k=V_k+\sum_{k'=1}^{k-1}Y_{kk'}-\sum_{k'=k+1}^{K}Y_{k'k},\forall k=2,3,\cdots,K-1 \tag{9}$$

$$X_1=V_1-\sum_{k'=2}^{K}Y_{k'1} \tag{10}$$

$$X_K=V_K+\sum_{k'=1}^{K-1}Y_{Kk'} \tag{11}$$

$$\sum_{k'=1}^{k-1}Y_{kk'}\cdot\sum_{k'=k+1}^{K}Y_{k'k}=0,\forall k\in K \tag{12}$$

$$X_k,Y_{kk'}\geqslant 0,\forall k,k'\in K \tag{13}$$

(8)表示将分配总量限制为服务提供商的总可用车辆数；(9)表明各车型的分配数量是可用车辆数加上其他车型升级进来的数量，减去升级为其他车型的数量；(12)保证车辆不会嵌套升级，比如，用车型 2 满足车型 3 的需求为 1 个($Y_{32}=1$)，说明此时车型 3 数量不足，那么车型 3 不可以再用于满足车型 4、5 的需求。此部分的车辆升级问题主要是为了满足由于某车型车辆不足而用高等级对低等级车型进行替代。

2、门店间的车辆分配与调度子模型(FDTP 模型)

在求解 FDUP 得到各车型的最优分配数量后，需进一步确定每个车型的车辆是如何在门店间进行分配和调度的。服务提供商以各车型的车辆日出租期望收益与车辆调度成本之差最大化为目标，其中：

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

$T_{ijkk'}$: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，$i\in L,k\in K,k、k'\in K,k'\leqslant k$。则有：

$$Max\left\{\begin{array}{l}\sum_{i=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}\left\{\int_{0}^{Z_{ik}}[P_{ik}\xi_{ik}-I_{ik}(Z_{ik}-\xi_{ik})]f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik})d(\xi_{ik})+\int_{Z_{ik}}^{\infty}P_{ik}Z_{ik}f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik})d(\xi_{ik})\right\}\\-\sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{k}\sum_{i,j\in L}C_{ijk'}T_{ijkk'}\end{array}\right\}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{i=1}^{L}Z_{ik}=X_k,\forall k\in K \tag{14}$$

$$\sum_{i=1}^{L}\sum_{k'=1}^{k}T_{ijkk'}=Z_{jk},\forall j\in L,k\in K \tag{15}$$

$$\sum_{j=1}^{L}\sum_{k'=k}^{K}T_{ijk'k}=V_{ik},\forall i\in L,k\in K \tag{16}$$

$$\sum_{i\in L}\sum_{j\in L}T_{ijkk'}=Y_{kk'},\forall k,k'\in K \tag{17}$$

$$Z_{ik},T_{ijkk'}\geqslant 0,\forall i,j\in L,k\in K \tag{18}$$

(14)保证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(15)表明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(16)表明从各门店调出的 k 型车总数等于该门店 k 型车的可用辆 约束(17)表明用于满足 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。

模型求解

1、粒子群算法

粒子群算法(Particle Swarm Optimization,PSO)是由 Kennedy 与 Eberhart 于 1995 年提出的一种新的智能技术,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[6]。粒子 i 在 N 维空间里的位置表示为矢量 $X_i=(x_1,x_2,\cdots,x_N)$,飞行速度表示为矢量 $V_i=(v_1,v_2,\cdots,v_N)$。每个粒子都有一个由目标函数决定的适应度(fitness value),并且知道自己到目前为止发现的最好位置($pbest$)和现在的位置 X_i,这个可以看作是粒子自己的飞行经验。除此之外,每个粒子还知道到目前为止整个群体中所有粒子发现的最好位置($gbest$,$gbest$ 是 $phest_i$ 中的最好值),这个可以看作是粒子同伴的经验。粒子就是通过自己的经验和同伴中最好的经验来决定下一步的运动。因此,利用 PSO 算法求解随机期望值模型算法具体步骤描述如下:

第一步,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:

$$0\leqslant X_1\leqslant sk(1);$$

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

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

(3)重复该过程 popsize 次,从而得到 popsize 个初始可行的微粒:

$$X_i=(x_{i1},x_{i2},\cdots,x_{ik}),i=1,\cdots,popsize。$$

(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:

$$\omega=\omega_{max}-n^*(\omega_{max}-\omega_{min})/N$$

其中 n 为当前迭代次数,N 为总迭代次数,$\omega_{max}=0.9$,$\omega_{min}=0.1$。在本文中加速因子 $C_1=C_2=2$。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$V_{max}=kX_{max}$,$0\leqslant k\leqslant 1$,本文取 $k=0.4$。

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

第二步，计算每个微粒的适应度

⑴ 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；

⑵ 计算 $\sum_{k=1}^{K}\left\{\int_{0}^{X_k}[P_k\xi_k-I_k(X_k-\xi_k)]f_{\xi_K}(\xi_k)d(\xi_k)+\int_{X_k}^{\infty}P_kX_kf_{\xi_K}(\xi_k)d(\xi_k)\right\}-\sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{k}U_{kk'}Y_{kk'}$；

⑶ 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；

⑷ 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；

⑸ 根据进化方程⑴、⑵进化；

⑹ 判断更新后的粒子是否符合步骤⑴中的粒子生成规则，若可行，则更新，否则返回步骤⑸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；

⑺ 重复步骤⑵到⑹，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；

⑻ 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。

2、FDTP 子模型的分解

由于调度成本远小于租赁收益，因而我们可以借鉴 Julian 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[3]。Pachon 将 TFP 分解为车辆分配 FD（Fleet Deployment subproblem）与调度 TP（Transportation subproblem）两个相关的子问题，记为 FD1、TP1：

$$(FD1)\quad Max\sum_{i=1}^{L}\left\{\int_{0}^{I_i}PX_if_{X_i}(x)d(x)+\int_{I_i}^{\infty}PI_if_{X_i}(x)d(x)\right\}$$

$$\text{s.t}\quad \sum_{i=1}^{L}I_i=M$$

$$I_i\geqslant 0,\ \forall i\in L$$

将约束条件代入目标函数，并对 I_i 求导，令一阶导数为 0，得到极值条件为：$F_{X_1}(I_1)=F_{X_2}(I_2)=\cdots=F_{X_L}(M-I_1^*-I_2^*-\cdots-I_{L-1}^*)$。由于 I_i 的二阶偏导数小于等于零，该极值为目标函数的最优值。根据该极值条件，Pachon 提出了求解 FD 模型的启发式算法，求出各门店对该车型应分配的最优车辆数，代入第二阶段的运输模型求解门店间的调度数量。

$$(TP1)\quad Min\sum_{i\in L}\sum_{j\in L}C_{ij}Y_{ij}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{j\in L}Y_{ij}=V_i,\ \forall i\in L$$

$$\sum_{i\in L}Y_{ij}=I_j,\ \forall j\in L$$

$$Y_{ij}\geqslant 0,\ \forall i,j\in L$$

由于车型间升级现象的存在，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。对于每一个车型 k，都有如下的 FD2 模型。

$$Max\sum_{i=1}^{L}\left\{\int_{0}^{Z_{ik}}[P_k\xi_{ik}-I_{ik}(Z_{ik}-\xi_{ik})]f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik})d(\xi_{ik})+\int_{Z_{ik}}^{\infty}P_{ik}Z_{ik}f_{\xi_{ik}}(\xi_{ik})d(\xi_{ik})\right\}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{i=1}^{L}Z_{ik}=X_k$$

$$Z_{ik}\geqslant 0,\ \forall i\in L$$

对每个车型的车辆都通过求解 FD2 模型得到各门店的最优分配数量，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 TP2 如下。

$$(\text{TP2})\quad Min\sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{k}\sum_{i,j\in L}C_{ijk'}T_{ijkk'}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{i=1}^{L}\sum_{k'=1}^{k}T_{ijkk'}=Z_{jk},\ \forall j\in L,k\in K$$

$$\sum_{j=1}^{L}\sum_{k'=k}^{K}T_{ijk'k}=V_{ik},\ \forall i\in L,k\in K$$

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

$$Z_{jk},T_{ijkk'}\geqslant 0,\ \forall i,j\in L,k\in K$$

3、FDTP 子模型的求解

采用 PSO 算法对 FD2 进行求解，该算法的运算步骤与 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：

第一，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：

I. 逐一生成粒子 Z 在 1 至 L 维上的随机数，其中

$$0\leqslant Z1\leqslant X,0\leqslant Z_i\leqslant X-\sum_{j=1}^{i-1}Z_j,\ \forall i=2,\cdots,L;$$

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

第二，计算每个微粒的适应度函数 $\sum_{i=1}^{L}\left\{\int_{0}^{Z_i}[P\xi_i-I(Z_i-\xi)]f_{\xi_i}(\xi)d(\xi)+\int_{Z_i}^{\infty}PZ_if_{\xi_i}(\xi)d(\xi)\right\}$

其他步骤都与 FDUP 子模型的求解步骤相同。

第三，TP2 子模型的求解

TP2 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，在此不多作说明。

算　例

以一个具有 3 个门店、分别有高、中、低三种车型的调度中心为例，车型间的升级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。有高、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。

服务提供商有三个门店，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本运费的基础上乘以相应的系数，高、中、低档车型的运费系数分别为 1.5、1.2、1。

服务商获得各门店对第二天的车辆供给信息，见表 3。假设各门店的需求独立同分布，均服从正态分布，且 X 与 Y 相互独立。可计算得到各车型的总需求分布密度函数，见表 4。

表 1　各车型日租收益与闲置成本表　　单位：元/日

项目 \ 车型		高档	中档	低档
日租收益		528	448	278
闲置成本		170	140	90
升级成本	高档	0	80	240
	中档	–	0	170
	低档	–	–	0

表 2　门店间各车型的运输费用表

调出 \ 调入	A	B	C
A	0	20	40
B	20	0	50
C	40	50	0

表 3　各车型可用数量表

车型 \ 门店	A	B	C	合计
高	9	5	6	20
中	22	14	4	40
低	29	34	37	100

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5“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，进行500代更新，最终解得各车型的最优分配数量如表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。同时，解得各车型间的相互替代总量，如表6所示。

绘制进化代数与适应度值关系曲线如图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。

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FD2子模型，分别对各车型采用启发式算法进行求解，得到各门店、各车型的最优分配数量如表7所示。

表7 各门店各车型最优分配数量统计表

车型 \ 门店	A	B	C	合计
高	4	9	2	15
中	20	18	7	45
低	40	42	18	100

步骤三 将各门店各车型最优分配数量（表7）、各车型升级总量（表6）作为参数输入TP2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表8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，得到总调度成本为1092元。

综上，制定并执行该战术计划，服务提供商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表9所示。

由表9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。

表4 各门店、车型需求分布预测表

车型 \ 门店	A	B	C	汇总
高	N(4,12)	N(8,22)	N(2,12)	N(14,2.52)
中	N(19,22)	N(18,22)	N(7,12)	N(44,32)
低	N(35,22)	N(38,22)	N(16,12)	N(89,32)

表5 各车型最优分配数量统计表

车型	高	中	低
数量	15	45	100

表6 各车型替代关系总量统计表

被升级 \ 升级	高	中	低
高	15	5	0
中	0	40	0
低	0	0	100

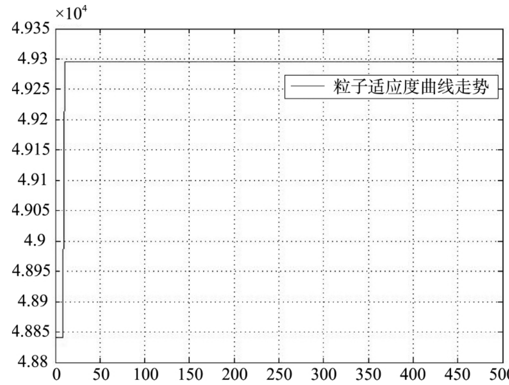

图1 粒子群进化代数与适应度值关系图

表8 门店间各车型调度方案

调出 \ 调入		A			B			C		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
A	1	4	(1)		4					
	2		19			3				
	3			29						
B	1				5					
	2					14				
	3						34			
	1							2	(4)	
	2								3	
	3			11			8			18

表9 各方案收益、成本统计表

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

结　论

本文关注了汽车租赁服务运营管理中车辆服务升级与统一调度策略，算例表明该策略的运用将为服务提供商增加收益，同时有效提高汽车利用率。首先，车辆的升级与统一调度降低了由于汽车租赁服务的网点

分布性所产生的各网点需求与供给无法良性匹配的成本;其次,正是由于服务升级策略的运用,使得服务提供商在不损失收益的前提下,可以有效发挥低使用率的高端车辆,增加收益;第三,统一调度策略的实施,降低了各门店需求不确定所导致的供不应求和供过于求的情况,减少了这两种情况所带来的损失。但是,由于汽车租赁服务网点和网点内车型种类、网点内车型数量较多,使得模型求解变得异常复杂,如果使用一般的求解方法,将使得计算耗时,求解效率变低。本文参考了粒子流算法,并将该问题分解为两个子问题处理,先将服务提供商的所有可提供服务的车辆进行统一分配,并根据需求情况升级,然后再根据门店进行调度,有效地解决了该问题,同时也符合现实中运营管理的思路。

参考文献:

[1] 2008-2010 年中国汽车租赁业分析及投资咨询报告[EB/OL]. 中国投资咨询网, http://www.ocn.com.cn/reports/2008498qichezulin.htm, 2008-9-20

[2] W. J. Carroll, R. C. Grimes. Evolutionary Change in Product Management Experiences in the Car Rental Industry[J]. Interfaces, 1995,25(5):84-104

[3] E. P. Julian, I. Eleftherios, I. Chi, A. Ronny. A Synthesis of Tactical Fleet Planning Models for the Car Rental Industry[J]. IIE Transactions, 2003,35(9):907-916

[4] W. Peiling, C. H. Joseph, R. W. George. An Integrated Model and Solution Approach for Fleet Sizing with Heterogeneous Assets [J]. Transportation Science, 2005,39(1):87-103

[5] A. Fink, T. Reiners. Modeling and Solving the Short-term Car Rental Logistics Problem[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2006,42(2):272-292

[6] Kennedy J., Eberhart R. C. Particle Swarm Optimization[C]. Proc IEEE International Conference on Neural Networks. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995,1(1):1942-1948

Short-term Car Rent Service Dispatching Optimization Based on Arithmetic of PSO

Liu Dewen[1], *Lu Ruoyu*[1] *and Zhang Jingjing*[2]

(1.School of Economics and Management, University of Electronic and Science Technology of China, Chengdu 610054;
2.Tibet branch of China Unicom, Lhasa 850000)

Abstract: In the car rent service field where services are provided through network and uncertainty characterizes both demand of customers and short-term supply of car rent service, car rent service providers have to deal with the complexities of daily operation management. The strategy of integrated car upgrade and dispatching is an effective solution of reducing uncertainty of demand and supply. It can increase the car rent ratio and satisfy customers' need. The paper puts forward a solution including car allocation, upgrade and dispatching optimization based on arithmetic of PSO. Application of examples shows that this solution can effectively improve the revenue of supplier.

Key words: short-tern car rent service, car upgrade and dispatching optimization, PSO, stochastic programming