

文章编号: 1004-4353(2019)01-0064-06

带软时间窗的公共自行车调度路径问题

汪岚, 吴永春, 陈海洋

(黎明职业大学 智能制造工程学院, 福建 泉州 362000)

摘要: 为了提高公共自行车调度的效率, 研究了一种带软时间窗的自行车调度路径问题. 首先根据公共自行车调度工作内容, 建立多目标调度路径模型, 然后设计一种改进的蚁群算法对模型进行了求解. 实验结果显示, 本文方法求解的调度路径比模拟退火算法、蚁群算法和遗传算法分别缩短了 18.4%、24.3% 和 13.0%, 而且还能有效节约调度车辆.

关键词: 公共自行车; 调度路径问题; 混合算法; 改进蚁群算法; 遗传算法; 2-opt 算法

中图分类号: U484; TP391.9

文献标识码: A

Scheduling routing problem with soft time windows for public bicycle

WANG Lan, WU Yongchun, CHEN Haiyang

(College of Intelligent Manufacturing Engineering, Liming University, Quanzhou 362000, China)

Abstract: In order to improve the scheduling efficiency of public bicycle, a bicycle scheduling routing problem with soft time windows is proposed. According to the content of public bicycle scheduling, a multi-objective scheduling path model is established at first. Then an improved ant colony algorithm is designed to solve the model. The experimental results show that compared with simulated annealing algorithm, ant colony algorithm and genetic algorithm, the scheduling path solved by this method is shortened by 18.4%, 24.3% and 13.0% respectively. Moreover, it can effectively save the dispatching vehicles.

Keywords: public bicycle; scheduling routing problem; hybrid algorithm; improved ant colony algorithm; genetic algorithm; 2-opt algorithm

0 引言

随着城市交通日趋拥堵, 公共自行车作为一种新型环保的交通工具, 已成为了民众短途出行的重要选择. 目前, 公共自行车调度的路径选择多以人工经验调度为主, 缺乏科学性, 容易出现无车可借、无桩可还的现象; 因此, 研究公共自行车系统的调度路径问题对于均衡租赁站点的自行车资源, 提高自行车循环使用率具有现实意义. 近年来, 很多学者利用建模与算法来研究智能调度问题^[1-3]. 但在调度路径模型研究中, 相关研究大多仅考虑了硬时间窗约束, 使得研究结果不能真实反映车辆的调度情况^[4]; 在相关算法研究中, 研究者多采用模拟退火算法^[5]、蚁群算法^[6]和遗传算法^[7]等传统算法, 而这些算法难以解决日趋复杂的路径问题. 为了寻求一种更合理的自行车调度路径规划方法, 本文在不增加额外投入和变更租赁站点布局的前提下, 针对带软时间窗的公共自行车调度路径问题, 应用一种新的改进蚁群遗传

算法对其进行求解,并通过实例计算验证本文方法的有效性。

1 带软时间窗的调度路径模型

公共自行车调度问题描述:调度中心根据各单车租赁站点的借还需求量和迫切度,安排调度车辆、租赁站点间的服务顺序以及调度车辆的行驶路线,最终完成调度作业并返回调度中心。故本文中的调度路径规划原则为:已知调度中心、各租赁站点位置、自行车供需量和配送车辆的载重、配送时间以及配送车可达最远距离等信息,在满足应有约束的条件下,合理规划车辆调度路线,最终实现调度路径与成本综合最优。

1.1 模型假设

1) 假设区域内有且仅有一个调度中心负责区域内公共自行车的调度工作,调度中心的调度车辆、自行车数量能够满足区域内所有租赁站点的供需量;2) 调度中心、各租赁站点的位置、彼此之间的距离、各租赁站点的自行车供需量等信息已知;3) 每个租赁站点的调度时间窗已知,不在规定时间窗内完成的调度任务其对应的惩罚措施已知;4) 当租赁站点自行车数量大于总桩数的 80% 或小于 20% 时,调度中心派出调度车对需要的站点进行调度作业。每辆调度车由调度中心出发,依次完成对应的租赁站点调度任务后返回调度中心。

1.2 模型建立

假设某区域内公共自行车调度中心有 m 辆调度车辆,车辆的最大载重为 Q ,最大行驶距离为 D ,已有自行车数量为 q_0 。假设节点标号为 i ($i=0$ 为调度中心, $i=1, \dots, n$ 为租赁站点),节点 i 到节点 j 的距离为 d_{ij} ($d_{ij} \neq d_{ji}; i, j=0, 1, \dots, n$)。当租赁站点 i 为自行车调入状态时,需求量定义为 q_i ($i=1, 2, \dots, n$),供应量为 0;反之,为调出状态时,供应量定义为 p_i ($i=1, 2, \dots, n$),需求量为 0。 c_{ij} 为节点 i 到节点 j 的调度成本。

决策变量定义如下:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } k \text{ 从租赁站点 } i \text{ 驶向站点 } j \text{ } (i=1, \dots, n; j=1, \dots, n); \\ 0, & \text{其他。} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{租赁站点 } i \text{ 的调度任务由车辆 } k \text{ 完成 } (k=1, \dots, m); \\ 0, & \text{其他。} \end{cases}$$

1.2.1 目标函数 本文将调度路径与成本综合最小作为目标函数,其计算公式为

$$\min S = \omega_1 \cdot \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} y_{ik} d_{ij} + \omega_2 \cdot \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} y_{ik} p(t_i) c_{ij}. \quad (1)$$

式中, ω_1 、 ω_2 为路径函数和成本函数对应的权重, $p(t_i)$ 为调度成本的惩罚函数,其具体函数表达式为

$$p(t_i) = \begin{cases} M, & t_i \leq a'_i; \\ l(t_i - a'_i), & a'_i \leq t_i \leq a_i; \\ 1, & a_i \leq t_i \leq b'_i; \\ \mu(b'_i - t_i), & b_i \leq t_i \leq b'_i; \\ M, & t_i \geq b'_i. \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中,调度车辆的理想到达时间窗为 $[a_i, b_i]$,容忍到达时间窗为 $[a'_i, b'_i]$,实际到达时间为 t_i 。若 t_i 在理想或容忍时间窗内,对调度成本不做惩罚或只做适当惩罚;反之,若 t_i 超出容忍时间窗,则可能导致用户无桩可停、无车可借的情况发生,对调度成本予以重罚。 M 为调度车辆超出容忍时间窗时接受的最大惩罚项, l 和 u 为容忍时间窗内早到和晚到的惩罚因子。

1.2.2 约束条件 调度过程的影响因素主要考虑调度车辆需求变化、行驶距离、调度时间以及车辆安排等。除调度时间约束(已融入目标函数中)外,其他约束如下:

$$\begin{aligned}
0 &\leq q_0 + \sum_{i=1}^n (q_i - p_i) y_{ik} \leq Q, \quad k=1, \dots, m; \\
0 &< \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} y_{ik} \leq D, \quad k=1, \dots, m; \\
\sum_{k=1}^m y_{ik} &= \begin{cases} 1, & i=1, \dots, n; \\ 0, & \text{其他}; \end{cases} \\
\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk} &\leq m, \quad i=1, \dots, n; \\
\sum_{i=1}^n x_{ijk} &= y_k, \quad j=1, \dots, n, \quad k=1, \dots, m; \\
\sum_{j=1}^n x_{ijk} &= y_k, \quad i=1, \dots, n, \quad k=1, \dots, m.
\end{aligned} \tag{3}$$

式(3)中:约束 1 限制任意时刻每辆车上的自行车数量不大于车辆的最大载重;约束 2 限制任意一条调度路径的总长度不超过调度车辆的最大行驶距离;约束 3 限制每个租赁站点的调度任务有且只有一辆车负责;约束 4—6 则限制参与调度的车辆数不超过 m , 且到达和离开某一租赁站点的车辆只能是一辆。

2 改进的蚁群遗传算法

公共自行车调度路径问题属于多旅行商问题(MTSP). 鉴于蚁群算法含有正反馈机制, 能收敛到最优解, 但搜索时间长; 遗传算法具有较强的全局搜索性能且搜索时间短, 但容易陷入局部最优; 2-opt 算法适合局部优化. 因此, 本文将改进的蚁群算法和 2-opt 算法融入到改进的遗传算法中, 形成一种新的改进蚁群遗传算法. 新算法先利用改进的蚁群算法生成全局较优解, 再将较优解作为改进的遗传算法的初始种群进行求解。

2.1 改进的蚁群算法

1) 状态转移规则. 假设 m 只蚂蚁, n 个租赁站点, d_{ij} 、 $\tau_{ij}(t)$ 分别为任意两个节点之间的距离和信息素. t 时刻时, 蚂蚁 k 将根据路径上的信息素强弱从站点 i 移动到站点 j , 其状态转移规则^[8]为:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik}]^\beta \cdot [\mu_{ik}]^\gamma}{\sum_{s \in \text{allowed}_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}]^\beta \cdot [\mu_{is}]^\gamma}, & j \in \text{allowed}_k; \\ 0, & \text{其他}. \end{cases} \tag{4}$$

式中 $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$, $\mu_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$, $p_{ij}^k(t)$ 受系数 α 、 β 和 γ 控制。

2) 信息素更新. 为了防止早熟, 对信息素更新操作进行如下改进:

① 摒弃传统蚁群算法中只针对单只表现最优的蚂蚁进行信息素更新, 而是针对若干精英蚂蚁进行信息素更新. 迭代结束后, 对各蚂蚁移动的路径长度进行排序, 排序靠前的 l 只蚂蚁为精英蚂蚁. 每次迭代仅对精英蚂蚁行走过的优质路径进行信息素更新, 更新规则为^[9-10]:

$$\begin{aligned}
\tau_{ij}(t+1) &= (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}^*; \\
\Delta \tau_{ij}^* &= \begin{cases} \frac{k}{l \cdot S(L^{\text{best}})}, & \text{有 } k \text{ 只精英蚂蚁经过 } (i, j) \text{ 路段}; \\ 0, & \text{没有精英蚂蚁经过 } (i, j) \text{ 路段}. \end{cases}
\end{aligned} \tag{5}$$

式中 $\tau_{ij}(t)$ 为本次迭代获得的各优质路径的信息素; $\Delta \tau_{ij}^*$ 为各优质路径的信息素增量, $S(L^{\text{best}})$ 为当前最短路径长度。

② 信息素更新后, 引入最大-最小约束原则, 即各路径信息素必须限制在 $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ 区间. 当信息素超过极值时, 信息素等于极值, 反之信息素维持原值. τ_{\min} 和 τ_{\max} 的计算公式为:

$$\tau_{\max}(t) = l / \rho \cdot S(L^{\text{best}}), \tau_{\min}(t) = \tau_{\max}(t) / 50.$$

(6)

2.2 改进的遗传算法

1) 编码. 采用自然数编码, 将调度中心与租赁站点共同排列. 假设 0 为调度中心, 1、2、⋯、 n 为租赁站点, m 为调度车辆数, 生成长度为 $n+m+1$ 的染色体基因串. 例如, 用 3 辆调度车完成 7 个租赁站点的自行车配送, 其解为 03501240670, 对应的调度路线方案为:

车辆 1: $0 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 0$; 车辆 2: $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 0$; 车辆 3: $0 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 0$.

2) 适值函数的设置. 适值高低决定个体进入下一代的概率. 考虑到适值函数与目标函数的映射关系, 故本文将适值函数设置为

$$fitness = \frac{K}{1 + S(i)}, S(i) \geq 0.$$

(7)

3) 选择、交叉操作. 选择操作采用最优保存与锦标赛法综合的选择策略. 首先将当代最优的前 30% 的精英个体备份至精英区; 其次将当代最优个体直接保留至下一代, 剩余个体采用锦标赛的选择方式, 两两随机进行比较, 选出较高适值的个体保留至下一代. 重复锦标赛选择这一过程, 直至达到种群规模. 这种方式既能保证适值高的个体较大概率地进入到下一代, 又能保证种群的多样性.

交叉操作采用可自适应变化的 P_c 进行, 交叉率随迭代变化情况进行自适应的动态调整, 以有效地控制新个体生成的速率, 相关设置详见文献[11].

4) 基于 2-opt 算法的变异操作. 为了进一步提高算法的收敛速度, 引入 2-opt 算法^[12] 和翻转完成变异操作. 具体方法如下:

① 假设染色体基因串的长度为 n , 随机确定一个下标为 i ($i=1, \dots, n-3$) 的基因位置, $d_{i,i+1}$ 为第 i 个基因与第 $i+1$ 个基因之间的距离.

② 判断路径距离是否满足 $d_{i,i+1} + d_{i+2,i+3} > d_{i,i+2} + d_{i+1,i+3}$, 满足则判断路径可优化. 将第 $i+1$ 个基因与第 $i+2$ 个基因进行位置调换, 同时翻转原来的路径方向, 见图 1. 若不满足, 则维持原基因串位置不变.

通过 2-opt 算法和路径翻转的变异操作, 能对基因串起到局部优化的作用, 使种群的整体性比之前有所提高, 使变异操作趋向更优.

5) 算法终结条件. 本文设定的算法终结条件为: 达到算法最大进化代数, 或一定进化代数范围内适值无明显波动^[13].

2.3 改进的蚁群遗传算法的步骤

第 1 步 设定基本参数, 如租赁站点调入 / 调出需求量、调度车辆最大载重、行驶距离等; 改进遗传算法的参数, 如种群规模 popsize、最大进化代数 Genmax 等; 改进蚁群算法的参数, 如蚂蚁数量 m 、最大进化代数 $Ncmax$ 、 $Nc=0$ 、 $k=1$ 、 $\tau_{ij}=t_0$ 等. 采用自然数编码, 将蚂蚁放置调度中心, 蚂蚁数等于车辆数.

第 2 步 迭代次数 $Nc = Nc + 1$.

第 3 步 根据式(4) 计算移动概率 $p_{ij}^k(t)$, 将蚂蚁移动到最大概率位置, 并将该位置记入禁忌表.

第 4 步 判断蚂蚁 k 是否访问完所有站点, 若未完成, 则跳转至第 3 步; 否则令 $k = k + 1$.

第 5 步 判断 m 只蚂蚁是否都访问完所有站点, 若未完成, 则跳转至第 3 步.

第 6 步 判断改进的蚁群算法是否达到最大迭代次数, 若未达到, 根据式(5) 和式(6) 更新路径信息素并跳转至第 2 步.

第 7 步 将禁忌表里的路径作为遗传算法的初始种群 P_0 , 根据式(7) 计算各个体的适值.

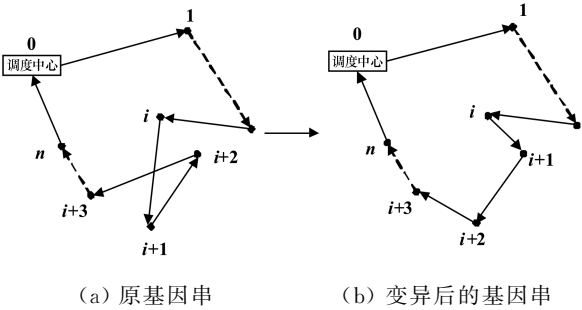


图 1 基于 2-opt 算法和翻转变异的示意图

第 8 步 将种群中高适值个体备份至精英区,然后进行选择、自适应交叉、2-opt 算法变异操作,生成种群 $P_1(t)$, 计算个体适值并排序.

第 9 步 将精英区个体替换 $P_1(t)$ 中的靠后个体,生成种群 $P_2(t)$.

第 10 步 判断遗传算法终止条件是否满足,若不满足,进化代数加 1,跳转至第 8 步;否则算法结束,输出全局综合最优调度路径和调度成本.

3 实例计算与分析

以某区域单调度中心的公共自行车智能调度系统为例对本文提出的算法进行验证. 该区域共设有公共自行车租赁站点 17 个,同规格调度车辆 8 辆,统一由调度中心出发. 每辆调度车可运载自行车 30 辆,最大行驶距离为 20 km. 各租赁站点间的距离、调入 / 调出需求量及时间窗具体数据已知(略). 算法的主要参数设置为: $m=10$, $Q=30$, $D=20$ km, $N=60$, $Genmax=100$, $M=1\ 000$, $l=u=2$, $P_{c1}=0.6$, $P_{c2}=0.9$, $P_{m1}=0.001$, $P_{m2}=0.1$, $Ncmax=150$, $\alpha=1$, $\beta=2$, $\gamma=1$, $\rho=0.15$, $l=3$, $\tau_{0max}=1$, $\tau_{0min}=0.05$. 分别采用模拟退火算法、蚁群算法、遗传算法和改进的蚁群遗传算法求解调度路径,路径的优化结果如表 1 所示,路径的仿真效果如图 2 所示.

表 1 不同算法优化后的结果

算法	路径长度/km	最优成本/元	调度车辆数
模拟退火算法	175.32	411.38	8
蚁群算法	188.98	450.89	8
遗传算法	164.87	618.12	7
改进的蚁群遗传算法	143.02	362.08	7

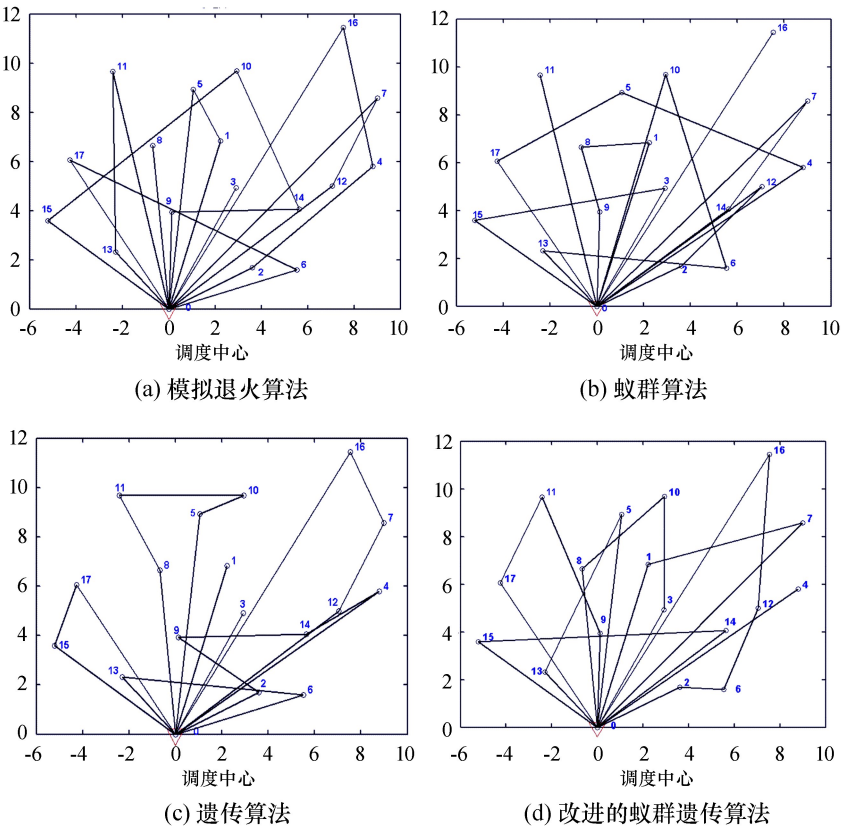


图 2 不同算法优化后的调度路径图

从表 1 和图 2 可以看出,改进的蚁群遗传算法的调度路径为:0→5→13→0→9→11→17→0→15→14→0→3→10→8→0→2→6→12→16→0→1→7→0→4→0,路径总长为 143.02 km,比其他 3 种算法分别缩短了 18.4%、24.3%和 13.0%,同时还节约了调度成本.

4 结论

本文运用改进的蚁群遗传算法对自行车调度路径模型进行求解,以获得自行车调度的最优路径.研究表明:①调度路径模型中加入软时间窗因素可增强调度系统的柔性,更符合实际调度中车辆实际存在的情况;②本文方法比较模拟退火算法等 3 种传统算法不仅缩短了调度路径,而且节约了调度成本,因此本文方法对自行车调度路径规划具有很好的参考价值.本文在建模过程中仅针对单调度中心进行了研究,具有一定的局限性,因此后续将对多调度中心的调度问题进行研究,以建立一个更为合理的调度路径模型.

参考文献:

[1] 柳祖鹏,丁卫东,章坚民,等.公共自行车系统站间调配优化研究[J].城市公共交通,2011(1):39-42.
[2] 徐毅,李章维.蚁群算法在电力巡检路线规划中的应用[J].计算机系统应用,2015,24(5):135-139.
[3] 陈冠雄,肖华,胡振,等.立足用户满意度的公共自行车信息服务系统及调配配送方法[J].现代电子技术,2013,36(5):163-166.
[4] 王洁,江洋,王莉,等.带时间窗的快递物流车辆调度模型及应用[J].物流技术,2015,34(4):122-124.
[5] 唐冲.基于模拟退火算法的应急物流车辆调度[J].物流技术,2017,36(1):114-116.
[6] 柳祖鹏,李克平,朱晓宏.基于蚁群算法的公共自行车站间调配优化[J].交通信息与安全,2012,30(4):71-74.
[7] 王永强,郭鹏伟,王怀超,等.基于遗传算法的运输物资保障车辆调度问题研究[J].现代制造技术与装备,2017(7):155-156.
[8] 叶丽霞.公共自行车调配系统研究[D].南京:南京理工大学,2013.
[9] 赵群.基于改进混合蚁群算法的车辆路径问题研究[D].合肥:合肥工业大学,2015.
[10] 周永权,黄正新,刘洪霞.求解 TSP 问题的离散型萤火虫群优化算法[J].电子学报,2012(6):1164-1170.
[11] 汪岚.基于智能混合算法的车辆配送路径优化[J].延边大学学报(自然科学版),2015,41(3):261-266.
[12] 李琳,刘士新,唐加福.改进的蚁群算法求解带时间窗的车辆路径问题[J].控制与决策,2010,25(9):1379-1383.
[13] 汪岚.基于智能混合算法的织物自动配色方案优化设计[J].延边大学学报(自然科学版),2017,43(2):150-153.