

# 公共自行车交通系统调度算法<sup>①</sup>

刘登涛, 方文道, 章坚民, 郭明泽

(杭州电子科技大学 电子信息学院, 杭州 310018)

**摘要:** 针对公共自行车交通系统的静态车辆调度问题, 以运输成本最少为目标建立公共自行车交通系统调度模型, 提出了一种将模拟退火算法融合到遗传算法中的混合启发式算法来求解该模型, 增强算法的全局搜索能力和效率。通过实例结果表明, 优化后运输车辆行驶路程比优化前减少了 50%, 说明遗传模拟退火算法具有良好的鲁棒性和收敛性, 适合解决车辆的优化调度问题。

**关键词:** 公共自行车交通系统; 车辆调度; 遗传算法; 模拟退火

## Scheduling Algorithm for Public Bicycle System

LIU Deng-Tao, FANG Wen-Dao, ZHANG Jian-Min, GUO Ming-Ze

(Electronic Information College, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** For the public bicycle system static vehicle scheduling problem, this paper proposes a public bicycle scheduling model with the target of transportation costs at least. It proposes an algorithm with simulated annealing algorithm integrated into genetic algorithm and it enhances the global search capability and efficiency. The example result shows that the optimized route with a reduction of 50%. It shows that the genetic simulated annealing algorithm has a good robustness and convergence and it is better for solving vehicle scheduling problem.

**Key words:** public bicycle system; vehicle scheduling; genetic algorithm; simulated annealing

公共自行车交通系统 (Public Bicycle System, PBS) 是指由公司在大型居住区、商业中心、交通枢纽、旅游景点等客流集聚地设置公共自行车租赁点, 随时为不同的人群提供适于骑行的公共自行车, 并根据使用时间的长短征收一定额度费用, 以该服务系统和配套的自行车路网为载体, 提供公共自行车出行服务的城市交通系统<sup>[1]</sup>。PBS 由公共自行车租赁点、公共自行车、调度中心、运输车辆、运输车辆停车场以及通信系统等组成。作为城市交通的组成部分, PBS 能有效解决公交系统“最后一公里”难题, 并具有以下优点: 1) 无污染; 2) 机动灵活; 3) 停放方便, 停车场占地面积少。杭州市从 2008 年 5 月开始运行公共自行车交通系统以来, 公共自行车已经成为市民和游客出行的重要交通工具, 目前杭州市已有 1000 多个公共自行车租车点。但是, 由于公共自行车的流动性, 杭州市公共自行车交通系统存在时间和空间上分布不均匀

的问题<sup>[2]</sup>, 具体表现在: 1) 某些租赁点在某些时刻自行车数量过少, 用户不能及时借到自行车; 2) 某些租赁点在某些时刻自行车数量过多, 用户不能及时归还自行车。因此, 如何合理调度公共自行车, 均衡公共自行车对完善公共交通体系、提升城市交通的服务水平具有重要的意义。

根据调度前信息是否完全已知, 可以将车辆调度问题分为静态车辆调度问题和动态车辆调度问题<sup>[3-5]</sup>。公共自行车交通系统的调度问题是一种动态车辆调度问题, 由于动态车辆调度问题的复杂性, 许多学者已经提出将动态车辆调度问题转化为静态车辆调度问题进行求解, 李兵<sup>[6]</sup>等引入虚拟任务点与相关约束后, 将客户需求随时间变化的动态车辆路径规划问题划分为一系列的静态车辆调度问题。Jia Yongji 采用滚动时调度方法在公共自行车车辆调度中起着关键作用。本文主要研究某区域某时刻 (早高峰之前) 的公共自行

① 收稿时间:2011-01-10;收到修改稿时间:2011-02-26

车调度问题，属于静态车辆调度问题，以运输成本最小为目标建立公共自行车调度模型，利用遗传模拟退火算法进行求解。

### 1 问题描述

已知杭州市某区域各租赁点一个普通工作日早高峰之前的自行车调度需求如表 1，其中正数表示该租赁点需要供出自行车，数值为多余的自行车数量，负数表示该租赁点需要供入自行车，数值的绝对值表示缺少的自行车数量。各个租赁点的位置及道路情况如图 1，租赁点位置在图中用带圆圈的数字所示，圆圈中数字代表租赁点序号。字代表路线长度（单位：米）。其中 6 号和 30 号租赁点紧邻运输车的停车场。如果从这两个停车场中派 1 辆运输车去各个租赁点采集多余的自行车并分配给缺少车辆的租赁点，最后返回其中任意一个停车场，则该选择什么样的行车路径和工作

顺序（已知一辆公交车最多可同时存放 60 辆自行车）？

### 2 模型的建立

拥有最大负荷为  $q$  的辆运输车，从指定的停车场出发，负责对各租赁点进行自行车的需求调度服务，完成任务后回到某个停车场，各个租赁点之间的距离以及各自的需求量预先都已知。

设  $G = \{1,2,3...n\}$  为所有租赁点的集合， $n$  为租赁点的数目，停车场为 6 号和 30 号租赁点附近； $V = \{1,2,3...m\}$ ， $m$  为运输车辆的数目。 $C$  为运输车辆的固定成本， $Q_i$  为车辆的最大载重量；如果车辆  $i$  被使用，则二进制变量  $u_i$  为 1，否则为 0。租赁点  $i$  需要请求的量为  $l_i$ ，在服务租赁点  $i$  之前，即将服务的车辆  $j$  的当前载重量为  $r_{ij} (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$ 。

表 1 自行车调度需求表

租赁点序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
自行车需求量	12	16	-20	-42	-25	26	31	-12	-20	-13	-20	-18	-7	-19	62
租赁点序号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
自行车需求量	22	-18	-11	-1	2	-21	15	17	-16	0	-14	32	6	-19	55

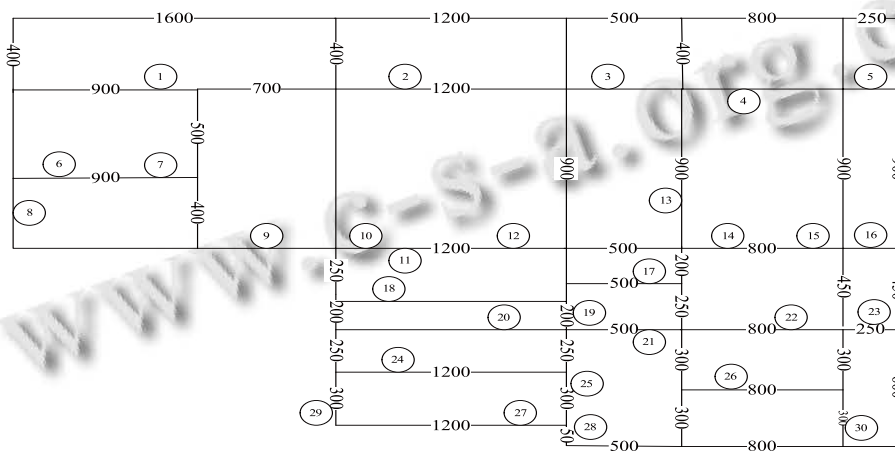


图 1 各租赁点的位置及道路情况

对于两个不同的租赁点  $i$  和  $j$  来说， $a_{ij}$  表示两者之间的最短距离<sup>[8]</sup>。如果车辆  $k$  在服务完  $i$  后再服务  $j$ ，则  $x_{ij}^k$  为 1，否则为 0。

模型的目标函数即运输成本包括车辆的固定成本

与行驶成本。运输成本（记为  $Z$ ）的数学模型如下：

$$\min Z = C \sum_{i=1}^k u_i + \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij} x_{i,j}^k \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^m u_i \leq m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j}^k = \sum_{j=1}^n x_{j,i}^k \leq 1, i = 6,30 \quad (3)$$

$$k \in \{1,2,3 \dots m\}$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{i,j}^k = 1, i \in \{1,2,3 \dots n\} \text{ 且 } i \neq 15 \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=1, i \neq j}^n x_{i,j}^k = 1, j \in \{1,2,3 \dots n\} \text{ 且 } j \neq 15 \quad (5)$$

$$0 \leq l_i + r_{ij} \leq Q_j, i \in \{1,2,3 \dots n\} \text{ 且 } i \neq 15, j \in \{1,2,3 \dots m\} \quad (6)$$

式(1)是目标函数，表示最小化运输成本；式(2)规定了从停车场出来的车辆数量最大不超过  $m$ ；式(3)规定了每条路径的起点和终点都必须为停车场；式(4)和式(5)规定了每个租赁点都服务一次且只服务一次；式(6)规定了每次服务都能完成并且不能超过车辆的最大载重量。由于 15 号租赁点的数值为 62，即需要供出的自行车数量为 62 辆，所以不可能一次性完成任务，因此在设计算法的时候要另行考虑。

### 3 算法设计

在智能优化算法中，遗传算法 (Genetic Algorithm, 简称 GA) 具有收敛速度快的优点，但是具有局部搜索能力较差并容易早熟收敛的致命弱点。相反，模拟退火算法 (Simulated Annealing, 简称 SA) 能通过概率突跳方式避免陷入局部最小并最终趋于全局最优，但是收敛速度比较慢。基于 GA 和 SA 具有很强的互补性，将 SA 和 GA 有机结合则能增强算法的全局搜索能力和效率。本文采用一种改进的遗传模拟退火算法来求解公共自行车调度问题。

#### 3.1 遗传模拟退火算法的结构流程

本文提出的遗传模拟退火算法思想是以遗传算法运算流程为主体流程，融入模拟退火机制来调整优化群体<sup>[9,10]</sup>。其流程如图 2 所示。

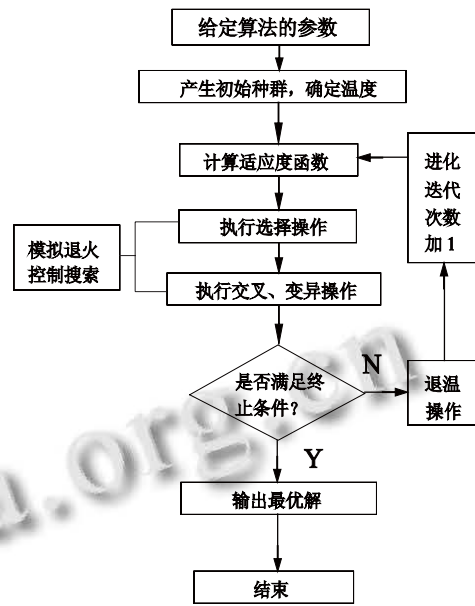


图 2 遗传模拟退火算法流程

#### 3.2 适应度函数

由于要求的是最少的运输成本，是一个最小值问题，因此在设计适应度函数时要将原始目标值转换为适应度值，以确保优秀个体具有大的适应值。通过下式的尺度变换可以将目标值转换为适应度值，即：

$$Fitness(I) = \frac{D_{max} - D_i + \alpha}{D_{max} - D_{min} + \alpha}$$

其中， $I$  为当前种群的第  $i$  个染色体， $Fitness(I)$  为适应度函数值， $D_{max}$  为当前种群的最小目标值， $D_{min}$  为当前种群的最小目标值， $D_i$  为需要转换的目标值， $\alpha$  为开区间 (0,1) 内的正实数。使用  $\alpha$  可以防止上式被整除，还可以将选择行为从适应度值比例选择调整为纯随机数选择。如果染色体间适应度值的差距较大，则采用适应度值比例选择；如果区间相对较小，则选择趋向于在相互竞争的染色体中进行随机选择。

#### 3.3 选择、交叉和变异操作

采用轮盘赌操作对适应度值进行选择。首先生成随机数  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )，然后再按照下式进行选择。

$$\sum_{j=1}^n \frac{f(x^{j-1})}{\sum_{n=1}^{pop-size} f(x^{j-1})} \leq \alpha \leq \sum_{j=1}^n \frac{f(x^j)}{\sum_{n=1}^{pop-size} f(x^j)}$$

其中,  $x^j$  为群体中的第  $j$  个个体,  $f(x^j)$  为第  $j$  个个体的适应度值,  $n$  为自行车租赁点数量,  $pop-size$  为群体大小, 通过该操作可以选择出需要繁殖的父代群体。

采用单点交叉和均匀变异算子, 交叉、变异概率采用自适应的  $p_c$  和  $p_m$ , 计算表达式如下:

$$p_c = \begin{cases} k_2, f' \leq f_{avg} \\ k_1 \frac{(f_{max} - f')}{f_{max} - f_{avg}}, f' \geq f_{avg} \end{cases}$$

$$p_m = \begin{cases} k_4, f \leq f_{avg} \\ k_3 \frac{(f_{max} - f)}{f_{max} - f_{avg}}, f \geq f_{avg} \end{cases}$$

式中,  $f_{max}$  是群体中最大的适应值,  $f_{avg}$  是每代群体的平均适应度值,  $f'$  是要交叉的二个个体中较大的适应度值,  $f$  是要变异个体的适应度值, 且  $0 < k_1, k_2, k_3, k_4 \leq 1$ 。

### 3.4 模拟退火操作

首先选取一个足够大的初始温度  $T_0$ , 因为要使得算法在合理的时间内搜索尽可能大的解空间, 只有足够大的  $T_0$  才能满足这个要求; 接着设定一个合理的退火率, 温度控制参数  $T_k$  的下降函数为  $T_{k+1} = \alpha T_k$ , 其中衰减参数是一个略小于 1 的系数; 最后终止温度  $T_f$  应该设置为足够小。

### 3.5 算法说明

由于 15 号租赁点需要供出的自行车数量为 62, 超出运输车的最大载运量, 所以需要分两次对 15 号租赁点的自行车进行运送。基于此, 本文将 15 号租赁点的自行车数量设为 0, 然后增加两个租赁点 (31 号和 32 号租赁点), 其坐标与 15 号租赁点重合, 且满足 31 号和 32 号租赁点的自行车数量之和为 62。

### 3.6 参数设定

在使用智能优化算法求解问题时, 参数的控制十分重要。对以上遗传模拟退火混合算法进行多次测试后, 最终选择算法的参数如下表 (表 2)。

表 2 算法参数

种群大小 (pop-size)	100
迭代系数 (g)	200
初始温度 ( $T_0$ )	1000
降温速度 ( $\alpha$ )	0.95
交叉概率 ( $p_c$ )	0.30
变异概率 ( $p_m$ )	0.40
初始接收概率 ( $p_r$ )	0.999

## 4 实例验证

实例要求从两个停车场中任意派 1 辆运输车辆去各个租赁点采集多余的自行车并分配给缺少车辆的租赁点, 最后返回其中任意一个停车场。因此, 总共有 4 种情况, 如表 3 所示。

表 3 运输车行驶路线

运输车行驶路线	初始行驶路程	优化后的行驶路程	优化后的行驶路线
30 号租赁点附近停车场出发, 返回原停车场	51540	27340	30-26-21-20-19-28-27-29-24-18-10-7-8-6-1-9-11-2-3-13-31-5-32-4-16-23-22-17-12-14-30
30 号租赁点附近停车场出发, 返回 6 号租赁点附近停车场	52840	27140	30-26-21-20-19-17-22-23-16-4-13-32-5-31-14-12-28-27-29-24-18-6-7-9-11-10-2-3-1-8-6
6 号租赁点附近停车场出发, 返回 30 号租赁点附近停车场	55340	29040	6-1-8-7-9-10-11-2-3-31-5-30-17-12-14-16-32-13-4-23-22-21-28-27-29-24-18-19-20-26-30
6 号租赁点附近停车场出发, 返回原停车场	56640	27940	6-1-2-3-5-31-14-32-13-4-16-23-22-17-12-20-21-30-26-24-29-27-28-19-18-10-11-7-9-8-6

由表 3 可以看出, 无论是哪一种情况, 优化后运输车辆的行驶路程都比初始行驶路程减少了 50% 以上, 其中运输车从 30 号租赁点附近的停车场出发, 最

后返回到 6 号租赁点附近的停车场为最优行驶路线, 总共行驶路程为 27140 米。运输车辆的最终行驶路线如图 3 所示。

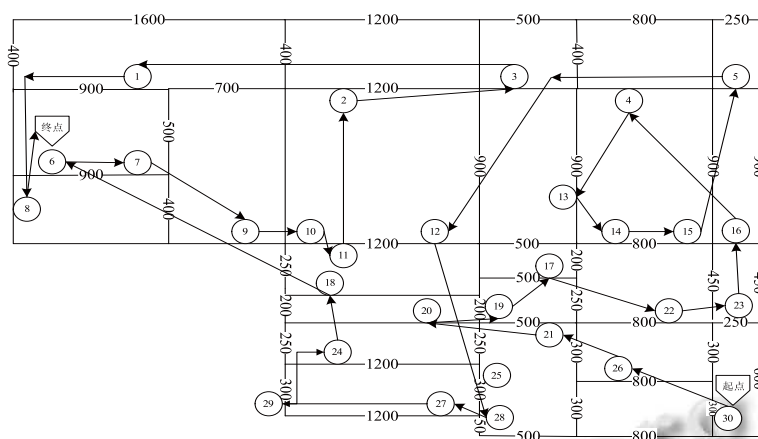


图3 运输车辆行驶路线

### 5 结论

建立基于运输成本最小的公共自行车交通系统的调度模型, 并采用遗传模拟退火算法对其进行求解, 通过实验结果表明, 该算法具有可行性且效果较好, 该方法对公共自行车交通系统管理部门进行公共自行车的调度具有重要的指导意义. 对公共自行车静态车辆调度问题进行了研究, 如何对动态的公共自行车交通系统调度问题建立合适的模型并求解还需要进一步探索.

### 参考文献

- 1 龚迪嘉, 朱忠东. 城市公共自行车交通系统实现机制. 城市交通, 2008, 6(6): 27-28.
- 2 董红召, 赵敬洋, 郭海峰, 郭明飞. 公共慢行系统的动态调度建模与滚动时域调度算法研究. 公路工程, 2009, 34(6): 68-69.
- 3 邹彤, 李宁, 孙德宝. 不确定车辆数的有时间窗车辆路径问题的遗传算法. 系统工程理论与实践, 2004, 24(6): 134-138.

- 4 李军. 有时间窗车辆路线安排问题的启发式算法. 系统工程, 1996, 14(5): 45-50.
- 5 王惠, 陈燕. 基于遗传算法的多目标的有时间窗的车辆调度. 计算机应用, 2004, 24(9): 144-145.
- 6 李兵, 郑四发, 曹剑东, 杨扬, 耿华, 连小珉. 求解客户需求动态变化的车辆路径规划方法. 交通运输工程学报, 2007, 7(1): 106-109.
- 7 Jia YJ, Gu HY, Xi YG. Rolling horizon scheduling algorithm for dynamic vehicle scheduling system. Journal of Southeast University, 2005, 21(6): 92-96.
- 8 李军. 车辆调度问题的分派式启发式算法. 系统工程理论与实践, 1999, 17(1): 27-33.
- 9 刘波, 孟相如, 麻海圆. 一种用于分组调度的遗传模拟退火算法. 通信技术, 2009, 2(42): 91-93.
- 10 任传祥, 张海, 范跃祖. 混合遗传模拟退火算法在公交智能调度中的应用. 系统仿真学报, 2005, 17(9): 2075-2081.

(上接第 152 页)

- 3 荆平, 贾海峰. 基于 MATLAB 与 GIS 的污水回用决策支持系统开发与应用. 清华大学学报(自然科学版), 2008, 48(3): 352-356.
- 4 胡智文, 陈连运, 余增亮. 利用 ActiveX 技术的 VB 与 Matlab 间的无缝集成. 计算机工程, 2004, 30(7): 64-65.
- 5 孙锐, 苗放. ActiveX 控件与服务器端对象级交互的探讨和应用. 计算机应用, 2007, 27(7): 1729-1731.
- 6 谭闻, 张小武. 输电线路可听噪声研究综述. 高压电器, 2009, 45(3): 109-112.
- 7 唐剑, 何金良, 刘云鹏, 等. 海拔对导线交流电晕可听噪声影响的电晕笼试验结果与分析. 中国电机工程学报, 2010,

- 30(4): 105-111.
- 8 万保权, 郭雄, 张业茂, 等. 750kV 单回紧凑型输电线路的电磁环境. 高电压技术, 2009, 35(3): 597-600.
- 9 郭雄, 万保权, 张广州, 等. 750kV 输变电工程电磁环境的研究. 武汉: 国家电力公司武汉高压研究所, 2002.
- 10 陈涛, 杨建国, 杨江云. 基于 Matlab 与 .Net 的神经网络推理应用. 微机发展, 2004, 14(11): 33-36.
- 11 黄一丹, 严洪森, 冯丽娟, 等. 基于 C#.NET 与 Matlab 接口和 BP 网络的汽车产量预测. 计算机技术与发展, 2008, 18(11): 36-40.