

# 公交线路车辆排班模型及算法研究

毛霖 李文权

东南大学，交通学院，南京 210096

**摘要：**针对公交运营调度系统中的车辆排班问题，以公交车辆的线路安排为对象，在不考虑线路-车辆匹配约束的条件下，建立起公交线路车辆排班模型，从而达到排班车辆最少的优化目标。首先，分析公交车辆在典型工作日内不同时间段的排序特征；然后，深入剖析组合最优化理论中的固定工件排序问题，并将其应用于建立公交线路车辆的排班模型，进而提出排班模型的求解算法；最后，结合10条公交线路的到发时刻表对该模型作了具体的应用，并通过Gantt图直观显示公交线路车辆的最优调配安排。

**关键词：**公交调度；固定工件排序；车辆排班模型；Gantt图

中图分类号：U491.1

文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2009)03-0064-05

## Research on

## Transit Vehicle Scheduling Model and Its Algorithm

MAO Lin LI Wen-quan

School of Transportation, Southeast University,

Nanjing 210096, China

**Abstract:** On view of the vehicle scheduling problem in transit operation system, targeted transit route assignment, a transit route scheduling model, not considering the constraints of route-vehicle matching, was established, in order to minimize the scheduling vehicles. First, the transit vehicle scheduling characteristics at different time stages in a typical working-day were analyzed. Then, a fixed job scheduling model in the theory of combinative optimization problem was analyzed deeply, which is applied to establish the transit route scheduling model. Furthermore, the model's algorithm was introduced. Finally, specific

收稿日期：2008-11-04.

基金项目：“863”国家高技术研究发展计划（2007AA11Z210）；资助课题：城市常规公共交通智能化调度关键技术研究。

作者简介：毛霖（1982-），女，汉，江苏省南通市人，东南大学交通学院博士研究生。其主要研究方向：交通运输规划与管理。

application of the model was presented according to ten transit routes of a city. The optimum route-vehicle scheduling results were shown directly as Gantt chart.

**Key words:** Transit dispatching, fixed job scheduling, vehicle scheduling model, Gantt chart

## 0 引 言

公交智能化运营调度系统是智能公共交通系统的重要组成部分,直接影响居民的公交方式出行比例和城市交通运输效率。公交车辆排班计划的编制是实现该系统的一项重要内容,即公交调度员根据历史车辆运营情况和公司制定的公交线路行车计划,为每条行车线路调配具体执行的公交车辆。要完成公交运营调度技术的软件实现,首先就必须建立起公交车辆的排班模型和算法。国内外许多学者对此进行了广泛而大量的研究,如2001年André de Palma和Robin Lindsey研究了在给定公交车辆数量的前提下,当乘客对出行次数和时刻延误成本有不同的期望时,单条线路的发车时刻优化方法<sup>[1]</sup>。

同年,A.Ceder等阐述了给定网络公交车同步性最大化的时刻表制定问题,考虑了用户的满意度和方便性,使同时到达网络连接(换乘)点的公交车的数量最大,从而使换乘乘客在最短的等待时间内在换乘站点从一条线路到另一条线路上。该研究成果应用于以色列的公交调度系统,取得了一定的效果<sup>[2]</sup>。2002年Ali Haghani等研究了多车场车辆调度问题和有时间窗的多车场车辆调度问题的模型,并阐述了相应的启发式算法<sup>[3]</sup>。

在国内,北京航空航天大学张飞舟提出了运用遗传算法和混合遗传算法来进行车辆调度优化的方法<sup>[4]</sup>;青岛科技大学的童刚建立了公交调度模型并求出均匀的发车间隔<sup>[5]</sup>;董强等探讨了带软时间窗的单线路、单车型的公交调度问题,分别选择运力与运量的平衡、乘客的不方便程度与公交公司的成本最小作为目标函数建立公交调度的数学模型<sup>[6]</sup>。

本文根据公交车辆的运行特征及管理方式,结合最优化理论中常见的固定工件排序问题,建立不同时间段公交线路的车辆排班模型并给出具体的

算法。

## 1 公交线路车辆排班问题分析

公交车辆排班问题是根据公交车辆的类型属性,为每条公交线路指派具体实施的车辆。按照公交公司的调度计划,每辆公交车应当按照严格的时刻表停靠指定站点,而在实际执行过程中,车辆运行往往会受到道路交通状况和管理水平的影响。

考虑在道路和交通条件良好的前提下,第*i*辆车从某一站点出发时有一确定时刻 $t_{oj}$ ,运行一段距离后到达一站点时刻为 $t_{dj}$ ,记为 $T_j = [t_{oj}, t_{dj}]$ 。其区间长度为公交车辆在两站点间的行车时间,包括公交车在站间的运行时间、减速进站、开关门、乘客上下车、加速离站的总消耗时间,亦作为平峰期时间段的区间长度标准。根据国内大部分城市的公交运营现状,公交车辆很难准点出发或到站,因此,出站及到站时间各增加一个变量 $\delta_o$ 、 $\delta_d$ ,记

$$T_j^c = [t_{oj} + \delta_o, t_{dj} + \delta_d] \quad \delta_o, \delta_d > 0 \quad (1)$$

一个典型工作日分为高峰期、平峰期、低峰期三个不同的时间段。高峰期时间段公交车辆由于受大量交通流的影响,在通过路段和交叉口时车辆行驶延误时间增加。并且由于车辆的满载率较高,在公交站点的消耗时间增加,亦即增加一个 $t_c$ ,因而公交车辆在两站点间的行车时间为:

$$T_j^l = [t_{oj}^l, t_{dj}^l + t_c] \quad t_c > 0 \quad (2)$$

低峰期时间段车辆行驶过程中受道路和交通状况的影响小,车辆空载率较高,车辆的停站时间减少,因此相应的行车时间记为:

$$T_j^s = [t_{oj}^s, t_{dj}^s - t_c] \quad t_c > 0 \quad (3)$$

这样根据公交车辆在站点间的占用时区,考虑车辆在最优情况(利用效率最高)下安排各条线路的公交车

辆,如果有未安排的情况,需要调整公交调配,以得到最优的公交线路排班方案,这就是以下讨论的内容。

## 2 公交线路车辆排班模型

### 2.1 固定工件排序问题

固定工件排序问题可以描述为:考虑  $n$  个工件构成的集合  $J = \{J_j | j = 1, 2, \dots, n\}$ ,  $m$  个机器 (processor) 构成的集合  $P = \{P_k | k = 1, 2, \dots, m\}$ , 每个机器在同一时间至多只能加工一件工件,一个工件只能被一个机器加工,并且工件一旦开始加工便不能中断直到加工完毕。每一工件  $J_j$  均有一个固定的开始加工时刻  $t_{vj}$  和结束加工时刻  $t_{dj}$ 。机器与工件间存在一个映射函数  $P \rightarrow J$ , 即对  $\forall P_k \in P$ , 存在一个工件子集  $S_k \in J$ , 机器  $P_k$  可以加工  $S_k$  中的任意工件。问题是能否寻求一种机器安排方案使得所有工件都能按映射关系安排加工,并使总加工成本最低。按排序论的标记方法<sup>[7]</sup>, 该问题记为:

$$P_m | \text{Fixed Job, } P \rightarrow J \text{ Mapping} | \min z = \sum_i \sum_J C_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

式中,  $P_m$  表示  $m$  个平行机器;  $\min z = \sum_i \sum_J C_{ij} X_{ij}$

为误工任务数。

### 2.2 公交线路车辆排序模型

将待调配的公交车辆对应于

$$P_m | \text{Fixed Job, } P \rightarrow J \text{ Mapping} | \min z = \sum_i \sum_J C_{ij} X_{ij}$$

中的机器,记为集合  $P = \{P_i | i = 1, 2, \dots, m\}$ , 公交线路对应于待加工的工件,其集合记为  $J = \{J_j | j = 1, 2, \dots, n\}$ , 每条线路均有出站和到站时刻,记为  $J_j = [t_{oj}, t_{dj}]$ 。假设公交车辆对线路的调配满足下列约束:

- (1) 同一时间每辆车最多执行一条线路;
- (2) 每条线路只能被一辆车执行,且线路一旦执行就不能被中断直至执行完毕;
- (3) 公交车辆与线路应相匹配。

根据上述固定工件排序理论的讨论,公交线路车辆排班问题可以表示为

$$P_m | \text{Fixed Job, } P \rightarrow J \text{ Mapping} | \min z = \sum_i \sum_J C_{ij} X_{ij} \quad (5)$$

式中:  $P_m$  表示  $m$  辆公交车;  $P \rightarrow J$  表示公交车、线路的匹配关系; 且

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{公交线路调配给公交车} \\ 0 & \text{线路未分配给车辆} \end{cases} \quad (6)$$

### 2.3 算法设计

首先定义出算法中出现的变量标号:对任意一点  $i$ , 定义公交车标号为  $P(i) = 1, 2, \dots, m$ , 集合  $P = \{P_i | i = 1, 2, \dots, m\}$ 。根据  $P_i$  的值确定车辆参与公交线路调度的优先顺序:

$$J(j) = \begin{cases} i & \text{公交线路分配给车辆 } P_i (i = 1, 2, \dots, m) \\ 0 & \text{线路未分配给车辆} \end{cases} \quad (7)$$

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{公交车辆 } P_i \text{ 与线路 } J_j \text{ 匹配} \\ 1 & \text{公交车辆 } P_i \text{ 与线路 } J_j \text{ 不匹配} \end{cases} \quad (8)$$

计算步骤如下:

(1) 每辆公交车的出发和到达时刻分别表示成一个出发事件和到达事件,将所有出发和到达事件按照发生时间的先后顺序由小到大排序,得  $z_1 \leq z_2 \leq \dots \leq z_{2n}$ , 若  $z_i = z_{i+1} = \dots = z_{i+k}$ , 则总是安排到达事件优先。赋初值  $P$  及  $P(i)$ , 计数器  $Counter = 0$ 。

(2) 假设  $z_k$  为到达事件,对应的线路记为  $J_k$ , 则有

$$\begin{aligned} m &= m + 1, \\ P &= P + \{P_i | i = J(j)\} \\ P(J(j)) &= m \end{aligned}$$

假设  $z_k$  为出发事件,对应的线路记为  $J_k$ , 则找出  $P_k \in P$ , 使满足

$$\begin{cases} \beta_{kj} = 0 \\ P(k) = \min\{P(i) | i \in P\} \end{cases}$$

如果  $P_k$  存在,则赋值  $J(j) = k, m = m - 1$ ,  $P = P - \{P_k\}$ , 其中  $P_i \in P$ , 且  $P(i) > P(k)$ , 修改车辆标号重新赋值:  $P(i) = P(i) - 1$ ; 否则:

$$J(j) = 0 \quad Counter = Counter + 1$$

(3)  $k = k + 1$ 。

(4) 若  $k \leq 2n$ , 转步骤 (2); 否则停止计算, 输出  $J(j), j=1,2,\dots,n$ , Counter。

### 3 实例应用

某市 10 条公交线路的到发时刻安排如表 1 所示, 分析 5 台公交车辆对这几条线路的调配问题。其中公交车与线路的匹配问题如表 2 中的  $\beta_{ij}$  值所示。

表 1 公交线路到发时刻

Tab. 1 Timetable of the transit routes

$J_j$	$t_{oj}$	$t_{dj}$
线路 1	6:30	12:15
线路 2	7:45	15:50
线路 3	8:40	13:35
线路 4	12:30	15:15
线路 5	13:10	20:00
线路 6	15:50	19:10
线路 7	12:50	16:05
线路 8	15:45	22:30
线路 9	7:10	11:55
线路 10	9:00	13:20

表 2 线路-车辆匹配关系

Tab. 2 Matching relation between routes and vehicles

$\beta_{ij}$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
线路 1	1	0	0	0	0
线路 2	1	0	0	0	1
线路 3	0	0	0	0	0
线路 4	0	1	0	0	0
线路 5	0	0	1	1	0
线路 6	0	0	1	0	0
线路 7	0	1	1	0	0
线路 8	0	0	1	0	0
线路 9	1	0	0	1	0
线路 10	0	0	0	0	1

根据上述算法步骤得到如下线路安排结果:

$$J(7) = J(9) = P_1, J(1) = J(5) = P_2, J(2) = P_3, J(3) = J(6) = P_4, J(4) = J(8) = P_5, J(10) = 0, Counter = 2$$

线路安排如图 1 所示。

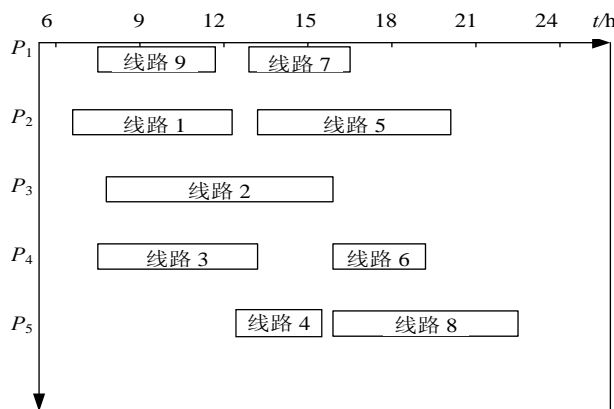


图 1 线路-车辆安排 Gantt 图

Fig. 1 Gantt chart of route-vehicle arrangement

### 4 结论

本文研究了公交线路在高峰、平峰、低峰不同时间段内的车辆运行特性, 以达到车辆利用效率最高为目标, 安排公交线路车辆的排班调度。通过建立描述线路-车辆的调配约束关系, 将公交车的线路排班问题转化为一般形式的固定工件排序问题, 从而建立起公交线路车辆排班模型, 并设计出模型的算法步骤。最后, 通过一个具体的算例分析, 讨论得出基于公交车使用数最少、运营总成本最小的公交车-线路的最优调配方案, 从而为公交运营调度提供了必要的理论基础。

#### 参考文献

[1] André de Palma, Robin Lindsey. Optimal timetables for public Transportation[J]. Transportation Research Part B, 2001, 35: 789-813.

[2] Ceder A., Golany B., Tal. O. Creating bus timetables with maximal synchronization[J]. Transportation Research Part B, 2001, 35: 913-928.

[3] Ali Haghani, Mohamadreza Banihashemi. Heuristic approaches for solving large-scale bus transit vehicle scheduling problem with route time constraints [J]. Transportation Research Part A, 2002, 36: 309-333.

[4] 张飞舟. 公交车智能调度及相关技术研究[D]. 北

从图 2 可以看出, 因素 A (石灰掺量) 中的抗压回弹模量峰值出现在 A2 水平上; 对于因素 B (粉煤灰掺量), 随着粉煤灰掺量的不断增加, 混合料的抗压回弹模量不断下降, 故 B 确定为 B1 水平; 而因素 C (钢渣掺量) 中, 抗压回弹模量随着钢渣掺量的增加而不断增加, 在 C3 水平上达到最大。综合可得混合料的 7 天抗压回弹模量最佳组合为 A2B1C3, 即石灰掺量在 9%, 粉煤灰掺量在 20%, 钢渣掺量在 40% 的组合最好。

### 3 结 论

经过两轮的试验, 石灰粉煤灰稳定钢渣土的抗压回弹模量变化呈现出了一定的规律性, 得出以下结论:

(1) 从均匀试验中可看出, 随着钢渣置换土的比例不断加大, 二灰钢渣土的抗压回弹模量有着明显的提高; 同时随着时间的增加, 二灰钢渣土的抗压回弹模量不断增长, 但当钢渣掺量过多时, 混合料的抗压回弹模量反而会下降。

(2) 从正交试验中可以看出, 各因素对二灰钢渣土的 7d 抗压回弹模量的影响次序为: 石灰掺量 > 粉煤灰掺量 > 钢渣掺量。本文中石灰掺量在 9%, 粉煤灰掺量在 20%, 钢渣掺量在 40% 的组合最好。

(3) 从对整个试验结果的分析来看, 石灰粉煤灰稳定钢渣土中钢渣的掺入量应该控制在 20% ~ 40% 之间, 同时要控制其它混合料的掺入量, 这样既可以有效地减少土的掺入量, 保护耕地, 又可以合理的利用工业炼钢所得到的残渣。

#### 参考文献

- [1] 王华阳. 二灰土强度形成影响因素的试验与应用研究[D]. 南京林业大学, 2007.
- [2] 李 芸. 掺钢渣的石灰粉煤灰稳定碎石性能的研究[D]. 南京林业大学, 2005.
- [3] 王元纲, 李 芸. 掺钢渣的石灰粉煤灰稳定碎石抗压强度的研究[J]. 森林工程, 2006, 22(2): 43-45.
- [4] 王建军. 石灰粉煤灰稳定钢渣在路面基层中的应用[J]. 交通标准化, 2006, (6) .
- [5] 陶海生. 二灰钢渣基层早期强度分析[J]. 公路与汽运, 2004, (1): 36-38.
- [6] 袁玉卿, 吴传海. 二灰钢渣混合料力学性能试验研究[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(12): 38-40.
- [7] 王军龙, 肖建庄. 二灰稳定再生集料的抗压回弹模量的试验研究[J]. 路基工程, 2007, (1): 48-50.

(中文编辑: 吴继屏)

上接第 67 页

- 京: 北京航空航天大学, 2000.
- [5] 董 刚. 公交调度模型及算法[J]. 青岛科技大学学报, 2004, 25(3): 253-257.
- [6] 董 强, 刘超慧等. 公交车调度问题的研究[J]. 工程数学学报, 2002, 19(2): 59-66.
- [7] 唐恒永, 赵传立, 等. 排序引论[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

(中文编辑: 刘娉婷)