

## 常规公交线路车辆配置优化的双层规划模型及算法

邸振<sup>1,2</sup>, 查伟雄<sup>1</sup>

(1. 华东交通大学 交通运输与经济研究所, 江西南昌 330013; 2. 南昌工程学院 理学系, 江西南昌 330099)

**摘 要:** 常规公共交通对普通居民的出行至关重要, 如何确定车辆配置是公交企业的一个难点. 在对公交线路车辆配置的影响因素——企业行为、乘客行为和政府行为分析时发现, 这一问题是一个领导者-追随者对策问题, 建立双层规划模型来解决. 通过具体的算例对该模型进行了测试, 得到了公交线路的最优车辆配置, 表明该模型和算法是合理有效的.

**关键词:** 交通运输系统工程; 车辆配置; 双层规划模型; 公共交通

**中图分类号:** U463.33 **文献标识码:** A

### 0 引言

城市交通问题遍布国内外各大城市, 困扰着市政当局, 影响了居民的正常活动, 制约城市经济的发展, 引起社会的高度关注. 其主要表现为交通拥堵, 停车困难, 公共交通分担出行比例小, 交通事故增多, 行人交通不便, 环境污染严重<sup>[1]</sup>. 如何解决城市交通问题, 许多专家学者做了大量研究, 优先发展城市公共交通是其中共同的认识之一, 也是世界上许多国家解决交通问题最有效的途径之一. 文献[1]中提出的“公共交通分担出行的比例小”又是其他交通问题的一个影响因素, 因此优化城市公共交通线路, 科学合理地为每一条线路配置车辆成为发展公共交通不可或缺的重要环节.

目前, 常规公交依然是很多城市公共交通的重要组成部分, 其车辆配置研究分为两个方面: 公交线网车辆配置和公交线路车辆配置. 前者是从宏观角度对公交网络整体进行分析, 比如美国《通行能力手册》对公共交通车辆的客运能力进行了论述, 讨论了公共交通系统的车辆配置<sup>[2]</sup>. “七五”国家重点科技攻关专题“大城市公共交通系统和轻轨交通方式的研究”从公共交通合理分担客运量方面对车辆的配置进行了研究<sup>[3]</sup>. 文献[4]根据公交客周转量和车辆生产率原理, 导出了公交配车量的计算公式. 以上研究都没有把

整体车辆配置分配到具体线路上. 笔者主要讨论后者——公交线路的车辆配置问题. 文献[5]在分析了企业和乘客的综合利益后, 建立了以企业支出与乘客出行时间的加权之和为目标函数的数学模型; 文献[6]在分析了影响车辆配置的各种因素后得到一系列约束条件, 没有设定目标函数, 得到了车辆配置的一个区间; 文献[7]以日载客容量最大为目标函数, 同时考虑资金约束、道路资源约束及带有模糊随机参数的乘客需求约束, 提出了一个公交车辆合理配置的混合机会约束规划模型. 另外, 更多的文献是从车辆调度方面进行研究<sup>[8-9]</sup>.

### 1 常规公交线路车辆配置的影响因素分析

为方便问题讨论以及模型求解, 对实际问题作以下假设:

- (1) 公交线路车辆配置在公交线路确定以后;
- (2) 根据客流情况将全天分为高峰时段、正常时段、低谷时段和过渡时段<sup>[10]</sup>, 并且每个时段内的车速相同;
- (3) 乘客到达率服从均匀分布;
- (4) 统一票价;
- (5) 每一辆车都准时到达;
- (6) 由于要保证车辆的循环, 对开的情况暂

收稿日期: 2010-02-29; 修订日期: 2010-04-30

基金项目: 江西省自然科学基金资助项目(0611022)

作者简介: 邸振(1979-), 男, 安徽涡阳人, 硕士研究生, 研究方向为运筹学、交通运输规划与管理.

不考虑,只考虑单行;

(7)两站间的距离相等,即两站间的运营时间相等;

(8)先到先上车;

(9)等一辆公交车,若不能上车则改乘其他交通方式.

### 1.1 企业行为

公交公司作为一个企业,盈利是其首先要考虑的问题.盈利是收益与成本之差,那么公交公司希望在相同的收益下成本最少或者在成本固定时收益最大.所以不管建立什么样的模型都不可避免地考虑企业利益.

在假设(4)票价统一的前提下,收益的直接来源是乘客的多少(公交公司的广告以及其它收益在此不作考虑),公交公司希望发出的每一辆车都尽量满载,这就要求发车时间间隔不要太小.

公交公司的成本包含固定成本和变动成本两部分.固定成本主要是车辆的购置费用和维护费用;变动成本主要为运行成本,包括司乘人员工资和燃油费用等.在假设(1)、(2)的前提下,发车时间间隔与车辆配置数目反方向变化,而车辆购置费用与车辆配置数目成正比.可以把车辆的购置费用和可能发生的维护费用平均到使用年限内的每一天甚至是每一次开行,是个常数.每个时段内每次开行的运行费用大致相同,也取常数,所以整个时段的运营费用与发车的多少成正比.以上两方面也都要求发车时间间隔不能太小.

### 1.2 乘客行为

一般来说,居民出行都有一定目的,需要考虑两个方面:时间成本和经济成本.一个人要乘坐公交车,那他就要付出一段等待时间和乘车时间.乘车时间包括公交车运行时间和中间站点的停站时间,关系到乘客对于路径的选择<sup>[11]</sup>.笔者暂时只考虑一条公交线路.等待时间是一个随机变量,与公交车的发车频率有关.假如乘客不能乘上等来的第一辆公交车,那他要继续再付出一个甚至更多个发车时间间隔的等待时间,付出更多的时间成本,否则就要改乘其他交通方式,付出更多的经济成本.比如可以步行或者骑自行车,也可以乘出租车等.为简单起见,采用假设(9).另外,乘客还希望乘坐的公交车不要太拥挤.等待时间太长和拥挤是公交公司损失乘客的主要因素,这两者也是衡量公交服务质量的主要指标.乘客的数量与公交服务质量相关.假如潜在的乘客数量是固定的,真正乘客的比例随着发车时间间隔的增大而

减小.所以乘客希望公交车的发车时间间隔不能太长.

### 1.3 政府行为

公共交通具有公益性,承载了普通居民相当重要的出行比重.发展公共交通代表了大多数人的利益,特别是为低收入阶层提供了享有城市交通设施的权利,体现了城市道路交通发展的公正性<sup>[7]</sup>.但是公共交通行业的发展要通过公交企业来完成.企业作为主体,要讲究成本和效益.这就涉及到如何处理经营性和公益性之间的关系问题.

政府的作用是要解决市场缺失的调控功能.既然是市政公用事业,特别是公共交通行业具有公益性的性质,仅仅靠市场的手段,显然很难协调经营性和公益性之间的关系.例如公共交通线路,既然是公益性的,线路的开辟、运营的车次、票价的确定等就不能仅仅以盈利为主要标准,而是要以大众能够满意和接受的服务为主要标准.所以,公共交通的服务标准不是由企业制定,而是要由政府按大众的需求来制定<sup>[12]</sup>.但另一方面,道路资源是有限的,即便是具有公益性质的公共交通工具,也不可能无限增多.

## 2 车辆配置双层规划模型分析

### 2.1 符号说明

如图1是某公交线路的上行图示, $i(1,2,\dots,m)$ 表示站点编号, $j(1,2,\dots,n)$ 表示发出的车辆编号,下面给出文中所用符号:

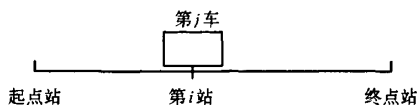


图1 某公交线路的上行线

Fig.1 The uplink of a bus line

其中: $[T_1, T_2]$ 为讨论的时间段; $x$ 为 $[T_1, T_2]$ 内配置的车辆数; $n$ 为 $[T_1, T_2]$ 内发送的车辆数; $y$ 为发车时间间隔; $m$ 为站点总数; $C$ 为车内最大容量; $c_1$ 为平均每辆公交车运营成本; $c_2$ 为投资一辆公交车分摊的固定成本; $p_1$ 为统一票价; $p_2$ 为乘客改乘其他交通方式的费用; $L$ 为公交线路长度; $v$ 为公交车在讨论时段的平均速度; $D_{ij}$ 为车到达站时下车的乘客数; $V_{ij}$ 为车从站到站之间车内的乘客数; $q_{ij}$ 为车到达站时能提供的乘车空间,人; $W_{ij}$ 为车到达站时在站候车的人数; $U_{ij}$ 为车到达站时在站上的乘客数.

## 2.2 双层规划建模

通过第1节的分析,分别以企业行为和乘客行为作为上层和下层的目标函数,以政府行为作为约束条件建立双层规划模型.在此只考虑高峰时间段,其他时间段可类似讨论.

### 2.2.1 上层目标函数

以企业利润最大作为上层目标函数:

$$\max_x P_1 = \rho_1 \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m U_{ij} - c_1 n - c_2 x \quad (1)$$

$$x, n > 0 \text{ 且为整数} \quad (2)$$

式中:上车人数  $U_{ij} = \begin{cases} W_{ij}, W_{ij} \leq q_{ij}; \\ q_{ij}, W_{ij} > q_{ij} \end{cases}$ ; 乘车空间  $q_{ij}$

$$= C - V_{ij} - D_{ij};$$

### 2.2.2 下层目标函数

乘客到达人数  $W_{ij}$  有两部分,一部分是上车人数  $U_{ij}$ ,其经济费用为  $\rho_1 U_{ij}$ ;另一部分为没能上车的人数  $W_{ij} - U_{ij}$ ,改乘其他交通方式,其经济费用为  $\rho_2 (W_{ij} - U_{ij})$ . 由于假设(9)所以等待时间为  $W_{ij} \frac{\gamma}{2}$ .

以居民出行的经济成本和时间成本的加权和最小为目标函数:

$$\min_y P_2 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \{ \alpha [\rho_1 U_{ij} + \rho_2 (W_{ij} - U_{ij})] + \beta W_{ij} \frac{\gamma}{2} \} \quad (3)$$

式中: $\alpha, \beta$  为加权系数.

### 2.2.3 约束条件

要使大部分想乘公交出行的人有车可乘,即乘车率不得低于某个值  $a (0 < a \leq 1)$ ;讨论时间段内的发车时间  $[T_1, T_2]$  间隔限制为  $[t_1, t_2]$ ;另外线路长度、车辆速度、车辆配置、时间间隔应满足式(6).

$$\frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m U_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m W_{ij}} \geq a \quad (4)$$

$$t_1 \leq \gamma \leq t_2 \quad (5)$$

$$\frac{L}{vx} \leq \gamma \quad (6)$$

以式(1)和(3)为上下层目标函数,式(2)和(4)、(5)、(6)为上下层约束条件建立双层规划模型.

## 3 算法分析

因为条件(4)比较复杂,且是由发车时间间

隔  $\gamma$  确定的,所以先暂不考虑;由于约束条件(2)是整数约束,和约束条件(5)、(6)一起确定的下层最优解必然是有限的,用计算机编程求解很容易实现.把所得到的这有限组解先代入约束条件(4)进行检验,对满足条件的解再代入上层目标函数(1),得到最优解.按照上述思想,形成以下算法(可参见图2):

(1) 考虑下层约束条件(5)、(6),得到  $(x, y)$  一个取值范围(如图2中的整个闭区域  $ABCD$ );

(2) 考虑约束条件(2)对是整数的要求,把搜索范围迅速缩小(如图2中的竖线段  $AB, EF, GH, DC$ );

(3) 下层目标函数是  $\gamma$  的单调递减函数,在不考虑(4)的情况下,下层的最优解在上述竖线的最底端(如图2中的点  $A, E, G, D$ );

(4) 把第三步中所得到的点代入条件(4)进行检验,把不满足(4)的点删除(如图2中的点  $A$  被删除);

(5) 第四步得到的所有点构成的集合就是该双层规划问题的诱导域(如图2中的  $E, G, D$  三点),代入上层目标函数,使其取最大值的点即为最优解(如图2中的点  $E$ ).

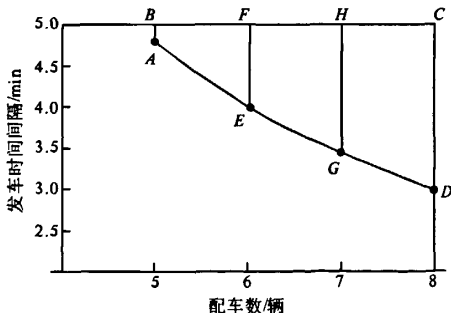


图2 算法设计及算例分析图示

Fig. 2 The illustration of algorithm design and calculation example analysis

## 4 算例

已知某公交线路的长度为6 km,沿途共有11站,高峰时间段为7点到8点,这个时间段的平均车速为15 km/h;发车时间间隔不得超过5 min;承载率大于或等于85%;乘客到达服从均匀分布.参数  $\alpha, \beta$  取1,票价为1元,乘坐其他交通工具的成本为7元;配车成本为80元,运行一次的成本为100元;车厢的最大容量是100人.上行各个站点等待乘客的OD矩阵见表1,计算结果见表2.

从表 2 可以看出,本算例的最佳配车数为 6 93%,结果符合实际.  
辆,发车时间间隔为 4 min,此时的承载率达到

表 1 某公交线路 OD 表  
Tab.1 OD data of a bus line

上车站	下车站										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	18	33	86	110	120	90	70	55	16	16
2	0	0	10	12	100	122	100	50	60	32	20
3	0	0	0	15	44	84	80	60	50	50	8
4	0	0	0	0	20	40	50	70	70	50	17
5	0	0	0	0	0	12	41	77	68	67	35
6	0	0	0	0	0	0	26	45	70	81	55
7	0	0	0	0	0	0	0	8	33	62	40
8	0	0	0	0	0	0	0	0	10	29	50
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	25
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2 不同配车数量下的计算结果  
Tab.2 Results of different vehicle allocation

配车数	时间间隔/min	承载率/%	企业盈利/元	乘客经济成本/元	乘客时间成本/min	乘客总成本
5	5.000 0	80.21	553	5 871	6 710	11 581
6	4.000 0	92.93	514	3 822	5 368	9 190
7	3.430 0	100.00	324	2 684	4 603	7 287
8	3.000 0	100.00	44	2 684	4 026	6 710

5 结语

在既定的公交线路上建立了车辆配置的双层规划模型,该模型可以直观地反映公交系统中供给者、使用者以及约束者之间的相互影响关系,更符合系统运行的实际情况.由于上层模型变量取值为整数,所以比求解一般的双层规划模型简单,容易求解.最后,以具体的算例对该模型进行了测试,结果表明,该模型合理有效.

为了便于分析,有些假设不符合实际;另外笔者也提出了影响公交出行的另一个重要因素是拥挤,但没有在模型中体现,这些都需要进一步深入考虑.

参考文献:

[1] 任福田.城市交通问题之管见[J].交通运输工程与信息学报,2003,1(1):14-17.  
[2] 美国交通研究委员会.专题报告:道路通行能力手册[R].任福田等译,1991:225-230.  
[3] 大城市公共交通系统和轻轨交通方式的研究(75-

23-03-03).“七五”国家重点科技攻关专题,1991:22-25.  
[4] 罗旗帜.城市公共交通配车量综合预测法[J].佛山科学技术学院学报:自然科学版,1998,16(4):7-11.  
[5] 冯树民,陈洪仁.公交车辆配置量计算方法研究[J].交通运输系统工程与信息,2006,6(3):79-81.  
[6] 祝付玲,邓卫,葛亮.公交线路运力配备方法研究[J].交通运输工程与信息学报,2005,3(1):93-97.  
[7] 马昌喜,马永红.公交车辆合理配置的模糊随机机会约束规划模型[J].交通运输工程与信息学报,2008,6(1):97-100.  
[8] 牛学勤,陈茜,王伟.城市公交线路调度发车频率优化模型[J].交通运输工程学报,2003,3(4):68-72.  
[9] 于滨,杨志振,程春田,等.公交线路发车频率优化的双层规划模型及其解法[J].吉林大学学报:工学版,2006,36(5):664-668.  
[10] 朱金寿,朱琪,杨勇刚,等.公交车调度方案的研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2002,26(2):169-171.  
[11] 贾俊杰,张勤.一种基于GIS的公交线路最短路径搜索算法[J].郑州大学学报:工学版,2008,29(2):92-94.  
[12] 杨涛.公共交通:在公益性中用好市场手段[J].城市轨道交通,2007,5(3):96-97.

## Bi-level Programming Model for Vehicle Allocation Bus Line

DI Zhen<sup>1,2</sup>, ZHA Wei-xiong<sup>1</sup>

(1. Institute of Transportation and Economics, East of China JiaoTong University, Nanchang 330013, China; 2. Department of Science, NanChang Institute of Technology, Nanchang 330099, China)

**Abstract:** Conventional public transport is essential for travelling of ordinary people, but how to determine the vehicle allocation is difficult for public transport enterprises. On analyzing the impact of factor about the vehicle allocation——corporate behavior, passenger behavior and government behavior we find that it is a leader-follower countermeasure question, Transit enterprises are upper decision-makers, and passengers are lower decision-makers. This question can be expressed by bi-level programming model. Finally, the model and algorithm were tested according to an example, and the optimal vehicle allocation of a bus line was obtained. The result shows that the model and algorithm are reasonable and effective.

**Key words:** engineering of communications and transportation system; vehicle allocation; bi-level programming model; public transport

(上接第 109 页)

- |  |  |
|--|--|
| <p>[2] NMR structure of a cyclic polyamide-DNA complex [J]. Am. Chem. Soc. 2004, 126: 7958-7966.</p> <p>[3] DICKINSON L A, GULIZIA R J, TRAUGER J W Inhibition of RNA polymerase II transcription in human cells by synthetic DNA-binding ligands [J]. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 1998, 95: 12890-12895.</p> <p>[4] YE Y, CAOL, NIU M, et al. ESI-MS fragmentation</p> | <p>pathways of N-methylpyrrole polyanide/peptide conjugates[J]. Mass. Spectro. 2006, 253(1/2): 141.</p> <p>[5] YE Y, ZHONG S, LIU R, et al. The synthesis of Diltiazem Analog containing phosphonyl group [J]. Phosphorus sulfur 2007, 182 (10), 2251-2257.</p> <p>[6] 叶勇, 杨俊亮, 刘艳红, 等. 偏端毒素衍生物与 DNA 相互作用的圆二色谱测定[J]. 郑州大学学报: 医学版, 2009, 44(06): 1161-1163.</p> |
|--|--|

## Synthesis and Characterization of Phosphonyl Pyrrole /amino Acid Conjugates

LI Hui, YANG Yu

(School of Materials & Chemical Engineering, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** A series of phosphonyl pyrrole /amino acid conjugates were synthesized. Their structure were confirmed by <sup>1</sup>H NMR, <sup>31</sup>P NMR, IR and ESI-MS/MS. Their structures were also characterized with the HMQC method. The main fragmentation pathways in ESI-MS were proposed.

**Key words:** NMR; ESI-MS/MS; phosphonyl pyrrole/amino acid conjugates