

文章编号: 1009-6744 (2007) 04-0043-04

智能交通系统与信息技术

公交调度发车间隔多目标组合优化模型

戴连贵¹, 刘正东²

(1. 广州新软计算机技术有限公司, 广州 510101; 2. 华南理工大学 交通学院, 广州 510641)

摘要: 合理有效的公交车辆发车间隔优化模型是优化调度方案、改善公交服务的关键。在分析现有模型的基础上, 根据客流变化规律, 对发车间隔采用分时段多目标组合优化处理的思想, 建立了以乘客和公交企业运营费用最小为目标的公交车辆调度发车间隔模型, 并采用广州市公交调查数据对该模型进行了验证, 实验表明该模型可行。

关键词: 智能交通系统; 公交调度; 发车间隔; 多目标; 优化模型

中图分类号: U492.22

文献标志码: A

Research on the Multi-objective Assembled Optimal Model of Departing Interval on Bus Dispatch

DAI Lian gui¹, LIU Zheng dong²

(1. Guangzhou Newsoft Technology Computer Limited, Guangzhou 510101, China;

2. College of Traffic & Communications, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: The proper and effective optimal model of the departing interval is the key to the dispatching scheme optimization and the bus service improvement. Based on the existing model and the alteration rule of the passenger movement, this paper has adopted the thoughts of handling the departing interval by the multi objective assembled optimizations to build the model of departing interval on bus dispatch aiming at the minimal fee of the passengers and bus companies. The model has been applied to the bus demonstration route of Guangzhou based on the local bus surveying data and proved to be feasible.

Key words: ITS; bus dispatch; departing interval; multi objective; optimal model

CLC number: U492.22

Document code: A

0 引言

公交调度是公交企业运营的核心基础工作^[1], 它是根据客流的变化和具体运营条件, 合理编排公交车辆运营作业方式, 以达到供需平衡, 实现有限车辆资源的有效管理和合理分配。目前, 我国城市

公交企业基本上还是采用“定点发车、两头卡点”的手工业的调度方式, 带来了公交车辆行车间隔不均衡、乘客候车时间过长、车辆载客率相差很大等问题, 严重影响了公交企业的服务形象和经济效益。因此, 根据实际客流变化不均衡的规律, 建立

收稿日期: 2007-03-21

基金项目: 广东省交通厅科技研究项目(200620)。

作者简介: 戴连贵(1966-), 男, 内蒙古人, 广州新软计算机技术有限公司高级工程师, 博士, 广东工业大学兼职教授, 主要研究方向为智能交通系统相关理论及高新技术的研究和应用开发。E-mail: liuzhen1621@sina.com

合理有效的公交车辆发车间隔优化模型, 获取面向乘客和公交企业需求的发车时刻表, 已成为优化公交调度方案、提高公交服务水平的关键^[2-4].

发车间隔的确定作为公交调度工作的关键, 是计算车队车辆数、车种、人员配置、车辆维修与保养、票价等参数, 制定合理的发车时刻表的前提. 目前已有的模型中, 部分模型考虑因素比较简单, 不能完全体现公交企业和乘客的共同利益^[5]; 另有部分模型考虑较全面, 但是存在权值难以确定等问题^[6,7]. 因此, 本文针对现有模型存在的不足, 从公交乘客和公交企业双方利益最大化出发, 根据公交车辆在实际运营时乘客流量在时间上的不均衡规律, 以极小化乘客和公交企业运营费用总和为目标, 对发车间隔采用分时段多目标组合优化处理的思想, 在合理假设的前提下, 建立了公交车辆调度发车间隔优化模型, 以期提高公交吸引力, 改善公交企业的服务质量.

1 公交车辆发车频率多目标组合优化模型的建立

1.1 模型假设

公交车辆行驶过程具有影响因素众多、外部环境复杂、客流量变化大等特点, 因此, 本文为建立城市公交车辆发车间隔多目标组合优化模型, 作出如下假设:

- (1) 在特定的时间段内, 所有车辆都沿着各自的规定线路运行;
- (2) 所有在车站候车的乘客在班车到达时均上车, 即认为车容量足够大;
- (3) 公交车到站后不准等客;
- (4) 所有公交车辆均不准许越站和相互超车;
- (5) 车辆运行速度不受道路交通运行突发情况的影响;
- (6) 在给定的同一时间段内, 车辆发车间隔时间固定;
- (7) 路段运行时间只与路段长度有关;
- (8) 同一线路上的所有公交车为同一型号, 且都为前门上车、后门下车;
- (9) 所有公交车按正常时间准时到站和出站.

1.2 变量、常量及符号说明

m —— 车辆 ($m = 1, 2, \dots$);

k —— 站点 ($k = 1, 2, \dots$);

r_k —— 该线路特定时段乘客随机到达 k 站点的到达率 (人/min);

a_k^m —— 第 m 车到达 k 站点的时间;

d_k^m —— 第 m 车离开 k 站点的时间;

P_k^m —— 第 m 车从第 k 站点离开时所载的乘客数;

q_k —— 到达 k 站点时的下车比例 (%);

\bar{a}, \bar{b} —— 单位乘客上、下车时间 (min/人);

u_1, u_2 —— 将乘客等车、车内时间转化为乘客出行费用的转换系数 (元/(人·min));

u_3 —— 将公交车行驶时间转化为可变运营费用的转换系数 (元/(人·min));

v —— 将公交车行驶里程转化为可变运营费用的转换系数 (元/km);

n —— 该线路的站点数;

S_{\max}, S_{\min} —— 该线路上最大、最小停车时间;

h_{\max}, h_{\min} —— 该线路上最大、最小发车间隔;

H —— 建立发车间隔优化模型时所基于的时间长度 (h);

V —— 该线路特定时段上公交车的平均速度 (km/h);

$D_{k-1,k}, D$ —— 该线路从站点到站点的距离和该线路的总距离 (km);

h —— 该线路特定时段的发车间隔 (min).

1.3 模型的建立

发车间隔的确定是一个非常复杂的过程, 作为乘客肯定希望获得更快捷的服务, 以减少其等车费用, 但是作为公交企业则总是希望发车频率尽量大, 以降低其可变运营费用. 因此, 本文从极小化乘客的等车费用、车内费用和公交企业运营变动费用总和出发建立发车间隔优化模型的目标函数, 其中所有费用均可转化为相应时间与单位费用的乘积, 由于固定费用不随运行时间变化, 因此可不考虑进目标函数中.

(1) 乘客的等车费用总和 $C_{\text{等}}$.

$$C_{\text{等}} = \frac{u_1}{2} \sum_k \sum_m r_k (a_k^m - a_k^{m-1})^2 \quad (1)$$

(2) 乘客的车内费用总和 $C_{\text{车内}}$.

乘客的车内费用总和等于乘客车内时间和单

位车内费用的乘积,分析可知,乘客的车内时间由乘客从第 $k-1$ 站到第 k 站的车内时间 T_1 和车辆到达第 k 站时不下车的乘客必须在车上等待的车内时间 T_2 两部分组成,而 T_2 可取车辆第 k 站时乘客上、下车所耗时间的平均值.

$$C_{\text{车内}} = v_2 \sum_k \sum_m \left[\frac{1}{2} \bar{a} r_k (a_k^m - a_{k-1}^m) P_{k-1}^m (1 - q_k) + \frac{1}{2} \bar{b} P_{k-1}^m q_k + (a_k^m - a_{k-1}^m) P_{k-1}^m \right] \quad (2)$$

(3) 公交企业的变动运营费用总和 $C_{\text{营业}}$.

$$C_{\text{营业}} = v_3 \sum_k \sum_m (a_k^m - a_{k-1}^m) \quad (3)$$

因此,发车间隔优化模型目标函数为

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \left\{ \frac{v_1}{2} \sum_k \sum_m r_k (a_k^m - a_{k-1}^{m-1})^2 + v_2 \sum_k \sum_m \left[\frac{1}{2} \bar{b} P_{k-1}^m q_k + (a_k^m - a_{k-1}^m) P_{k-1}^m + \frac{1}{2} \bar{a} r_k (a_k^m - a_{k-1}^m) P_{k-1}^m (1 - q_k) \right] + v_3 \sum_k \sum_m (a_k^m - a_{k-1}^m) \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

约束条件为

$$\begin{cases} S_{\min} \leq d_k^m - a_k^m \leq S_{\max} \\ h_{\min} \leq a_k^m - a_{k-1}^{m-1} \leq h_{\max} \end{cases} \quad \forall m, k$$

1.4 模型简化

基于以上分析,为构造更具实用性的优化模型,可作如下合理化简化.在 H 时间段内,发车次数为 $60 \cdot H/h$,所以公交企业的变动运营费用又可表示为

$$C_{\text{营业}} = 60 \cdot H v_3 \sum_k P_{k-1, k} / h = 60 \cdot H v_3 / h \quad (5)$$

同时,令发车间隔 $h = a_k^m - a_{k-1}^{m-1}$,平均上、下车时间相等即 $\bar{a} = \bar{b}$,特定时段平均行驶速度为

V ,简化目标函数可得

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \left\{ \frac{v_1}{2} h^2 \sum_k r_k + \frac{v_2 D}{V n} \sum_k \sum_m P_k^m + 60 \cdot H v_3 / h + \frac{v_2}{2} \bar{a} \sum_k \sum_m [P_{k-1}^m q_k + r_k P_{k-1}^m h (1 - q_k)] \right\} \quad (6) \end{aligned}$$

其中 平均速度 V 、平均上下车时间 \bar{a} 、乘客随机到达 k 站点的到达率 r_k 、可变营运费用 v_3 从第 k 站点离开时所载的乘客数 P_k^m 等变量按照不同时段的交通调查获取,约束条件同上.

2 实例验证及分析

本文以广州市某公交线路为研究对象,该线路上下行方向各有 15 个站点,单向总距离为 12km,车辆均为同一车型,每辆车平均载客人数为 75 人,票价统一都为 2 元,线路首班车发车时间为 6:00,末班车为 22:00.车辆正常平均运行速度为 20km/h,乘客平均上下车时间为 3s/人,发车间隔变化区间[2, 15] min,各站点停车时间变化区间[1, 3] min,平均等车时间价值和平均车内时间价值为 0.15 元/(人·min),公交企业运用费用为 3.8 元/km.

根据该线路工作日期间全天的历史客流量变化规律,可将该公交线路运营时段分为 6:00~7:00、7:00~9:00、9:00~12:00、12:00~14:00、14:00~17:00、17:00~20:00、20:00~22:00 共七个时段,相应各时段的发车间隔也根据各时段参数值的不同进行求解.根据公交调查数据,借助 Matlab 数学工具,应用最优化搜索算法寻求近似最优解,具体结果如表 1 所示.

表 1 各时段平均发车间隔及费用参数

Table 1 Departing interval and the fare parameters of every time interval

时段	优化前			优化后		
	h	$C_{\text{等车}}$	$C_{\text{车内}}$	h	$C_{\text{等车}}$	$C_{\text{车内}}$
6:00~7:00	9	525.31	3 874.51	10	536.72	3 541.32
7:00~9:00	5	720.72	22 449.63	3	569.68	20 574.31
9:00~12:00	8	1 260.52	17 898.34	6	968.43	14 381.75
12:00~14:00	4	900.46	24 686.72	5	1 023.15	20 786.47
14:00~17:00	8	1 256.52	17 652.68	6	974.54	15 347.29
17:00~20:00	4	1 350.69	27 586.29	3	1 120.73	21 564.34
20:00~22:00	10	900.72	10 081.35	6	786.41	8 654.17

对比表 1 中发车间隔优化前后各费用参数可知, 优化后的乘客等车费用、车内费用和企业营运费用之和明显低于优化前的费用, 同时, 该模型也考虑了乘客需求和企业经营需要在不同时段的重要性。比如客流高峰期, 虽然企业营运费用增加了, 但是由于乘客对等车时间和车内时间要求较高, 所以此时等车成本和车内成本有所下降, 这说明本文建立的多目标组合优化模型更具经济性和可行性, 在很大程度上考虑了乘客和企业的需求, 可作为公交企业编制发车时刻表的参考依据。

3 结束语

改善我国城市公交车辆的运营调度水平, 是提高城市公交服务质量、增加公交吸引力的重要途径^[1]。本文从公交乘客和公交企业双方利益最大化出发, 根据公交车辆在实际运营时乘客流量在时间上的不均衡规律, 对发车间隔采用分时段多目标组合优化处理的思想。在合理假设的前提下, 建立了以乘客和公交企业运营费用最小为目标的公交车辆调度发车间隔优化模型。并详细介绍了该模型的构建过程、目标函数的简化方法和约束条件的确定。最后采用广州市公交调查数据对所提出的模型进行了验证。实验表明该模型不仅稳定可靠, 而且考虑了乘客和企业的需求, 可作为实际编制发车时刻表的参考依据。

参考文献:

- [1] 张宁, 黄卫. 智能公交调度中心的规划与设计[J]. 交通运输系统工程与信息, 2004, 4(3): 65- 69. [ZHANG Ning, HUANG Wei. Planning and designing of intelligent public transportation dispatching center[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2004, 4(3): 65- 69.]
- [2] Mekkaoui O, De Palma A, Lindsey R. Optional bus timetables and trip timing preferences[C]//The 8th International Conference on Computer aided Scheduling of Public Transport, 2000: 1- 24.
- [3] 张飞舟. 公交车辆智能调度及相关技术研究[D]. [博士学位论文]. 北京: 北京航空航天大学, 2001, 2.
- [4] 杨兆升. 城市智能公共交通系统理论与方法[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.
- [5] 孙芙灵. 公交调度中发车间隔的确定方法的探讨[J]. 西安公路交通大学学报, 1997(17): 44- 48. [SUN Fulin. The research of methods for determining bus headway[J]. Journal of Xi'an Highway University, 1997(17): 44- 48. (in Chinese)]
- [6] 陈茜, 牛学勤, 等. 公交线路发车频率优化模型[J]. 公路交通科技, 2004, 21(2): 103- 105. [CHEN Qian, NIU Xue qin. Bus service frequency optimal model[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(2): 103- 105. (in Chinese)]
- [7] 吕鹏. 公交车调度[J]. 工程数学学报, 2002(19): 75- 80. [LV Peng. Buses dispatching[J]. Journal of Engineering Mathematics, 2002(19): 75- 80. (in Chinese)]