

文章编号: 1002-0268 (2002) 03-0123-04

智能交通系统中的公交车辆动态调度研究

张飞舟¹, 晏磊¹, 范跃祖², 孙先仿²
(1. 北京大学, 北京 100871; 2. 北京航空航天大学 北京 100083)

摘要: 阐述公交车辆静态调度的局限性, 据此提出公交车辆动态调度策略及其在线调整方法, 并分析研究运营车辆出现意外事故、故障及延误等实际情况时, 调度管理人员应如何采取相应的应急调度措施和方案。实验分析结果表明, 实施公交车辆动态调度策略, 可有效地解决公交车辆的静态调度不足, 达到公交车辆指挥调度自动化, 以提高公交车辆的运营效率和服务质量, 为公交车辆智能调度提供切实可行的调度方法。

关键词: 公共交通; 智能交通系统 (ITS); 动态调度; 智能调度

中图分类号: U491 **文献标识码:** A

Research on Dynamic Dispatching for Public Transport Vehicles in Intelligent Transport Systems

ZHANG Fei-zhou¹, YAN Lei¹, FAN Yue-zu², SUN Xian-fang²
(1. Peking University, Beijing 100871, China; 2. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The constraint of static dispatching for public transport vehicles (PTV) is expounded in the paper. On the basis of its constraint, dynamic dispatching strategy and its on-line adjusting for PTV are put forward. The corresponding lash-up dispatching measure and scheme are discussed for supervisors to adopt in the case of contingency, fault and delay of PTV. The experimental results demonstrate that implementing dynamic dispatching strategy of PTV could effectively solve the shortcoming of static dispatching for PTV, with operation efficiency and service quality enchanted, therefore automatic command and dispatching for PTV is realized. The feasible dispatching method will be provided for intelligent dispatching of urban PTV.

Key words: Public transport; Intelligent transport systems (ITS); Dynamic dispatching; Intelligent dispatching

城市公交车辆实际运行的环境是一个庞大的、开放的动态系统, 其道路状况是随时间变化而变化的。由于存在着许多随机和不确定因素, 往往一次性全局最优的静态调度 (时间最优或路径最优) 并不能适应真实的动态运行环境^[1]。静态调度的假定 (所有数据都是确定的和不变的) 不能反映公交运营车辆实际运行环境动态变化特性。首先在运营调度过程中, 公交车辆的运行时间是按照以前的经验确定的, 在实际运行中可能发生变化; 其次在公交车辆运行中, 突发事件、交通事故也时有发生, 静态调度无法保证最优性。当车辆运行环境发生变化时, 利用静态调度方法重新进行调度理论上是可行的, 但难以保证调度的实时性和环境的多变性。因此, 动态调度非常重要。由于实

际运营调度在某些条件稍微偏离理想值的状态下进行重调度或在线调整, 且运营调度是围绕多目标进行的, 使得运营监控系统必须提供不同性能指标的调度问题求解方法, 指导调度、监控管理人员选用适宜的调度规则和调度方案^[1~3]。本文在公交车辆静态调度的基础上, 进行公交车辆动态调度研究, 从而提高公交车辆管理人员的应变能力、管理水平。

1 公交车辆动态调度策略

公交车辆运营调度问题十分复杂, 有许多因素难以准确地进行预测估计和建模分析。因此建立在数学模型基础上的调度算法都只是原调度问题的某种近似。由于公交车辆运行环境开放, 使得运营调度问题变得

更加复杂。在这种情况下，人的因素显得十分重要，因为人的经验、直觉和对复杂情况的判断能力是计算机所无法拥有的，这也正是近年来交互式调度受到广泛注意的原因。所谓交互式调度就是在建立调度递阶结构和动态维护调度的过程中，充分利用人的经验和能力，通过人与算法中的有关接口的信息交互，调整算法的条件和参数，得到良好的实施方案。这里采用的公交车辆运营调度策略是：①当运营车辆按照约定时间出现时间延误时，基于静态调度方法自动调整行车间隔或行车类型；②借助数据通信、计算机及定位导航等技术监控运营中公交车辆，出现意外事故或突

发事件，进行有效地动态重调度，以便及时处理紧急情况^[4]。公交车辆动态调度策略如图 1 所示。

图 1 中的监控环节是交互式调度的关键，判断意外事故的发生、确定动态参数变化对调度影响的大小、决定采取在线调整或动态重调度方式等。如果采用基于周期性和事件驱动的动态方法进行在线调整，那么人的作用还体现在对前一段调度结果的监控及路况信息分析，确定后一段某初始参数。如果能够将人所特有的各种非量化知识进行整理、归纳，建立知识库和相应的数据库，以人工智能代替实际人的作用，就形成了基于算法和知识相结合的新型调度方法。

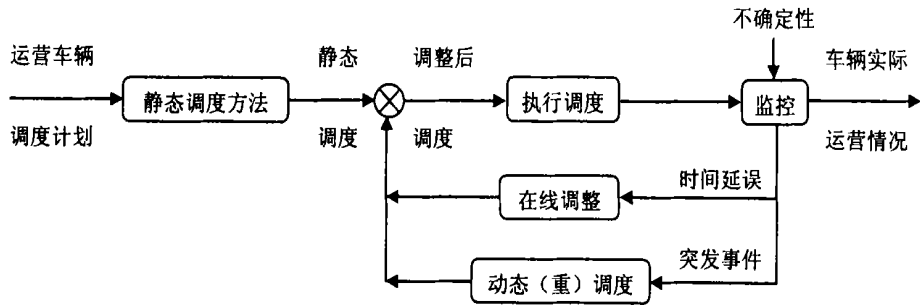


图 1 公交车辆动态调度策略原理框图

2 公交车辆动态调度方法

当公交运营车辆运行条件或其他条件发生变化时，要求迅速做出反应，但是只有当动态变化幅度大到必须对调度进行彻底的修改时，方采用重调度策略；而对于变化幅度不大的情况，采取对运营车辆进行适当的调度调整方法^[4,9]。公交车辆运营调度的在线调整方法是给定调度系统参数及路况信息，给定初始调度信息和动态变化，适当地修改初始调度，使得其变化对后续运营调度的影响达到最小，即寻找一个在动态变化条件下，对初始调度跟踪最好。为此将动态维护调度过程分为三个层次：（重新）建立调度、在线调整和执行与监控，其原理示意如图 2 所示。其中最底层对调度进行监控，通常采用自动车辆监控系统，借助电子地图在大屏幕显示，实现运营车辆的监控、跟踪；中间层负责对底层检测到的突发事件进行及时处理，实施在线调整或修改调度；上层是重建调度层，只有当环境参数发生变化很大时，方可启动该层。

公交车辆运营调度的在线调整可认为是一种时间轴的反馈控制，其中包括运营车辆的监控与跟踪。当运营车辆遇到交通延误（如出现车辆堵车、意外纠纷），就需要对原有调度进行在线调整或修改。这里的交通延误主要指当前运营车辆不能准时或根本无法执行原有调度中的运输任务。解决交通延误的方法通常有两

种：一是将受到干扰运营车辆的开始时间在时间轴上进行移动，二是更换相应交通故障的公交运营车辆。具体来说，就是通过在线调整行车间隔、调整中途停站次数（该方法容易招致临时不停车站候车乘客的意见，但是该措施确是在车辆晚点、同时到站车辆较多时比较有效的方法）、调整行车区段或更换其他的运营车辆，得到一个接近于初始调度较好的可行解。

公交运营车辆动态调度在线调整方法有：

1) 简单移动法

简单移动法就是通过改变行车间隔以消除干扰或者将干扰传播到后续运作，以便对尚未执行的运作达到一个可行解。根据调度处理的时间变化的方向，有 4 种不同的移动策略：向前移动、向后移动，双向移动和不移动。

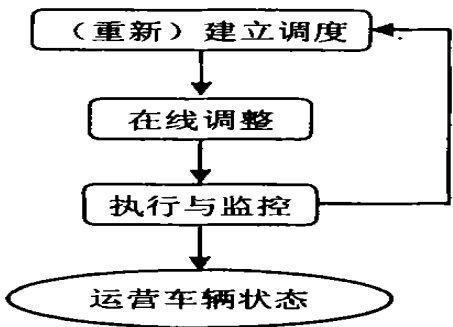


图 2 车辆调度动态维护原理示意图

2) 预测调度方法

从当前正在执行的操作, 估计所有正在执行操作完成时间, 通过适当地移动尚未执行操作的开始时间, 依据可能发生的突发事件和路况状况随时在线调整运营车辆行车顺序、行车间隔以及调整车辆行驶区段, 以便及时有效地履行车辆运营任务。

3) 基于时间和事件驱动的动态调度方法

当调度执行过程发生动态变化时, 只要将系统此时的参数作为基于时间和事件驱动的方法的初始条件, 就可采用基于时间和事件驱动的调度方法。基于时间调度方法就是在受到客观条件影响, 车辆数和车辆的达到、发出时间与行车时刻表的要求差距过大时, 要根据实有车数、单程行驶时间、停站时间、客流量, 计算出车间隔, 维持线路运营; 基于事件驱动的调度方法就是全市性重大活动有关线路到站、绕行、断路、停驶等行车组织方案。根据上级确定的线路, 计算线路车辆配备数量、单程行驶时间和停站时间、行车频率, 拟定临时行车计划和重大活动结束后迅速恢复线路正常运营的措施方案。

3 调度方法的应用分析

公交车辆选择调度方法应该遵循: 符合客流规律、提高车辆周转率、车辆载客均衡满载以及经济使用车辆等原则。公交车辆由于在实际运营时乘客流量在时间上的不均衡规律决定了行车类型和车次, 断面上的不均衡规律和方向上(交通流量)的不均衡规律决定了行车调度方法。因此, 只有与配车数、配班数、指标数相互综合平衡, 才能准确、有效地确定调度方法和行车类型及车次。根据文献 [6], 并结合运营车辆实际运行情况, 公交车辆动态调度的实施工作流程如图 3 所示。

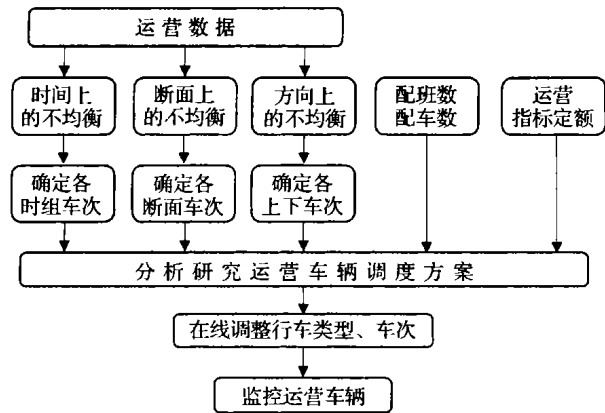


图 3 公交车辆动态调度具体实施框图

(1) 简单移动法分析

为方便起见, 这里以公交车辆运营周转率最快(即周转时间最短)为运营调度基础, 在公交车辆实际运营时出现车辆运营延误或发生故障时, 利用动态调度策略中简单移动法在线调整运营车辆的行车间隔, 以避免运营车辆发车间隔不均衡。这里以北京市 375 路运营线路(西直门—北宫门)为对象进行研究。假定 375 路运营线路所有公交车辆均装有 GPS 定位装置, 这样可以对公交运营车辆的运行情况进行监控、跟踪, 并利用远程交通微波传感器(RIMS), 得到实时路况交通信息。在实际运营中, 假定 ID 号码为 03 的运营车辆在高峰运营期间发生故障。为了避免运营车辆发车间隔不均衡状况出现, 针对运营车辆 03 所处的运营时段, 即 01、02(03 车辆以前的时段)、04、05、06(03 车辆以后的时段)运营车辆的运营时段, 在保证运营车辆顺序不变的前提下, 利用智能算法自动调整运营车辆行车间隔(即发车时间)。调整方法有两种: 如果不需要加车运营, 调整后 01、02、04~06 运营车辆行车间隔由原来的 5min 调整为 6min, 具体操作可见表 1; 如果因客流量增加需要采取加车运营时, 也要调整行车间隔, 避免间隔或大或小的现象出现, 在 02、04 班车之间加入一辆车投入运营, 调整后 01、02、04~06 运营车辆行车间隔由原来的 5min 调整为 4min, 调整行车间隔的具体措施如表 2。

由表 1 可见, 02 班次的发车时间推迟, 04、05 班次的发车时间提前, 06 班次起发车时间恢复正常。这一段时间的行车间隔为 6min, 避免了因缺少 03 班次而出现的间隔不均匀(10min)现象。

车辆减少时在线调整行车间隔						表 1
班次	01	02	03	04	05	06
车辆到站时间	7:00	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25
计划发车时间	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30
实际发车时间	7:06	7:12		7:18	7:24	7:30
行车间隔	6'	6'		6'	6'	6'

增加行驶车辆数时在线调整行车间隔						表 2
班次	01	02	03	04	05	06
车辆到站时间	7:00	7:05		7:10	7:15	7:20
计划发车时间	7:04	7:09		7:14	7:19	7:24
实际发车时间	7:04	7:08	7:12	7:16	7:20	7:24
行车间隔		4'	4'	4'	4'	4'

由表 2 可见, 02 班次的发车时间提前, 04、05 班次的发车时间推迟, 06 班次起发车时间恢复正常。这一段时间的行车间隔由 5min 改为 4min, 避免了不做调整发车时间加车时, 会突然出现的 2min、3min

行车间隔不均衡现象。

通过以上分析可见, 针对运营车辆发生故障后而不能运营时, 采取基于遗传算法的简单移动调度措施可以有效避免运营车辆因故障而导致运营车辆不能均衡满载的现象发生。

(2) 预测调度法分析

如果实际运营线路途中出现串车现象, 借助智能调度监控系统有效地监控运营车辆, 在中途车站采取基于遗传算法的预测调度措施, 有效地消除突发问题对线路运营所造成的影响。线路中途站预测调度(临时动态调度)具体措施就是对线路中途站进行监督、控制、统计、记录车辆运行情况, 为管理调度中心提供车辆运营信息, 配合完成实时动态调度, 以确保运营生产。临时动态调度措施有: 控制车组“快点”(对照中途站行车时刻表与车辆实际达到本站的时间进行记录, 遇有比计划提前达到的车组, 要控制其准确点出站, 保证线路的行车间隔和各车辆在车载客量均衡正常)、控制晚点车组在本站的上客量(多辆车同时刻到站时, 指挥晚点车组越站停车, 不在本站上客, 减少晚点车组的运输压力)、临时调整行车类型^[7, 8](全程车改发区间车, 区间车改发为快车)。

对照中途站行车时刻表 t_{sj} 与车辆实际达到本站的时间 t_{dj} , 对比计划提前达到的车组, 要控制其准点出站, 对晚点车组越站停车, 不在本站上客(但必须提前告诉乘客, 使需在因车辆越站而不停车的那些车站下车的乘客不上该车或提前下车, 来保证这部分乘客能顺利抵达目的地), 保证线路的行车间隔和各车辆的载客量均衡正常。

基于上述分析可知, 利用动态调度方法能够较好地解决公交运营车辆在出现延误或者发生故障时出现发车间隔或大或小现象, 从而保证了公交车辆载客均

衡满载, 这将极大地改善其运营车辆的运行效率, 提高公交车辆的服务质量和管理水平, 从而使公交车辆运行达到安全、迅速、经济舒适的目的。

4 结论

本文在公交车辆静态优化调度的基础上, 针对公交车辆运营调度管理特点, 借助通信技术、计算机技术以及自动控制技术, 分析了公交车辆动态调度的实现方法。研究表明, 基于先进的高新技术和调度方法相结合的智能调度, 可极大地改善公交车辆动态调度的性能和效果, 提高公交车辆运营调度管理水平和行车安全, 以便更好地为公交车辆智能化调度系统的完善做好必要的技术支持。

参考文献:

[1] Clarke G, Wright J W. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to Number a of Delivery Points [J]. Computer & Operations Research, 1994, 32 (12): 568—581.

[2] Prosser Patrick, Buchanan Iain. Intelligent Scheduling: Past, Present and Future [J]. Intelligent Systems Engineering, 1994: 67—78.

[3] Asadkhattak, Adibkanfani. Case-based reasoning: a Planning for Intelligent Transportation Systems [J]. Transportation Research-C, 1996, 4 (5): 267—288.

[4] 王朝晖, 陈浩勋, 胡保生. 化工批处理过程调度 [J]. 控制与决策, 1998, 13 (2): 119—123

[5] Scorer A G. Vehicle Tacking and Security [J]. The Journal of Navigation, 1998, 52 (2): 170—179.

[6] 北京市公共交通总公司. 运营调度管理 [M]. 北京: 中国劳动出版社, 1994.

[7] Phillips Cynthia A, Uma R N, et al. Off-line Admission Control for General Scheduling Problems [C]. Proceedings of the Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, 2000: 879—888

[8] 黄灏华, 关伟, 张国伍. 公共交通实时调度控制方法研究 [J]. 系统工程学报, 2000, 15(3): 277—280.