

# 面向换乘枢纽的公共汽车协调调度模式研究

## A Study on Bus Coordination Dispatching Pattern for Transit Transfer Centers

滕靖 杨晓光

(同济大学交通运输工程学院,上海 200092)

TENG Jing, YANG Xiaoguang

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**摘要:**首先分析了我国当前大城市公交网络客流组织存在的问题。然后从运营管理层面阐述了智能交通系统(Intelligent Transportation Systems, ITS)环境下公交基础调度模式的信息流程改进情况;指出了ITS对公共汽车运输组织工作的技术支持优势。进而提出了面向换乘枢纽的公共汽车协调调度模式,并对该协调调度的基本功能和信息流程进行设计。此研究成果对提升我国大城市公交网络运输管理水平具有参考价值。

**Abstract:** This paper analyzes the problems related to organizing passenger flows for transit networks in Chinese large cities, and discusses situations of improving information processing in bus dispatching centers under an ITS environment which has the advantages of supporting bus operations. The paper then proposes a bus coordination dispatching pattern for transit transfer centers, and defines functions and information flow processing procedures for bus coordination dispatching. The findings bear some reference value for the planning and management of metropolitan public transportation systems in China.

**关键词:** 公共汽车;协调调度;公交换乘枢纽;智能交通系统

**Key words:** bus; coordination dispatching; transit transfer centers; Intelligent Transportation Systems

中图分类号: U491 文献标识码: A

收稿日期: 2005-10-13

作者简介:滕靖,男,博士,同济大学交通运输工程学院讲师,主要研究方向:智能公共交通系统。

E-mail: tengjing@mail.tongji.edu.cn

## 1 大城市公交网络客流组织存在的问题

随着城市规模的扩大和人口数量的增长,我国大城市公交网络的拓展速度加快,客流换乘强度增大,公交系统的运行效率迫切需要提高。在此情况下,越来越多的城市交通规划和管理部门,注意到公交换乘枢纽对公交线网(含轨道交通网络)的锚固和级配优化作用以及对网络客流的优化组织作用。近5年,国内大中城市的公交枢纽规划和建设工作受到了普遍重视,但是围绕公交网络和公交枢纽展开的运输组织优化工作相对滞后。

### 1.1 既有公共汽车调度模式

目前我国大部分城市公交(以下文中如不加说明,“公交”指公共汽车交通)调度模式都是面向公交运营企业、以实现车辆资源优化和车辆周转效率提高为首要目标的运行组织方式,缺乏对公交网络整体运行效率和系统服务水平的考虑。不同营运企业的公交线路交织在一起共同为乘客服务,但调度工作各自独立又不予协调,很容易产生公交运力的断面落差、换乘候车间隔增大等问题。这些问题在换乘客流量大、搭接线路多的公交换乘枢纽会进一步激化,直接导致高峰期枢纽客运服务周转困难,客流长时间积聚,无法疏散。从而由点至线、由线至网,整个公交网络的服务水平都会由此受到影响。

### 1.2 公交换乘枢纽的协调调度能力

公交换乘枢纽如果缺乏对所衔接公交线路的协调调度管理,不仅不能达到对公交网络客流组织优化的作用,反而成为网络上的瓶颈,降低网络运行可靠性。

结果一是导致公交运力资源的浪费。例如,规划改造前的

上海人民广场综合客运枢纽日客运量不足1万人次的线路有14条,这些线路的运力占总运力的28%,但所承担的客流量仅占9.8%,运能严重浪费<sup>[1]</sup>。

结果二是在客流集散高峰期,由于换乘线路之间运能不匹配,部分换乘方向的公交站点驻站候客累积,大大增加了车辆驻站时间,打乱了公交线路车辆运行秩序,同时给道路交通造成很大压力。

结果三是当发生交通系统故障时,政府交通管理部门面对巨大的客流积聚束手无策。如2003年7月上海地铁一号线莘庄至莲花路区间列车故障停运62 min,地面公交运力不能快速调配增援,致使人民广场等沿线枢纽内的数万名乘客长时间积聚难以疏散,沿线秩序混乱。

可见,大城市公交枢纽的客流组织能力,特别是公交枢纽的运力协调调度能力将直接影响公交网络系统的总体运行效果和服务水平。

## 2 ITS对公共汽车基础调度模式的改进

既有条件下,公交调度决策的支持信息极为有限,调度员只能依据首末站车辆到达情况推断车辆运行秩序,凭经验做出调度决策。现场调度无法及时地在线实施,对途中运行车辆的控制束手无策,对车辆资源的掌控能力十分有限。因此,既有条件下的公交调度基本模式只能是单线路调度模式,其主要调度手段及信息流程见图1。

要提高公交网络运力的调配能力,特别是提高公交枢纽站的运力协调调度能力,在现状公交调度装备

条件下是难以实现的,必须对公交调度系统进行升级改造。ITS(Intelligent Transportation Systems, ITS)为此提供了优良的设备和技术环境,实现了公交调度信息采集、处理、发布各个环节的透明化和动态化,为公交调度模式的革新创造了有利的平台条件。

ITS条件下,一方面,公交基础信息采集能力得到了极大增强,来自人、车、路、环境等多方面的信息交融,使调度的决策支持信息具备了全面性和实时性。另一方面,调度信息的发布手段通过无线通讯得到了无限延伸,车辆实时监控和在线调整得以实现。而最重要的一方面是公交调度决策支持系统的应用使公交调度信息处理具备了高速度和高效能特征。上述技术支持直接导致了调度目标的升级、调度范围的拓展和调度手段的动态化。ITS下公交调度基本信息流程参见图2。

ITS推动了公交调度模式向集约化、高效化发展,使得单线路调度模式向“动态化、准确化、智能化”迈进,并且为区域调度模式的发展奠定了基础。本文将单线路调度和区域调度共同作为ITS下公共汽车调度的基础模式。

## 3 公共汽车协调调度体系

### 3.1 协调调度体系及协调调度模式

ITS下公共汽车协调调度(以下简称协调调度)体系不是既有调度模式简单的共存,而是建立在多线路的车辆、乘客、路况、运营管理等信息资源共享基础上的多层次、多反馈的集成逻辑体系。协调调度体系以

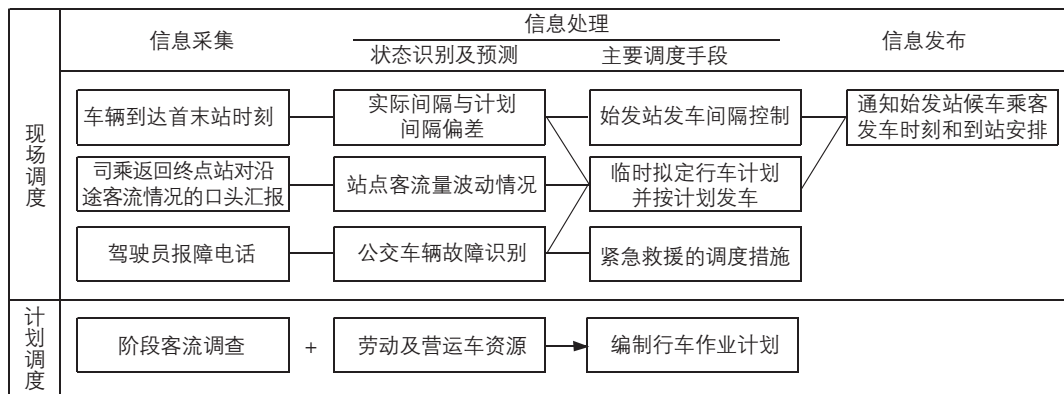


图1 既有条件下公交调度信息流程

Fig.1 The information flow procedure of bus dispatching under existing conditions

协调调度模式为基本手段,实现公交网络各基础调度模式的协同工作,达到对公交网络运行的整体控制。协调调度体系包含两类调度模式,即基础调度模

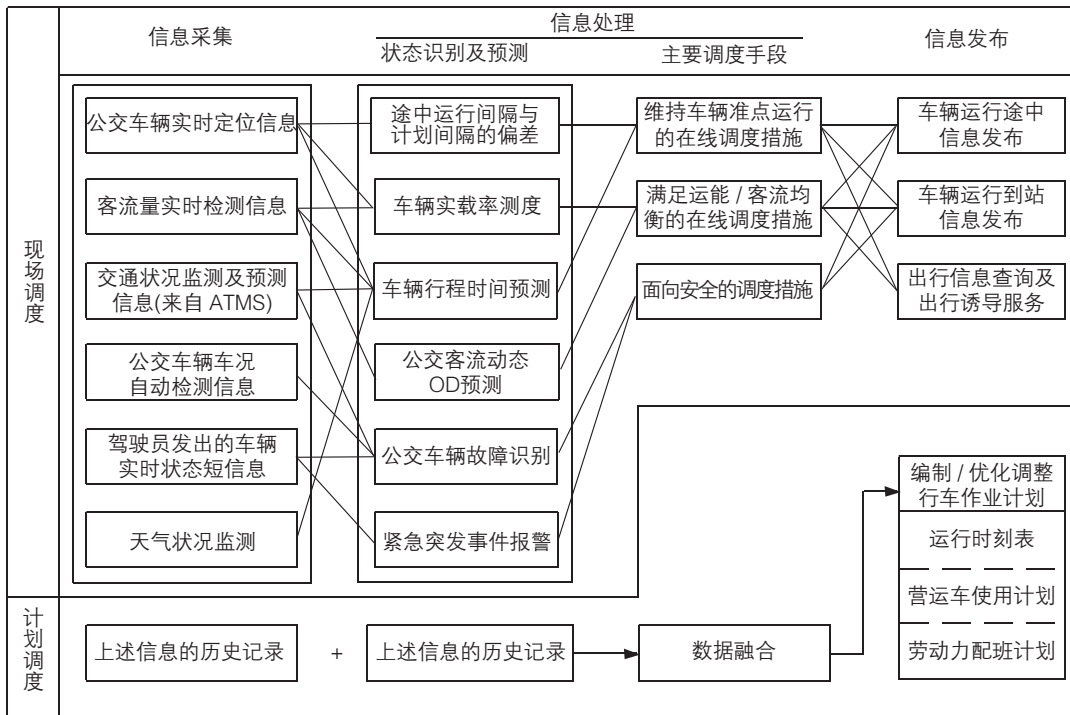


图2 ITS环境下公交调度信息流程

Fig.2 The information flow procedure of bus dispatching under an ITS environment

表1 协调调度体系的基本功能

Tab.1 Basic functions of a bus coordination dispatching systems

调度模式	计划调度	现场调度	
		常态调度方法	异常态 <sup>*</sup> 调度方法
协调调度模式	以车辆运转、乘客时间消耗总成本最小为主要目标的公交枢纽衔接线路的时刻表协调	枢纽经不停车车辆驻站控制	异常状态下枢纽行车计划协调
	以枢纽供需均衡为主要目标的线间运力协调		
基础调度模式	区域调度 以所辖全部线路车辆周转高效和供需均衡为主要目标的线路时刻表及车辆跨线计划优化	按到站时刻准点控制	按行车间隔均衡控制
	线路调度 以本线路车辆周转高效和供需均衡为主要目标的时刻表优化		本线行车计划调整 抢修救援等

\* 异常态是指客流超多、道路交通事故、公交车辆故障、自然灾害等事态发生时。

式和协调调度模式。基础调度模式包括单线路调度模式和区域调度模式；协调调度模式主要包括面向换乘枢纽的公交线路协调调度模式和以此为基础拓展的枢纽群协调调度模式<sup>[2]</sup>。

其中，面向换乘枢纽的公交线路协调调度模式是从公交系统管理层面提出的，以提升公交网络客流服务水平为目标的运行组织方式。其基本功能是根据公交换乘枢纽及所衔接线路的客流时空需求特征，协调公交线路的调度计划以实现公交运力组合的优化，从而降低出行者和营运者的总成本<sup>[3]</sup>；同时，通过对公

交线路车队运行的实时控制实现车辆的准点运行，确保协调调度计划的执行<sup>[4]</sup>。面向换乘枢纽的公交线路协调调度模式是公交协调调度模式的基础，后文如不加说明，所称的协调调度模式即指面向换乘枢纽的公交线路协

调调度模式，也称面向换乘枢纽的公共汽车协调调度模式。

### 3.2 协调调度体系的功能集成

协调调度体系的基本功能见表1。

#### 3.2.1 计划调度层面

协调调度模式主要担负城市大型公交换乘枢纽客流

组织任务，需要兼顾营运者和乘客的利益，针对网络客流分布安排科学的运行时刻表。在公交运力及劳动力资源能够统一调拨的前提下(例如区域调度模式或存在多线路集中调度中心)，协调调度能够实现以枢纽供需均衡为主要目标的线路间运力协调。

区域调度模式以所辖全部线路车辆高效周转和供需均衡为主要目标，与协调调度模式相互反馈调度计划，制定本区域各线路的运行时刻表和车辆跨线计划，对车辆和劳动力资源的运用进行系统优化。无论是单

车场还是多车场区域调度,其核心优化问题都可以归结为多重旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP)<sup>[5]</sup>。

单线路调度模式同样与协调调度模式相互反馈调度计划,针对本线路客流,按照客流时空特征合理配置和使用车辆,实现本线车队运输秩序的稳定。

### 3.2.2 现场调度层面

现场调度主要任务是指挥车辆按照行车作业计划有序地完成运输任务。现场调度根据行车情况特征可以分为常态调度和异常态调度。

当客流需求、行车情况在行车作业计划方案可控范围内,现场调度将不改变行车秩序,仅施以调整手段,提升公交网络运行的准确性和服务的可靠性,此称常态调度或实时控制。协调调度模式的常态调度任务是:在对城市大型公交换乘枢纽客流和车辆行程时间的检测和预测基础上,在所衔接各线路的驻站时间控制范围内,动态调整进站车辆在枢纽站的驻站时间,充分满足客流的换乘需求。基础调度模式的常态调度任务是实现本线车辆的准点运行和行车秩序的稳定。公交优先条件好的线路以到站时刻准点为控制目标,普通线路以均衡行车间隔为控制目标。

当客流需求波动剧烈、行车秩序紊乱、发生交通事故或车辆故障,形势和趋势超出行车计划方案可控

范围时,现场调度有必要根据异常事件调度预案改变行车计划,此称异常态调度。其中,协调调度模式通过与各衔接线路基本调度的协调,主要采取改变线路的行车计划或增派机动车辆的方式实现对激增客流的疏散。基础调度模式则主要面向本线问题制定临时行车计划并对故障车辆进行救援。

## 4 ITS下公共汽车调度逻辑框架的改进

在《中国智能运输系统体系框架》<sup>[6]</sup>指导下,本文试图将所提出的公交协调调度体系融入公交调度逻辑框架。

### 4.1 调度规划逻辑框架

公交调度规划中,协调调度模式与基础调度模式之间存在互控关系,也称协调关系,见图3。

基础调度要将各线路行车计划提交协调调度,协调调度根据客流信息、线路信息及以往调度实施效能分析结果编制公交枢纽线路协调计划,包括:划分协调时段、生成各协调时段内线路组合、优化协调线路组的运行时刻表。基础调度要向协调调度应答是否能够接受协调计划;不能则进行反馈,由协调调度调整协调计划。

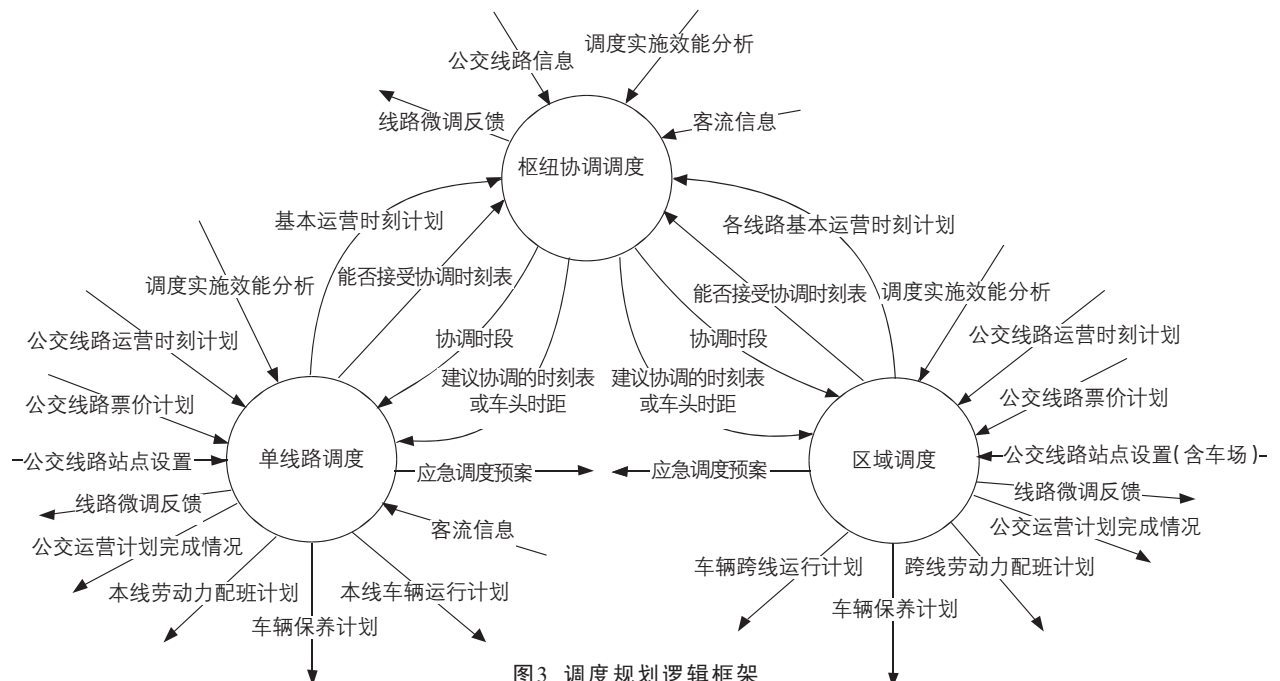


图3 调度规划逻辑框架  
Fig.3 The logical framework for bus dispatching planning



### 4.2 调度实施逻辑框架

公交调度实施的核心是实时调度优化策略模块。实时调度优化策略的生成需要多方面的信息支持，并需要与多方面功能模块进行数据交换和协商，见图4。其中，①实时调度优化策略→提供途中信息服务→估计车辆状态→实时调度优化策略；②实时调度优化策略→优先权申请→信息交换和协商→估计车辆状态→实时调度优化策略；③实时调度优化策略→管理附加车辆→应急处理→实时调度优化策略，这3个闭环反馈是实现调度优化的关键，是公交智能化调度的核心。

### 4.3 实时调度优化策略逻辑框架

ITS 下实时调度优化策略不再由公交营运企业单方面制定并实施。这是由于ITS条件下，城市客运交通系统中公交系统与其他客运系统之间、常规公交方式与轨道交通方式之间、常规公交线路之间，从宏观到微观、从整体到局部，信息和反馈已经贯穿于整个网络运行的始终。任何一条常规公交线路的调度实施对整个公交网络运行产生的影响都不能忽略，需要进行

网络层面的协同优化。本文提出的实时调度优化策略是集成各条公交线路基本调度的面向换乘枢纽的协调调度策略，是更高层面的优化——网络协调调度优化的基础，其逻辑框架参见图5。

常态调度下，大型公交换乘枢纽作为网络运行中枢，重点考虑公交车辆驻站控制调度。当换乘枢纽协调控制模块提交某线路车辆驻站协调控制通报时，车辆运行实时控制模块将根据该线既定行车计划的可控能力和线路运行实况做出反馈。如超出可控范围，不采纳驻站协调控制方案，换乘枢纽协调控制模块则考虑次优的其他驻站协调方案。如在可控范围内，车辆运行实时控制模块就接受并执行协调控制方案。

当换乘枢纽客流处于异常状态时，既定的行车计划不能继续执行，这时换乘枢纽协调控制模块将向本线或区域行车计划临时调整模块提交临时行车计划协调通报。本线或区域行车计划临时调整模块对此做出反馈，根据本线运行实况生成具体的临时行车计划并予以执行，如调派机动车或跨线车增援枢纽运力、控制上游站点上车乘客等。表2给出了异常事件下公交

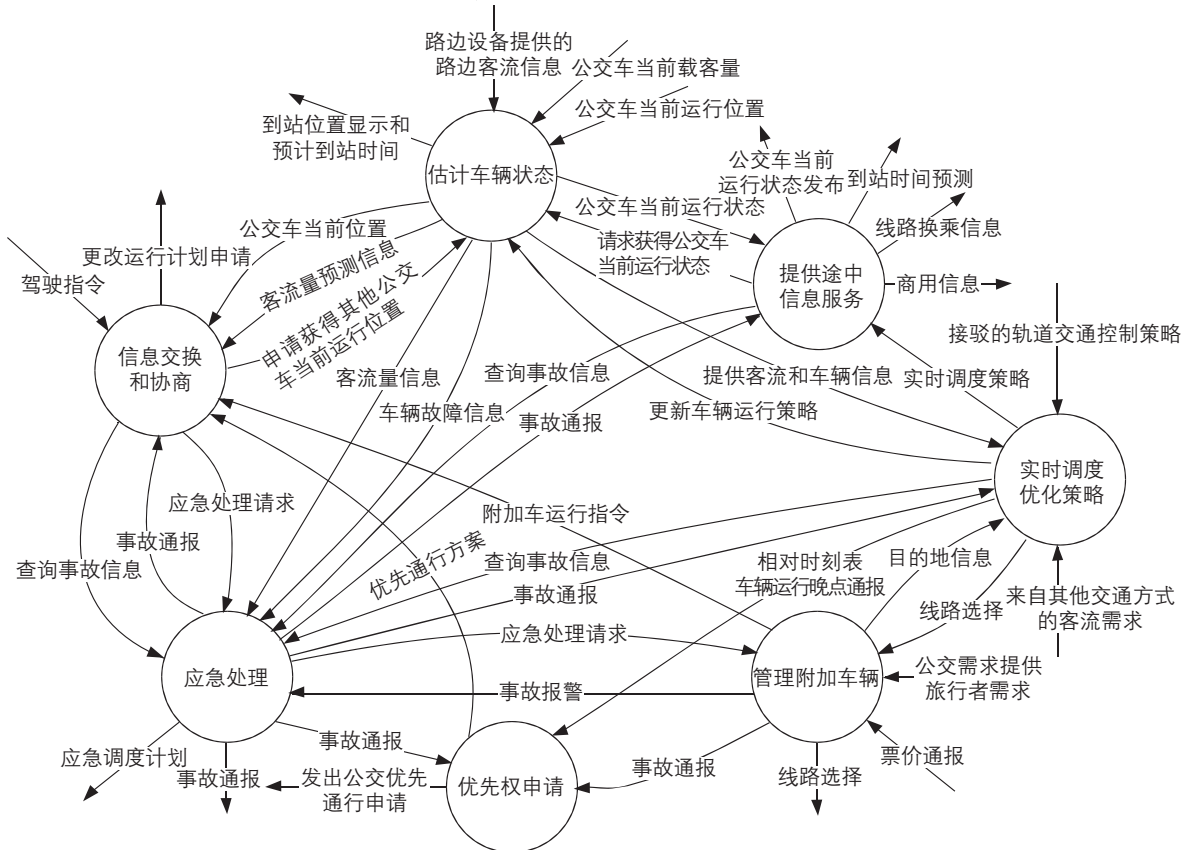


图4 调度实施逻辑框架

Fig.4 The logical framework for implementing bus dispatching plans

换乘枢纽协调调度基本策略。异常事件下公交换乘枢纽协调调度决策的特征是有效与及时，主要任务是从网络层面协调各线运力，达到疏散枢纽内积聚的客流或控制客流进入枢纽等作用。行车计划的临时调整、上游站点输入客流控制、临时改变行车路线等调度方法是异常事件下换乘枢纽公交协调调度的基本手段。

当公交线路车辆发生故障和事故时，救援调度模块根据事故、故障信息派遣救援工程车辆，向相关部门进行案情通报。并将发生事故或故障的车辆位置、载客信息通报本线或区域行车计划临时调整模块，调整、恢复车队运行秩序，见图5。

### 5 结语

本文通过分析我国大城市公交网络客流组织工作的现状问题和发展需求，初步研究了ITS环境下面向换乘枢纽的公共汽车协调调度模式。旨在从公交网络运

行层面寻求大城市公共交通系统运输管理的新模式、新方法。文中设计了面向公交换乘枢纽的公共汽车协调调度模式与基础调度模式在功能上的协作关系，并给出了调度规划和调度实施的逻辑流程。系统工程层面的理论研究正在进一步开展中。

### 参考文献

- 1 刘有军, 晏克非, 周建非.上海市人民广场综合交通枢纽的规划方案研究 [A]. 中国建筑学会城市规划学术委员会.中国建筑学会城市规划学术委员会 2001 年年会暨第十九次学术讨论会论文集 [C].北京: 中国建筑工业出版社, 2001. 149~155
- 2 Jing Teng, Xiaoguang Yang, Ming Zhao.Developing inter-modal transit system and an application in China [A]. Compile Group ed..Proceedings of the World Engineers' Convention 2004, Vol.C [C].Beijing: China Science and Technology Press, 2004. 447~452

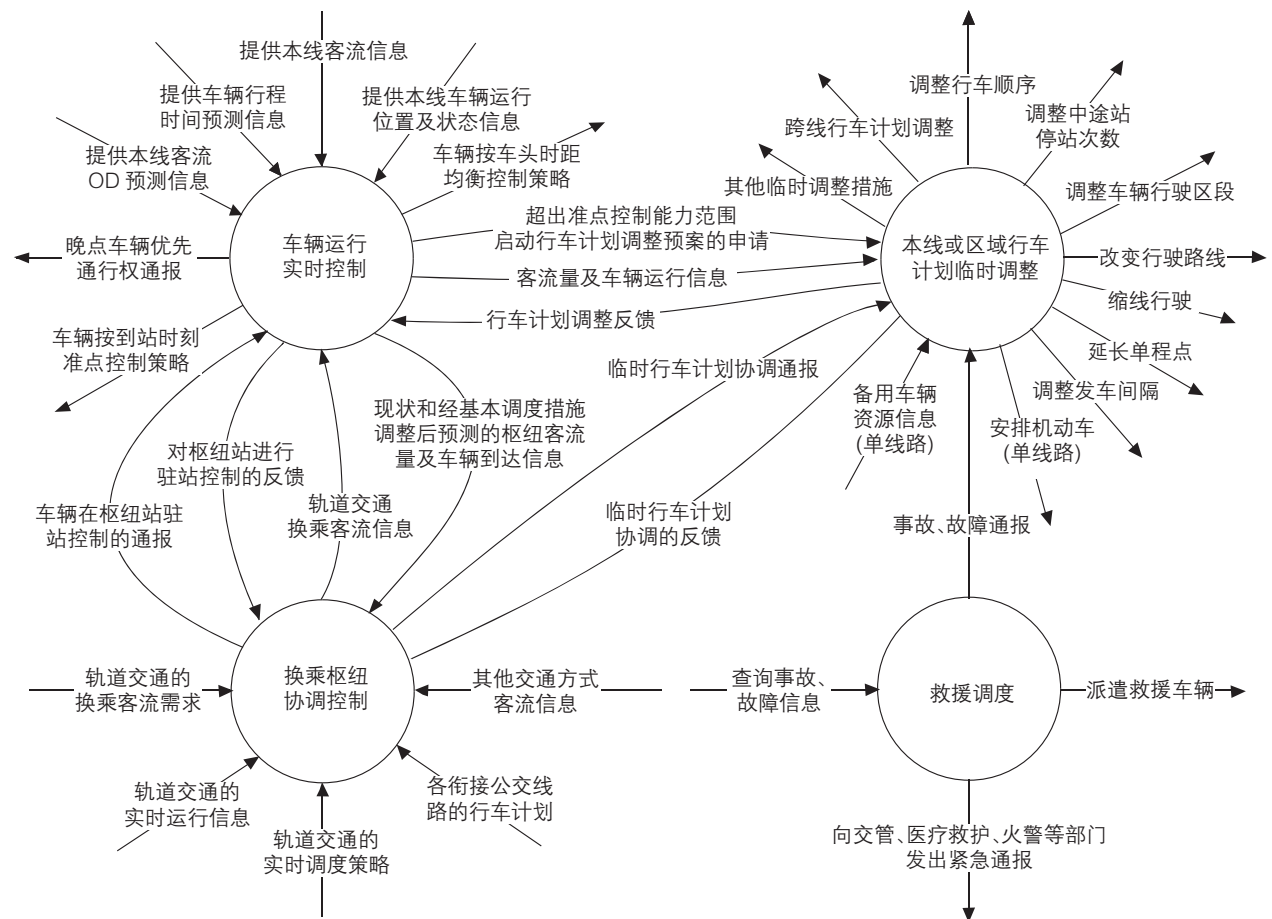


图5 实时调度优化策略逻辑框架

Fig.5 The logic framework of optimizing bus dispatching strategies in real-time

表2 异常事件下协调调度的基本策略

Tab.2 Basic strategies of bus coordination dispatching under special events

异常事件	导致的枢纽交通问题	常用的枢纽协调调度对策
重大社会活动	客流超过公交运力,造成枢纽滞留乘客激增	安排专门用于疏导枢纽客流的机动车辆或组织跨线车辆增缓;变更行车计划,调整车辆中途停站次数以增加枢纽疏散运力
轨道交通事故、故障	到达枢纽搭乘轨道交通的客流无法疏散,造成枢纽滞留乘客激增	增加轨道平行方向常规线路运力投入,或增开临时线路以疏散轨道滞留客流
枢纽周边交通严重堵塞	造成车辆严重晚点或行车间隔拉大,且超出实时控制解决能力,枢纽滞留乘客激增	临时改变遇到严重交通堵塞线路的车辆行驶路线;控制枢纽上游(含轨道交通)车站的上客人数,降低到达枢纽客流量
灾害性天气	致使地面公交车运行困难,到达枢纽的客流无法被疏散	控制枢纽上游(含轨道交通)车站的上客人数,降低到达枢纽客流量
爆炸、火灾、毒气等恐怖事件	枢纽内部交通秩序混乱、客流急需疏散、车辆急需尽快驶离枢纽区域	控制进入枢纽的载客车辆,特别情况下可调用车经临时专用通道组织枢纽内容流疏散

3 滕靖, 杨晓光.APTS 下城市公交枢纽调度问题的实用优化方法研究 [J]. 系统工程, 2004, 22 (8): 78~82

人民交通出版社, 2003. 19~30

- 4 滕靖, 杨晓光.APTS 下公共汽车单线路实时控制方法 [J]. 同济大学学报, 2006, 34 (6): 744~747
- 5 东南大学交通运输学院. 城市轨道交通系统优化技术 [R]. 2002BA404A04, 南京: 东南大学, 2004
- 6 “九五”国家重点科技攻关项目《中国智能运输系统体系框架》专题组. 中国智能运输系统体系框架 [M]. 北京:

(上接第80页)

其他Agent交互信息的功能, 得到控制策略, 并能在此基础上进行自学习, 不断改进控制方案。

各个交叉口控制Agent之间的协调在实现方式上采用黑板模型。相邻的Agent都有共享的黑板, Agent将各自的交通状况和在该条件下的最新中间方案记录在黑板上。每个Agent根据共享黑板的最新消息再制定新的中间方案, 直到最新的方案与前一个中间方案相同, 则该方案为下一周期的信号控制方案; 若最新的中间方案并没有迭代结束但本周期的计算时间已到, 则采用最新的中间方案作为下一周期的信号控制方案。

从图2可看出, 所有Agent的作用域集合组成整个城市的交通网络, 在局部交通网络中的交通控制由该区域Agent全权负责, 对所属的网络实现信号灯控制或匝道口控制, 并且相当的智能。在这个局部网络中, 控制结构是采用分布式智能控制中的集中控制结构, 每个Agent只需具有本区域内的信息而不是全局或邻近网络的信息。在上层这些Agent之间, 则通过由通信规范、通信内容和通信协议组成的通讯机制进行路由信息、交通量信息、控制信息等信息传递, 从而解决单个Agent信息的不完整性问题。通过协商法、多Agent规划法、联合责任法等协调机制解决目标协调, 并通过合同网、多阶段协商、认知模型协商策略等冲突消解策略来解决交通网络中的资源冲突、目标冲突

和结果冲突。在这个层面上, 控制结构采用的是分布式智能控制中的分散式控制结构, 以实现城市交通网络的多任务多目标的协调控制问题。总之, 根据交通系统特点设计的新的交通控制系统, 可以达到既能对交通系统进行宏观调控又能进行微观调节的目的。

## 4 结语

结合MAS的特点和智能交通的设计思想, 提出了一种基于MAS的智能交通的控制结构, 这种分布式的交通控制结构摆脱了传统的集中计算的控制模式, 提高了系统的实时性和鲁棒性。另外, 在基于MAS的智能交通控制中, 协作是系统设计的难点与重点, 因此建立具有协作技术的MAS是提高控制系统整体性能的重要手段, 是今后研究的主要内容。

## 参考文献

- 1 俞峥, 李建勇. 多 Agent 在交通控制系统中的应用 [J]. 交通运输工程学院, 2001, 1 (1): 55~57
- 2 Michael Wooldridge. 多 Agent 系统引论 [M]. 石纯一, 张伟, 等, 译. 北京: 电子出版社. 2003. 45~47
- 3 李威武. 城域智能交通系统中的控制与优化问题研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2004
- 4 赵建有, 赵丽平. 基于多 Agent 的城市交通流控制原型系统 [J]. 交通运输工程学报, 2003, 3 (1): 76~79