复杂性与智能化

Complexity and Intelligence

2014年12月

4

第10卷 总第40期

王飞跃研究员荣获诺伯特·维纳奖

刘德荣研究员荣获亚太神经网络联合会杰出成就奖

曾大军研究员当选IEEE智能交通系统学会主席

第十七届IEEE 智能交通系统国际会议在青岛召开

中国自动化学会系统复杂性专业委员会 www.caa.org.cn
复杂系统管理与控制国家重点实验室 www.sklmccs.ia.ac.cn

ISSN:1557-363X

统一书号：ISSN 557-363X

《复杂性与智能化》编委会

Complexity and Intelligence

主　任：戴汝为

副主任：王飞跃

刘德荣

编委会委员

王飞跃 王成红 刘德荣

侯增广 曾大军 王　珏

谭　民 田　捷 王春恒

张嗣瀛 涂序彦 戴汝为

闫　研 陆　浩 管永婷

《复杂性与智能化》编辑部

主　　编：戴汝为

副　主　编：王飞跃

编辑部主任：刘德荣

责 任 编 辑：郝宏 宫晓燕

美术 编 辑：陆浩

编 辑 出 版：

《复杂性与智能化》编辑部

编 辑 部 地 址：

北京海淀区中关村东路 95 号智能化大厦 1101（100190）

电话：(010)82544528

E-mail: xiaoyan.gong@ia.ac.cn

目　　录

封面二

科技前沿

总体设计成为智慧城市建设当务之急

论文选登

词、词计算、语言动力系统

基于空天地一体化大数据的新一代智能交通系统

机器人模块化设计方法探讨

快速公交 BRT 平行管理与控制系统

学术动态

王飞跃研究员荣获诺伯特·维纳奖

刘德荣研究员荣获亚太神经网络联合会杰出成就奖

曾大军研究员当选 IEEE 智能交通系统学会主席

杨柳青研究员当选 IEEE Fellow

分子影像手术导航系统获第八届国际发明展览会金奖

第十七届 IEEE 智能交通系统国际会议在青岛召开

复杂实验室 2014 年度学术委员会会议成功召开

2014 年中国智能车未来挑战赛在江苏常熟成功举办

自动化所应邀参加北京市奖励办科普大讲堂活动

媒体视角

中国机器人之痛

大数据为农业插上数字翅膀

物物相连的网络更需要安全

The Future is Now 如何了解并布局工业 4.0?

成果快递

2014 年第四季度课题立项 12 项

2014 年第四季度实验室授权专利 22 项

2014 年第四季度实验室共发表 SCI 论文 15 篇

封　底

《复杂性与智能化》介绍

快速公交 BRT 平行管理与控制系统研究

董西松, 熊刚, 朱凤华, 范东

（中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室,北京 100190）

摘 要

快速公交（Bus Rapid Transit，BRT）是当前国际工程界为解决城市交通问题而大力推广的一种公共交通模式，但运营调度是其难点。本文以 ACP 方法为指导，研究 BRT 平行管理与控制系统，包括 BRT 动态感知系统、人工 BRT 系统、BRT 综合评价系统和人工 BRT 计算实验平台。该系统已成功应用于广州中山大道 BRT，可满足其在监控、报警、预测、应急管理、实时调度等方面的需求，为广州 BRT 的畅通、安全、高效和可靠提供有效保障。

关键词

快速公交（BRT）;ACP 方法;人工系统;动态感知;智能调度

Parallel Transportation Management and Control System for Bus Rapid Transit

Xisong Dong, Gang Xiong, Fenghua Zhu, Dong Fan

（State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190,China）

Abstract

Bus Rapid Transit (BRT)is an effective way to improve urban traffic status whose operation and scheduling are very difficult. In this article, based on ACP approach, Parallel Transportation Management and Control System for BRT, including dynamic perception system, artificial BRT system, BRT’s comprehensively evaluation system, andcomputational experiments platform, is constructed. This system has been applied in Guangzhou Zhongshan Avenue BRT, which was applied for BRT’s monitoring, warning, forecasting, emergency management, real-time scheduling and other needs, to guarantee Guangzhou BRT's smooth, safety, efficiency and reliability.

作者简介：董西松：男,助研,研究方向为平行控制与智能交通,Email: xisong.dong@ia.ac.cn;.熊刚,男,研究员,研究方向为平行控制与智能交通.Email: gang.xiong@ia.ac.cn;朱凤华,男,高工,研究方向为平行控制与智能交通.Email: fenghua.zhu@ia.ac.cn;范东,男,工程师,研究方向为平行控制与智能交通. Email: dong.fan@ia.ac.cn. 基金项目：国家自然科学基金（61233001, 61174172）

Keywords

Bus Rapid Transit (BRT), ACP approach, artificial system, dynamic perception, adaptive bus dispatch

1.引言

随着城市经济的发展、人口的快速增长和机动车辆的广泛应用，城市交通问题日趋严重，主要表现在交通拥挤、严重的空气污染、噪声和交通事故、能源短缺等问题。而大力发展公共交通是解决城市交通问题的根本途径。轨道交通具有运量大、快速、准时、安全及等优点，但因其造价高昂、建设周期长和投资回收慢等缺点限制了其在城市中的广泛应用。常规公交因先天规划不足和小汽车迅猛发展等的影响，运营效率低，服务水平差，在发展中受到了阻碍。快速公交(Bus Rapid Transit，BRT)运营特征接近轨道交通，成本远低于轨道交通，够满足公共交通可持续发展的要求，是当前国际工程界为解决城市交通问题而大力推广的一种公共交通模式，也是提高公共交通服务水平和运营效益的优选方式之一[1-3]。

BRT是利用现代公交技术配合智能交通的运营管理，以改良型的公交车辆运营在公共交通专用道路空间上，保持轨道交通特性且具备普通公交灵活性的一种便利、快速的和具有高等级、高服务水平的公共交通方式，它整合了车辆、车站、线路、公交车道和智能交通系统（ITS）等多个因素，形成具有强烈形象感和独特性的综合系统[1]。BRT最大的优势在于在提供与轨道交通相似的运量与运输速度情况下，仅需要占用少量的地面道路，投资少、建设周期短、见效快、灵活性高、经济性好[2-4]。

自1973年首条BRT于巴西库里蒂巴诞生后，就以其经济、灵活、快速、大运量等优势迅速在世界各地推广开来。目前，在世界各地的很多城市发展了BRT。联合国人居署(UN-Habitat)、世界银行(World Bank)、国际能源机构(IEA)以及国际公共交通联合会(UITP)等国际组织，都将其作为解决城市公共交通问题的革新性方案并积极向世界各大城市推荐[5-8]。

随着中国经济城市化进程的加快，出行的机动化趋势明显，城市交通拥堵状况日益严重。公交优先政策是解决城市交通问题非常重要的解决方法。中国政府越来越重视城市公交的发展，出台了一系列提倡公交优先的政策。中国第一条BRT线——北京BRT 1号线，于2005年12月30日正式投入运营。目前，已经投入运营的BRT的城市有北京、广州等十几个城市。

与常规公交相比，BRT具有封闭的专用道和车站、大容量公交车辆、信号优先技术等自身特性，其运营特点介于轨道交通与普通公交之间，其调度运营技术在普通公交运营调度技术的基础上借鉴发展而来，但又有所不同[9]。BRT的调度受诸如车队规模、车辆因素、道路状况、车站状况、交通管制、公交公司经济利益、社会效益、天气情况、大型社会活动、交通事故、突发事故、恐怖活动、城市建设施工等等情况的影响，难以

建立精确实用的运营调度模型，难以应对各种复杂多变的情形。现有的大多数调度和管理功能依然靠调度员凭借经验和人力执行，不能够自动实现，这严重制约了BRT运营管理效率和效益的进一步提高。如何更好的发挥BRT的运营效果，保证BRT对普通公交以及地铁、轻轨等大容量交通方式的竞争力，做好BRT管理运营和调度优化等的研究是非常重要的。但是，由于系统本身的高度工程复杂性以及社会复杂性，目前还缺乏有效的解决手段，远远不能满足实际应用需求。

国内外学者在BRT运营管理和调度方面的研究成果主要存在以下不足：

- 调度方案的优化与调整还主要是利用历史OD数据靠个人实际经验生成，缺乏有效的预测和评价方法；一般仍以静态调度为主，很少实时调度，更难以进行车流和乘客信息的预测；
- 无法动态感知BRT的车辆运行和客流需求信息，相关信息的获取还主要通过人工计数的方式，难以在大范围内进行应用，因此很难对车辆进行应急调度和及时调整；
- BRT系统一般都有比较先进的ITS支撑，比如GPS定位系统、智能调度系统等，通过这些技术的支撑，BRT系统在调度过程中也更有利于实时地监控车辆运营、数据传输以及智能调度的实施，提高了BRT系统调度运营的效率，但目前的研究并没有把ITS和BRT的智能调度很好的联合起来。因此结合BRT的技术和运营特点，研究BRT的调度优化问题具有极其重要的作用；
- BRT车辆调度组合问题主要受到“人、车、路”等三方面因素的影响，设计工程复杂性和社会复杂性等方面，常规方法难以建模，需要提出新的理论和方法。

ACP方法为解决大复杂系统的建模、运营管理等问题提供了一条新的思路[10,11]。它综合考虑工程、社会、人为和环境等各方面因素，采用理论建模、经验建模和数据建模有机结合的方法，建立与实际系统“等价”的人工系统，可以解决实际系统难以进行传统建模的难题；在人工系统上通过计算实验认识实际系统各要素间的演化规律和相互作用关系；最后利用计算实验所认识的规律实现平行执行优化实际系统的控制目标和减少非正常情况的发生[10,11]。

本文提出了以ACP方法为指导，建立人工BRT系统，并与实际BRT系统尤其是其视频系统相结合，构建BRT平行管理与控制系统。该系统可以满足BRT在监控、报警、预测、应急管理、实时调度等方面的需求。目前该系统已在广州中山大道BRT系统中成功实施，为BRT的畅通、安全、高效和可靠提供有效保障，实现了对BRT的智能监控和优化调度。

2.基于 ACP 方法的 BRT 平行管理与控制系统

ACP方法，包括人工系统（Artificial Systems）、计算实验（Computational Experiments)和平行执行(Parallel Execution)三个部分。它基于双闭环控制原理，具体可以描

述为：综合考虑工程、社会、人为和环境等各方面因素，采用理论建模、经验建模和数据建模有机结合的方法，建立与实际系统“等价”的人工系统，解决实际系统难以进行传统建模的难题；在人工系统上通过计算实验或“试验”来认识实际系统各要素间正常和非正常状态下的演化规律和相互作用关系；通过二者的相互连接，对二者之间的行为进行对比和分析，研究对各自未来状况的“借鉴”和“预估”，相应地调节各自的控制与管理方式；最后利用计算实验所认识的规律实现平行执行：正常情况下，利用人工系统认识实际系统千变万化的演化规律，不断优化实际系统的控制目标和减少非正常情况的发生；非正常情况下，利用人工系统帮助找到让实际系统迅速恢复正常的应急控制方法，从而减少损失[10,11]。

目前，ACP方法体系基本成型，相关理论、技术正在丰富和完善中，ACP方法已经先后成功应用到乙烯生产过程、城市道路交通控制与管理、城市公共交通管理等方面，并正在应用到农业、军事、物流、经济、安全、管理等领域[12-19]。

本文以ACP方法为指导，研究机理建模、数据建模和经验建模等有机融合的多模态建模方法，以原有的人工交通系统（TransWorld）为基础，研究BRT平行管理与控制系统，满足BRT在监控、报警、预测、应急管理、实时调度等方面的需求，实现BRT管理中心在站台乘客、站台车流、通道车流、路口车流和排队车辆长度的实时监控、报警、预测等功能；对节假日、大型活动、意外事故等突发事件的应急管理进行评估、改进和优化；以视频检测结果实现BRT的实时调度功能等；并通过平行执行，实现BRT人车路协同优化。

BRT平行管理与控制系统主要包括BRT动态感知系统、人工BRT、BRT综合评估系统、人工BRT计算实验平台等几个部分（见图1）。

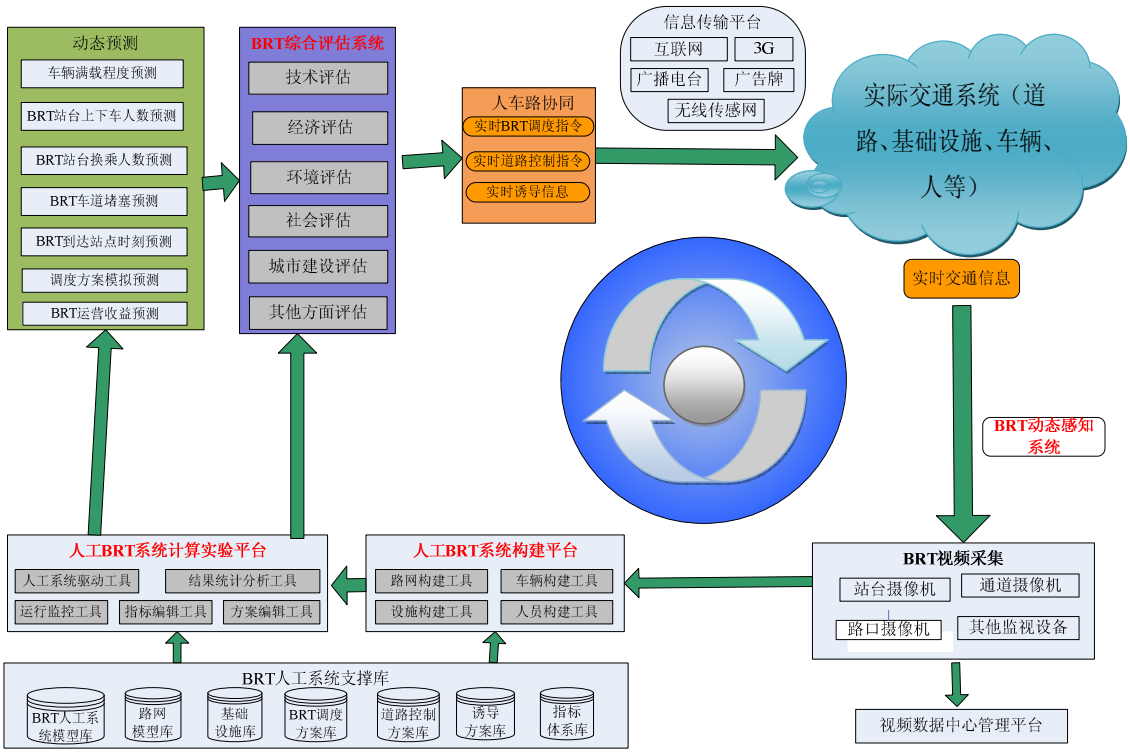

图 2BRT 平行管理与控制系统架构图

2.1 BRT 动态感知系统

BRT动态感知系统是将BRT车内、车站和交叉路口的视频和车载GPS定位系统和GIS系统等整合到一起，实现实时传输、实时监测、实时调度、实时掌握客流的时空分布、实时发布信息等功能，使BRT管理机构能够实施获得掌握BRT车辆运行状况、站台状况和车上状态，为BRT的管理、决策和调度提供数据支持，达到BRT最大的政治、经济、社会、环境等效益。同时，为了实现BRT优化调度，调度中心需要及时了解各公交车辆的位置、进出站时间、站台候车人员数量、公交车内乘员数量；同时，道路信号控制系统也需要获取公交车的准确位置以及车内乘员数量等信息，以合理分配优先通过权限。这都需要BRT的动态信息。主要内容包括：

- 基于BRT道路摄像机的车辆信息检测。通过在道路上安装的摄像头，检测道路车流量、拥堵程度、平均速度、实时断面车流量、排队长度、延误时间等；同时能通过视频进行车牌识别从而为后续的交通事故检测和定位提供信息。
- 基于BRT车站摄像机的客流检测。通过视频图像处理和智能分析，实时采集公交车站的人群数据，包括行人计数、人群流量、人群密度、人群速度等，从而为公交调度提供必要的信息；检测每个子站的客流数，自动计算子站饱和度，超过限值则自动报警。
- 基于BRT公交车载摄像机的乘客信息检测。是通过视频检测与车辆定位、无线

信息传输等技术相配合完成公交车辆的乘客上下车人数、上下车时间、相应站点等数据统计工作，真实地记录各时间、各区段的上下客情况，推算得到车上人数、换乘客流、客流OD，从而为科学合理地安排发车时间及间隔、优化公交线路、辅助完成客流调查工作等提供第一手资料。

- 根据BRT车载、车站及路口摄像头视频数据分析，得到乘客OD矩阵等，对整个BRT的线路进行优化，如增加新的线路，削减、调整或合并乘客较少的线路等等；根据车站各个子站的摄像头视频的数据分析，对各个车站的各个子站的线路就行调整，以使各子站等车乘客人数较为平均，是车站等车乘客和车辆从时间和空间上相匹配。

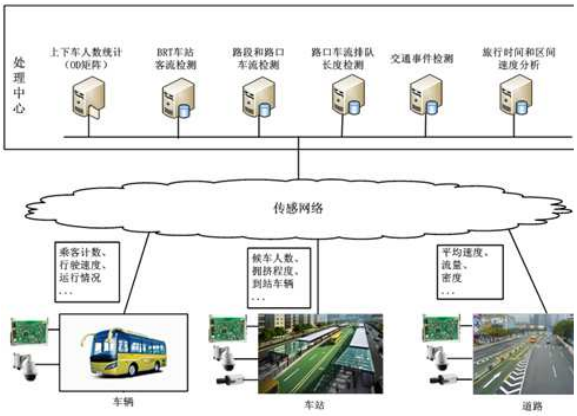

图 2BRT 动态感知系统

2.2 人工 BRT 系统

BRT主要包括人（乘客、司乘人员、管理者）、车（BRT车辆、车流）、路（站台、路段、路口、线路、线网、专用通道）、环境（天气、其他交通配套设施及周边环境）、管理（车辆调度、人员排班、其他措施）、目标和结果（BRT公司效益、社会效益、乘客满意度）等要素，涉及工程复杂性和社会复杂性两大领域。仅仅采用传统交通模型、专家知识模型、数学模型、或者基于实际BRT运营数据模型，都是不完整的，需要采用多种手段的多模态建模方法。

总体来讲，“车”和“路”等工程复杂性对象主要采用机理建模方式，“人”和“环境”等社会复杂性对象主要采用代理（Agent）建模，对于难以采用上述建模方法的对象，则可以通过智能交通系统采集到的BRT数据进行建模（蒙特卡洛模型）。对于复杂对象来讲，采用管理专家和技术专家在长期工作中积累的专家经验建立专家经验模型（神经网络模型）。

人工BRT的开发目标是在虚拟环境下“培育”和“生长”实际BRT的“替代”版本，为BRT的实验与评估提供统一个开放且具有高可靠性的实验平台。人工BRT交通系统的数据基础是组成交通系统的四要素：人、车、路和环境，它们具有开放的数据和模型接口，可以接入已有的路网结构、人口分布等数据库。框架的核心是基于代理技术的个体建模，即将个体统一用具有一定独立性和智能性的代理来表示，代理具有独立的个体特征，其行为上的智能性和主动性主要体现在完成活动和出行的过程中。在个体建模的基础上，人工交通系统可以充分利用已有的交通仿真模型，通过大量出行者个体的交通行为，

“涌现”生成复杂的交通现象。

系统采用已开发的人工交通系统（TransWorld）作为人工BRT系统的内核。系统提供人工交通系统设计平台，通过设计平台，对构成人工交通系统的各部分元素进行设置，从而构建出符合设计者需要的人工系统。

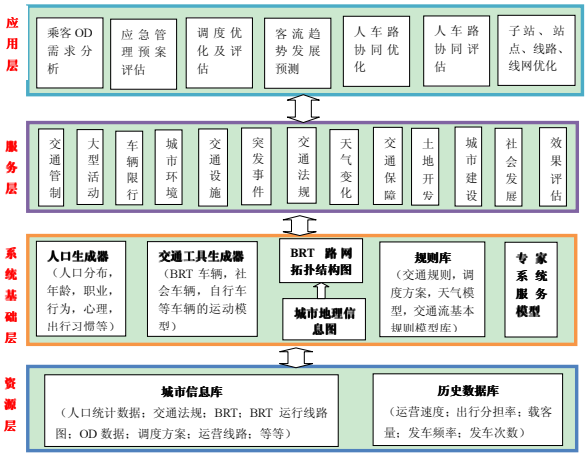

图 3 人工 BRT 系统层级体系结构图

人工BRT主要包括城市信息库、历史数据库、人口生成器、交通工具生成器、路网构建模块、出行行为产生模块、路径规划模块、交通微观仿真模块等。BRT平行管理与控制系统的城市信息库中的基础信息模块是其最基础部分。具体包括：

- BRT站台信息：包括名称、位置、子站数量、子站长度、上下行等；
- BRT通道信息：包括通道（2个站台间）名称、位置、长度等；
- BRT路口信息：包括名称、位置、所在通道、信号灯设置等；
- BRT线路信息：包括名称、停靠站台、子站、车辆数等；
- BRT车辆信息：包括车辆编号、GPS编号、所属线路、运行状况（是否运营、上行下行、运营方式（全程、段掉头、区间、快车等）、行驶位置、行驶速度等）等；
- BRT管理中心信息：规章制度、调度方案、发车时刻表等。

2.3 BRT 综合评估系统

建立BRT点、线、面多目标多层次的综合评估体系，采用层次分析法、专家分析法等处理各项指标，最后采用模糊综合评价法，对BRT的技术、经济、环境、社会和城市建设方面，人、车、路、站协调方面，政策、法规等规章制度，应急管理与预案评估进行综合评估，以全面反映BRT运营主要方面的性能要求。该系统可以对实际BRT的运用效果和人工BRT的计算结果进行分析与评估。评估过程如下：

- 建立多层次的评价指标体系；
- 由层次分析法确认系统各层次指标的权重；
- 由专家分析法对如乘客满意度、车辆状况等不易准确定量的定性指标进行量化处理；
- 对各指标进行量纲转化；
- 根据模糊综合评价法进行综合效绩评价。

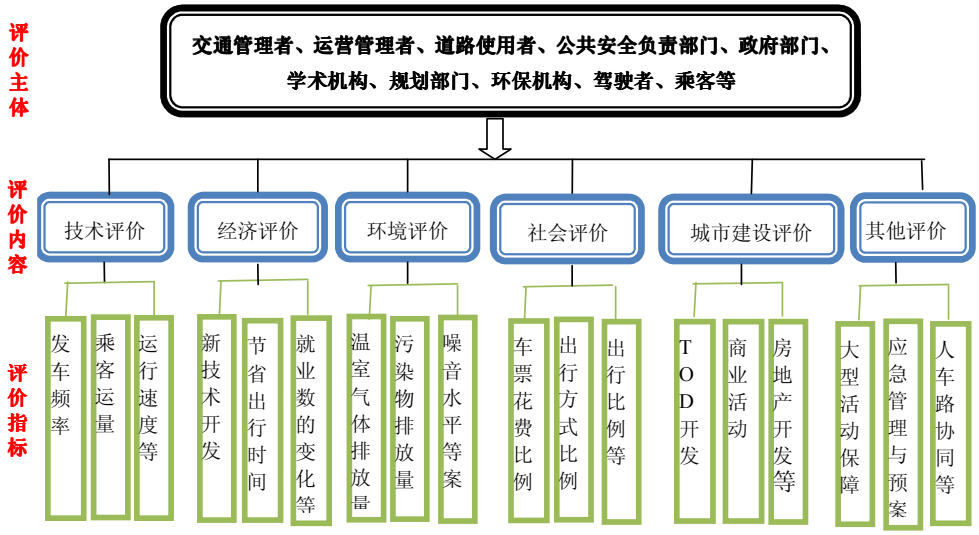

图 4BRT 综合评估系统

2.4 人工 BRT 计算实验平台

计算实验的核心是设计同时支持真实与虚拟实验场景的场景生成器。场景生成器能够接受最终用户输入的场景或自动提取场景库中的特定实验场景，实例化实验场景中的交互机制与管理规则，并传递给事件驱动引擎完成计算实验仿真；基于离散事件仿真技术实现事件驱动引擎，并动态模拟实验场景中各代理的交互与通信过程。事件驱动引擎采用仿真时钟模拟实验平台运行时的特定时刻和时间变化，按时间顺序存储、分析和确定实验过程中离散事件及事件间的引发关系。通过仿真时钟的推进和离散事件的处理来驱动和模拟计算实验的过程，并将适用于计算实验平台的算法分析工具以模块和组件的形式应用于实验平台中，如各类群体策略学习与优化算法、定性与定量计算实验评估算法以及提供各应用领域专用算法模块。这些工具将动态地分析、评估和优化计算实验过程及其结果，并实时更新知识库。

在此基础上可建立人工BRT系统计算实验平台，以支持基于人工BRT的计算实验设计、执行与分析方法的研究。人工BRT的计算实验平台可以支持基于人工BRT的计算实验设计、执行、预测与分析，对BRT不同的客流、车流、路口控制策略、指标体系等进行配置，在人工BRT上得到不同的“场景”，形成正交实验、均匀实验或者随机实验的方案。通过对人工BRT设计不同的实验方案，执行大量的各种计算实验，可以较为全面、准确、量化地得到各种BRT协同方案按不同指标体系的实验结果。“计算实验”内容可包括BRT服务水平、事故率、等待时间，BRT对经济的制约、环境的破坏、资源的消耗、人口的冲击，到针对各种交通规则及规章制度、法规的效应，BRT的线网和调度优化，针对突发事件或大型活动等的应急管理预案等。

3 BRT 平行管理与控制系统在广州 BRT 的应用

广州BRT系统自2010年2月10日开通以来，采用“封闭走廊+灵活线路”运营模式，使得公交专用道使用效率最大化，是世界上最大的灵活式运营的BRT系统。广州BRT系统高峰时段平均运营车速16-18公里/小时，单向每小时乘客量近2.2万人次，仅次于哥伦比亚的千禧年BRT系统。

目前广州BRT系统的运行效率还有待提高，存在的问题主要有两个：一是调度方案的优化与调整还主要是利用历史OD数据靠个人实际经验生成，缺乏有效的预测和评价方法；二是无法动态感知BRT车辆运行和客流需求信息，实时信息的获取还主要通过人工计数的方式，难以在大范围内进行应用，因此很难对车辆进行应急调度和及时调整。

将实际BRT系统、BRT动态感知系统、人工BRT系统、BRT综合评估系统和人工BRT计算实验平台结合到一起就构成了平行BRT——BRT平行管理与控制系统。该系统可以实现“虚实互动、主动管理、滚动优化”的BRT人车路协同优化。

3.1 监控报警功能

系统可实现BRT车站和车内人流数据的实时检测、车流和路况数据的实时检测功能，可以满足广州BRT在监控、报警、应急管理、实时调度等方面的需求，实现BRT管理中心在站台乘客、站台车流、通道车流、路口车流和排队车辆长度的实时监控、报警等功能（见图5-图8）；根据实时监测数据还可预测BRT未来一段时间内的客流、车流变化情况，为BRT的优化调度营运提供决策支持。

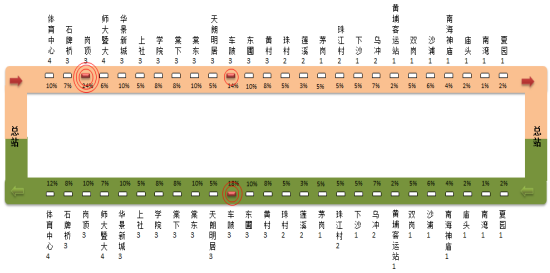

图 5 BRT 站台客流饱和度实施监测与预警

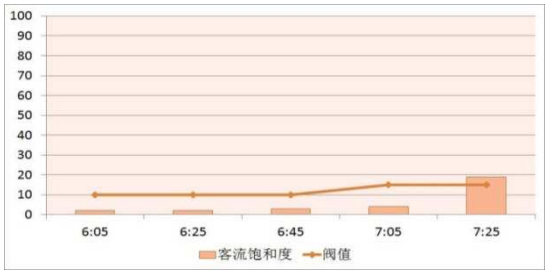

图 6 BRT 站台客流饱和度随时间变化曲线图

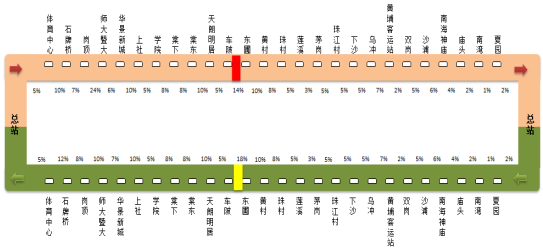

图 7 BRT 通道饱和度实时检测与预警

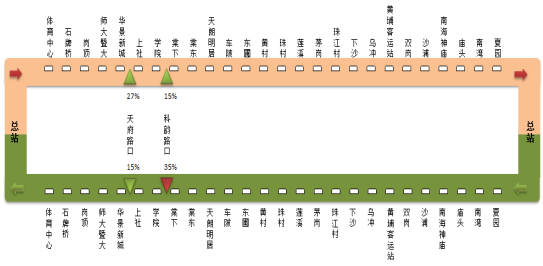

图 8 BRT 交叉路口车流量饱和度实时监测与预警

4.2 BRT 人车路协同优化

1）线路、站点、子站调整优化

根据历史数据和车载、车站、路口视频

检测数据，在人工BRT系统上利用计算实验对线路、站点进行优化。对BRT车站各子站的停靠线路进行调整，以避免客流分配不均；对BRT线路进行修改、合并、撤销等。

2）BRT人车协同优化

主要涉及BRT客流预测和BRT人车协同优化两个部分，BRT人车协同优化，就是通过BRT客流预测数据和实时数据，对BRT车辆流量进行总体控制，以确保饱和度的优化。

BRT客流预测主要根据已经存在的客流数据结合历史经验、客观资料和逻辑判断，寻求市政规划、人口增长、经济增长对客流增长的影响，预测客流变化规律和未来发展趋势，获得目标客流。另外要分析某条线路的客流运送分布，并分析该线路调整后对相关线路的影响，预测客流将如何分布，给出直观的分析结论。

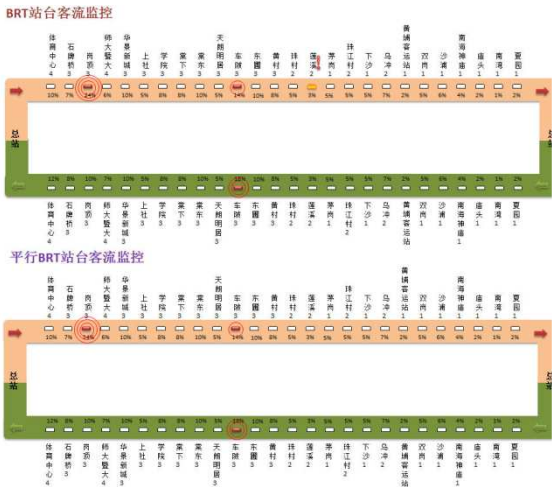

图 9 BRT 站台客流监控及其平行 BRT 站台客流预测

利用BRT客流信息，参考路况信息，通过车流数据，对BRT客流预测结果进行校正。在此基础上，主要通过车辆流量控制，对各个车站的各个子站的线路进行调整，使各子站等车乘客人数较为平均，使车站等车乘客和车辆从时间和空间上相匹配。

3）BRT车路协同优化

BRT车路协同优化是指实现BRT车辆队列在路口信号灯控制中的相对优先，通过调整一个信号周期内不同相位出现的时间来达到使公交车优先通行,在尽量少牺牲路口中非BRT车辆和人流的需求的前提下，尽量提高BRT车流通过BRT路口的速度，减少等待时间。在此种控制策略有两种基本的信号调整方式：（1）早断，当检测器检测到有公交车接近交叉口时，若当前相位公交车方向的信号为红灯，则通过调整信号机时相，为公交车辆提前提供绿灯；（2）迟启，为已经进入绿灯区的公交车辆延长绿灯时间，使其能够顺利通过交叉口。系统可根据实时检测数据和预测数据自动计算出早断或迟启的时间。

4）实现BRT人车路协同优化的智能调度

利用2）和3），结合人工BRT系统对乘客需求进行预测，并结合动态感知系统采集的实时信息对预测结果进行校正，对BRT进行三个阶段的调度优化—运营前的静态调度阶段（即行车计划制定，包括时刻表制定和计划配班）、运营中的动态调度阶段、运营后的分析阶段（报表统计、指标分析等）。进行各种计算实验，与实际系统运营结果相结合，双向、滚动优化，并结合历史数据采用遗传算法、禁忌搜索算法等计算智能算法对运营结果进行分析，以期得到更优的调度

方案；实现BRT车辆的自动调度和指挥，保证车辆的准点运行，并使出行者能够通过电子站牌了解车辆的到达时刻，从而节约乘客的出行时间。系统实施后，广州BRT的 B1路车调度优化前后的每天总发车次数从144次减少到了133次，同时加大了早晚高峰期的发车密度，减少了乘客的等车时间，从而在对乘客影响较少的情况下降低了公交公司的运营成本。

4 结论

BRT是利用现代公交技术配合智能交通的运营管理，以改良型的公交车辆运营在公共交通专用道路空间上，保持轨道交通特性且具备普通公交灵活性的一种便利、快速的和具有高等级、高服务水平的公共交通方式。越来越多的城市建设BRT作为缓解城市交通拥堵和提高公共交通出行的有效手段。但是对其运营管理尤其是智能监测和实时优化调度的研究滞后于实际系统的发展，也对BRT的运营效果，影响了BRT对普通公交以及地铁等大容量交通方式的竞争力。

本文以ACP方法为指导，研究BRT平行管理与控制系统，主要包括人工BRT系统、BRT动态感知系统、BRT综合评估系统、人工BRT计算试验平台实现BRT管理中心对站台乘客、站台车流、通道车流、路口车流和排队车辆长度的实时监控、报警；提供短期客流及车流饱和度的预测功能，以便BRT管理中心及时安排运力、舒缓拥堵；对节假日、大型活动、意外事故等突发事件的应急管理进行评估、改进和优化；以视频检测结果实现BRT的实时调度功能等。结合广州BRT已有的交通视频检测分析和平行交通管理系统等成果，该系统已成功应用与广州中山大道BRT系统，可满足其在监控、报警、预测、应急管理、实时调度等方面的需求，提高BRT的人、车、通道、路口、站之间的协调，为广州BRT的畅通、安全、高效和可靠提供有效保障。

参考文献

[1] Lloyd Wright, Walter Hook, Bus Rapid Transit (BRT) Planning Guide, Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), 2007.

[2] America Federal Transit Administration . Bus Rapid Transmit Offers Communities a Flexible Mass Transit Option. 2003.

[3] P. K. Mzee, C. Yan, Implementation of BRT system in developing countries as the best option in reducing emission the case study of Dart system in Dar es Salaam, IEEE International Conference on Advanced Management Science, 2: 532 – 537,2010.

[4] Y. Pan, Z. L. Cai, Research on setting conditions of Bus Rapid Transit (BRT) in Medium-sized cities, International Conference on Consumer Electronics,

Communications and Networks, pp: 3453–3457,2011.

[5] International Energy Agency (IEA) Bus Systems for the Future. Transport Achieving Sustainable Transport Worldwide, IEA/PRESS(02)18, 2002.

[6] Issues in Bus Rapid Transit. The Federal Transit Administration of USA. Washington,D.C. 2003.

[7] United States General Accounting office，Mass Transit: Bus Rapid Transit Shows Promise,Report to Congressional Requesters,GAO-01-984.2001.

[8] Evaluation Guidelines for Bus Rapid Transit Demonstration Projects. U.S. Department of Transportation，Federal Transit Administration, 2002.

[9] 孙传娇，快速公交调度优化研究，长安大学博士论文,2008.

[10] 王飞跃，人工社会、计算实验、平行系统——关于复杂社会经济系统计算研究的讨论，复杂系统与复杂性科学，1（4）：25-35.2004.

[11] F. Y. Wang, Toward a paradigm shift in social computing: the ACP approach, IEEE Intelligent Systems, vol. 22, no.5. pp::65-67,2007.

[12] F. Y. Wang, Parallel control and management for intelligent transportation system: concepts, architectures and application. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,vol. 11,no.3,pp: 1-10.2010.

[13] Q. H. Miao, F. H. Zhu, Y. S. Lv, et al. A Game-Engine-Based Platform for Modeling and Computing Artificial Transportation Systems, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.12,no.2,pp: 343-353.2011.

[14] F. H. Zhu, D. Wen, S.H. Chen, Computational Traffic Experiments Based on Artificial Transportation Systems: An Application of ACP Approach, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 14,no.1,pp: 189 – 198.2013.

[15] S. H. Chen, F. H. Zhu, J. P. Cao, Growing Spatially Embedded Social Networks for Activity-Travel Analysis Based on Artificial Transportation Systems, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Year: 2014, vol.15,no.5,pp:2111 – 2120,2014.

[16] F. H. Zhu, S. H. Chen, Z. H. Mao, et al. Parallel Public Transportation System and Its Application in Evaluating Evacuation Plans for Large-Scale Activities, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.15, no.4, pp: 1728 – 1733,2014.

[17] 王飞跃．平行应急管理系统PeMS的体系框架及其应用研究.中国应急管理,12：22-27.2007.

[18] 熊刚，王飞跃，邹余敏等，提升乙烯长周期生产管理的平行评估方法，控制工程，13(3)：401-406.2010.

[19] W. Duan, Z. D. Cao, Y. Z. Wang, et al. An ACP approach to public health emergency management: Using a campus outbreak of H1N1 influenza as a case study, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. A, vol. 43,no.5,pp: 1028–1041.2013.