同济大学交通运输工程学院

博士学位论文

公交专用道信号优先控制理论研究

姓名：马万经

申请学位级别：博士

专业：交通信息工程及控制

指导教师：杨晓光

20070301

摘　要

交通拥挤在全世界范围内日益凸现为亟待缓解的重要问题，优先发展公共交通被认为是缓解交通问题，改善交通状况，提高交通（客流）运输效率，促进交通与城市可持续发展的最主要和最有效的途径之一。在我国及许多国家的大城市，公交（本文特指公共汽、电车交通）系统规模巨大，网络复杂，为数量庞大的出行者提供运输服务，在城市客流运输系统中占据非常重要的地位。在公交系统的总体服务水平和运行可靠性较差，机动化竞争越来越剧烈，公交吸引力较低且改善手段又相对匮乏和落后，而专用道等公交优先基础设施得到大力发展的情况下，公交优先控制理论的研究变得极具现实意义。

论文首先提出了公交优先控制系统的原型结构，将信号控制交叉口群，而不是单个交叉口，作为优先控制的对象；提出了离线优先策略与在线优先策略相结合，信号控制与调度策略相协调，协调控制与单点控制互补的优先控制思想，设计了系统运行的逻辑流程。这一原型设计使得优先控制系统不但可以应对公交网络简单、线路发车频率低的情形，还适用于道路网络密集，公交网络复杂且流量大，交通流总体运行可靠性不高，行人过街需求大且频繁的状况。论文随后分离线优先控制策略、在线优先控制策略、信号优先与调度协调策略和信号优先优化软件实现四个主要部分展开深入研究。

离线公交优先控制策略中，公交车流和社会车流共同参与优化，首先给出了控制的任务、目标和控制方案的生成逻辑，并主要以四个信号配时参数：信号周期、绿信比、相位差和相位相序的优化模型与计算方法为研究重点。提出了“基本周期”与“在线增量”的信号周期优化模型结构；结合仿真数据给出了模型的基本参数，分析并佐证了“人均延误最小”目标和“缩短周期利于信号优先”等相关研究结论之局限。在交叉口时空资源相互转化关系分析的基础上，将车道功能划分作为变量引入信号配时参数优化过程中，提出了以时空组合优化最优为目标的绿信比优化模型。在相位相序设计中，不再拘泥于单个交叉口和机动车流本身，而是将优化范围扩展到信号协调的相邻交叉口，优化对象扩展到行人相位和机动车相位，进而实现交叉口群内的最优化，并考虑了行人过街这一对公交系统服务水平有重要影响的因素。着重研究了考虑公交优先后，相邻交叉口左转相位协调优化的整数规划模型和行人相位与机动车相位的组合优化模型。建立了公交优先相

位差优化模型，并进行了敏感性分析。在研究过程中，对所建立的模型都进行了相应的实证分析，模型的有效性及其相对于传统方法的优越性都得到了证明。

在线优先控制策略研究中，首先研究并确定了在线策略的主要任务和目标，给出了在线控制方案生成的逻辑流程。重点研究了有条件公交协调优先控制模型，该模型以协调控制交叉口群为控制对象，基于车辆通过交叉口群的延误预测，以公交车辆运行状态偏移值（含正、负两种情况）最小化为目标，以社会车流运行服务水平（排队和延误）和交通安全等为约束条件，进行交叉口群内各个交叉口优先策略的组合优化。模型包含了降低公交延误和增加公交延误两大类策略，对优先申请生成、优先时间分配、优先策略及其延误计算、交叉口群策略组合优化和多申请排序等关键组成部分进行了详细研究。协调优先控制模型具有为公交车辆提供有条件的优先，处理多申请，协调群内交叉口优先策略，平衡分配群内各交叉口的优先程度并保持社会交通信号协调的能力。

为应对由于协调模型中公交车辆在交叉口群延误预测不准的情形，在线优先策略还提出了协调条件下的单点感应优先逻辑模型。该模型的目标与协调策略的目标保持统一，根据车辆在交叉口的实时运行状态进行感应。为避免公交优先对社会车流造成较大影响，公交单点感应优先控制仅采用绿灯延长和红灯早断两种策略。各策略的控制逻辑和主要参数的确定方法都进行了详细的研究。

信号优先与调度在本质目标上的同一性和现实的关连性决定二者之间的协调对两种策略的实现具有重要意义。在对二者关系的初步解析的基础上，面向问题，分离线和在线两部分进行了公交信号优先与公交调度策略协调方法的初步探索。

以优先控制基本功能和核心模型实现为目标，设计了公交优先控制软件的数据结构和数据流图，并应用 Java Eclipse 编程实现了软件的基础版本 V1.0。

论文设计了公交优先系统的原型结构，深入研究了其控制逻辑和优化模型，并进行了软件实现的探索；拓展和丰富了交通控制理论与方法，并为公交优先控制系统的开发奠定了理论基础。受研究时间和优先控制系统本身及其实施的复杂性所限，研究尚有诸多缺陷，特别是未能对研究成果进行应用研究，这是后续研究的重要内容。同时，非专用道条件下优先控制模型及非循环优化等都是后续研究的主要方向。

ABSTRACT

Traffic congestion is growing to a more and more important problem all over the world. Giving priority to bus movements has been taken as an efficient way to improve level of service of bus system and attact more passegers and reless traffic jam. Bus network is huge and complex and playing a very important roal in transportation system of China. Lots of people have no chice but take bus in daily life. However, the efficency, level of service and reliability of bus system is still very low. As the blossoming of motor traffic and automobiles, the unappealing bus system may loss it's foregone and potential passegers dromaticly. Lots of exclusive bus lanes have been built to ameliorate bus system, and gving priority to transit has been adapted as a basical politics in many countries including China. Under this condition, the research of bus signal priority theries, an efficient tool to improve travel speed and reliability of bus systme is very important and significative.

A prototype of bus signal priority control system is proposed. It is grouped intersections not isolated intersection is adopted as control object. The core concept of the prototype is combination of offline bus priority strategies and online bus priority strategies, reinforcement of cordianted optimization of signal priority and isolated acuated signal priority and coordination of priority signal control strategies and bus operation strategies. This concept extend capability of the bus signal priority to adapt the condition of heavy bus volume, denseness road and bus network, low reliability traffic condition and huge demand of pedestrian crossing. Four parts are followed to realize this prototype, offline priority strategies, online priority strategies, coordination of signal control and bus operstion strategies and development of bus signal priority core sofeware.

In offline bus priority strategies, motor movements and bus movements are joined optimized. The control logic is gaven firstly and four models are developed respectively for optimization of cycle, split, phase sequence and offset. A structural model of optimal cycle length, including "basic cycle" and "online increment" is proposed. The limitations of foregone concolusions of "small cycle benefit to buses" and "minimize passager delay is an objective of bus priority" are proposed and

analyzed. In the phase sequence model, coordination optimization of left turn phases of adjacent intersection and combination optimization of bus phases and pedestration phases is researched in-depth. In the split model, allocation of lane function is included as an optimization variable. In the offset model, the sensitivity analyse of bus travel time is done. Earch model was test and evaluated by simulation.

In online bus priority strategies, logic of complement earch other of corrdianted signal priority and isolated actuated priority is proposed. An in-depth study is put on a coordinated and conditional bus priority approach. Five models are included in it: bus delay prediction model, priority requests generation model, priority time allocation model, multi request sequence optimization model and corrdiantion optimization model of priority strategies of intersections in a group. A comprehensive simulation test shows that the approach can achive much benefit to buses and the adverse affect on motor movements is very low. In order to response to the variance of bus travel time between detection points to intersection stopline, an isolated actuated control priority strategy based on coordinated control plan is also developed.

The objective of bus signal priority strategies and bus operation strategies decied that the two strategies should be coordinated. Based on the analysis of the relationship between them, a coordination approach between bus signal priority control strategies and bus departure frequence is proposed and evaluated.

Aming at the realization of basic bus signal priority control function, a priority control software package is developed. The basic version is development by Jave Eclipse.

The dissertation proposed and transit signal priority control prototype, developed and evaluated the core models. Lay an academic fundation for development of transit signan priority control system and extend the traffic control theories.

图目录

图 1.1 公交优先控制问题示意图 3
图 1.2 研究技术路线 10
图 2.1 研究综述主要内容 11
图 3.1 自动控制系统方框图 30
图 3.2 信号优先控制系统方框图 31
图 3.3 车辆运行状态相互影响示意图 33
图 3.4 动态调度与信号控制策略相互影响示意图 34
图 3.5 公交优先控制系统结构 36
图 3.6 交叉口群及单点控制层的运行逻辑 37
图 3.7 离线优先策略与在线优先策略的协调逻辑 38
图 3.8 系统协调控制策略与单点感应控制策略的协调逻辑 38
图 3.9 信号优先系统逻辑框架 39
图 3.10 信号优先方案生成逻辑流程 40
图 4.1 离线公交优先策略生成逻辑 42
图 4.2 最优周期求解流程 46
图 4.3 无影山路-北园大街交叉口示意图 46
图 4.4 最优周期与加权平均延误及加权总延误的变化关系（qb=50(veh/h)） 47
图 4.5 最优周期与加权平均延误及加权总延误的变化关系（qb=100(veh/h)） 47
图 4.6 最优周期与加权平均延误及加权总延误的变化关系（qb=150(veh/h)） 48
图 4.7 最优周期与加权平均延误及加权总延误的变化关系（qb=200(veh/h)） 48
图 4.8 最优周期与加权平均延误及加权总延误的变化关系（qb=250(veh/h)） 48
图 4.9 最优周期的对比关系（qb=250(veh/h)） 49
图 4.10 最优周期的对比关系（qb=250(veh/h)） 49
图 4.11 不同日标下最优周期随公交流量变化趋势 50
图 4.12 车辆延误随信号周期变化图 51
图 4.13 在线优化对周期影响分析对象 VISSIM 模型 52
图 4.14 在线感应优先控制逻辑 52
图 4.15 离线信号周期在线优化的适应性分析 53
图 4.16 不同权重下加权平均延误变化趋势 53
图 4.17 车道布置与相位设计示意图 55
图 4.18 Q2=0.6Q1 绿灯时间随左转车道数变化图 56
图 4.19 Q2=1.2Q1 绿灯时间随车道功能变化图 57

图 4.20 情形一车均延误随左转车道数变化图 59
图 4.21 情形二车均延误随左转车道数变化图 60
图 4.22 Qb=50, $k_b:k_v$=1 总车均延误随左转车道数变化 60
图 4.23 公交优先下机动车相位组合设计(阴炳成,2003) 61
图 4.24 左转处理方式分析交叉口 63
图 4.25 PLT 和 PPLT 对最优周期值的影响 64
图 4.26 PLT 和 PPLT 对车均延误的影响 64
图 4.27 PTL 和 PPTL 对交叉口饱和度的影响 65
图 4.28 通过路网完成左转交通 65
图 4.29 各种 U-turn 形式 66
图 4.30 左转相位协调设计 67
图 4.31 调头车流空间协调设计 68
图 4.32 相位协调设计案例 69
图 4.33 平均延误对比 70
图 4.34 公交优先与行人过街冲突示意图 71
图 4.35 行人与多相位机动车相位的组合 72
图 4.36 传统行人过街相位设计方法行人延误计算图示 73
图 4.37 组合相位行人过街延误计算 74
图 4.38 人均过街延误对比 75
图 4.39 公交相位差计算输入参数的波动性 77
图 4.40 相位差敏感性分析研究对象 77
图 4.41 车均延误随相位差的变化趋势 78
图 4.42 停靠时间敏感性分析 78
图 4.43 相邻停靠站在相邻交叉口的相对位置 79
图 5.1 信号优先控制策略构成模块 84
图 5.2 在线优先控制概念流程 85
图 5.3 CCBP 总体流程. 88
图 5.4 相邻交叉口计算参数示意图 90
图 5.5 降低延误策略 92
图 5.6 增加延误策略 93
图 5.7 优先时间分配示意图 94
图 5.8 不同优先策略下的车辆轨迹 95
图 5.9 多申请分类图 97
图 5.10 单相位两申请决策树 97
图 5.11 两相位两申请决策树 98

图 5.12 多申请排序案例分析示意图 98
图 5.13 案例分析决策树 99
图 5.14 CCBP 模型求解算法流程 101
图 5.15 不同控制方法对公交信号延误的影响 104
图 5.16 不同控制方法对车辆延误波动的影响 105
图 5.17 优先比例分析 106
图 5.18 不同控制策略对背景交通延误的影响 106
图 5.19 不同策略对车头时距波动的影响 107
图 5.20 单点信号优先总体逻辑流程 109
图 5.21 单点信号优先申请生成逻辑 109
图 5.22 单点绿灯延长逻辑流程 110
图 5.23 相位绿灯时间延长感应式控制机理 111
图 5.24 单点红灯早断逻辑流程 114
图 5.25 相位提前激活感应式控制机理 115
图 6.1 公交调度基本策略（滕靖，2005） 119
图 6.2 信号优先与调度一体化逻辑流程 120
图 6.3 车辆运行环与信号时间环示意图 122
图 6.4 信号周期与发车频率协调优化逻辑 123
图 6.5 车辆到达时刻概率分布示意图 125
图 6.6 两个相位公交优先控制方法示意图 125
图 6.7 两个落点的优先控制方法示意图 126
图 6.8 仿真模型示意图 127
图 6.9 不同发车频率下车头时距波动对比 128
图 6.10 不同车头时距下车均延误对比分析 129
图 6.11 不同落点车均延误对比 130
图 6.12 相位相序设计图 130
图 6.13 信号优先与车辆动态调度协调优化示意图 133
图 6.14 驻站控制与优先策略协调逻辑 133
图 6.15 控制与调度协调优化算例示意图 135
图 6.16 车辆运行状态偏差随驻站时间变化图 136
图 7.1 优先控制在控制系统中的定位 139
图 7.2 软件的主要构成模块 140
图 7.3 在线优化逻辑流程图 141
图 7.4 底层逻辑流程图 141
图 7.5 单点交叉口结构 144

图 7.6 交叉口群结构 145
图 7.7 区域结构 145
图 7.8 路段 Petri 网模型 148
图 7.9 两相位的时间 Petri 网信号控制模型 149
图 7.10 西进口左转车时间 Petri 网模型 149
图 7.11 软件输入界面 150
图 7.12 软件演示界面 150
图 7.13 指标评价界面 150

表目录

表 1.1 论文研究内容 9
表 2.1 公共汽车优先控制基本策略 13
表 2.2 论文研究内容与国内外研究对比 27
表 2.3 论文研究方向与国内外研究对比 28
表 4.1 算例参数表 47
表 4.2 算例参数取值表 58
表 4.3 常规方法计算结果 59
表 4.4 本文模型计算结果 59
表 4.5 信号配时参数和相位机动车延误对比 69
表 4.6 相位组合法对行人过街最小绿灯时间的影响 73
表 5.1 信号参数表 103
表 6.1 不同发车频率下车头时距变化幅度对比 129
表 6.2 控制仿真效果对比表 131
表 6.3 不同情形下控制与调度参数对比 136

学位论文版权使用授权书

本人完全了解同济大学关于收集、保存、使用学位论文的规定，同意如下各项内容：按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版本；学校有权保存学位论文的印刷本和电子版，并采用影印、缩印、扫描、数字化或其它手段保存论文；学校有权提供目录检索以及提供本学位论文全文或者部分的阅览服务；学校有权按有关规定向国家有关部门或者机构送交论文的复印件和电子版；在不以赢利为目的的前提下，学校可以适当复制论文的部分或全部内容用于学术活动。

学位论文作者签名：

2007 年 3 月 15 日

经指导教师同意，本学位论文属于保密，在　　年解密后适用本授权书。

指导教师签名：　　学位论文作者签名：

年　月　日　　年　月　日

同济大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或者没有公开发表的作品的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

签名：

2007年 3月 15日

第1章 引言

在城市人口急剧增加，交通拥挤状况日益严重的背景下，优先发展公共交通成为全世界大多数城市的战略选择。设置公交专用道（本文特指公共汽、电车专用道）和信号优先是公交优先（本文特指公共汽、电车的信号优先）的两大重要手段。第一条具有广泛世界影响力的公交专用道源于 1974 年巴西的 Curitiba 的快速公交系统，而公交专用道概念的提出可以追溯到 1937 年美国 Chicago 的交通规划（Lloyd Wright, 2004）[1]。通过设置公交专用道，给与公交车辆以空间上的优先通行权，可以大大降低社会车辆对公交车辆运行的干扰，进而提高公交系统的运行速度和可靠性。最早的信号优先可以追溯到 1967 年洛杉矶公路局 Wilbur 等人的研究。通过信号优先，一方面可以提高公交系统的运行速度、准点率和可靠性，进而增加公交系统的吸引力，促进交通方式转移，从而缓解交通拥挤；另一方面，信号优先还可以降低公交系统运营费用，提高公交企业的运营效能。

基于对公交优先需求与信号优先理论研究成果的分析和总结，本文以客观存在的实际现象和理论问题入手，以形成具有可操作性的控制策略和方法为目的，对公交专用道的信号优先控制理论进行深入研究，以其能够促进公交优先理论的完善，并推动理论成果的转化与实际应用。

1.1 研究背景

1.1.1 现实需求背景

公交优先成为越来越多国家应对交通拥堵的策略。 交通拥堵成为越来越多城市的不堪承受之苦，发展中国家与发达国家的情形都是如此。交通拥挤带来的损失也是巨大的，据测算，由于交通堵塞，整个英国每年在时间和燃料上的损失相当于国内生产总值的 2%到 4%[2]。高度依赖小汽车的社会如美国，付出代价也是高昂的，约占世界 5%的人口消耗了 26%的石油，且 45%的贸易赤字来自于汽车和石油的进口（S.K.Jason CHANG，2005）。在这一严峻形势下，越来越多的国家转而将优先发展公共交通作为重要的战略选择。

我国城市正在经历快速的城市化进程，城市人口急剧增加，2000 年则达到

3.88 亿，已经超过了总人口数的 30%，到 2010 年或稍后一些年份，预计将达到 6.5 亿左右，约占当时全国总人口的 50%左右；中国百万以上人口的大城市数量增长迅速，到 2000 年，我国人口超过 100 万的城市已经发展到 37 个，其中超过 200 万的超大城市就有 14 个；这些都表明，我国的城市化进程已经进入到城市加速发展阶段。随之而来交通拥堵现象也越来越严重，带来的损失也颇为惊人。据测算，2002 年北京市一天的拥挤成本即为 4 177.1 万元/天,全年的拥挤成本将达到 10013 亿, 占当年北京市 GDP 的 3.13 %（王晶，2005）[3]。

我国政府很早就将优先发展公共交通作为基本国策。北京、上海、济南、昆明、石家庄、厦门和杭州等诸多城市也开始公交专用道等的规划和建设乃至正式运行。另有西安、重庆、成都、武汉、郑州等诸多城市已经展开建设公交优先系统的研究。因而无论从我国还是从世界交通状况的发展来看，公交优先理论和技术的研究都具有巨大的需求。公交优先控制理论，作为公交优先系统的关键和核心技术之一，其相关研究将具有广泛的应用价值

1.1.2 理论研究背景

公交优先控制理论与方法尚需完善。 Christopher Dickerson Hunter（2000）在其博士论文中指出，“到目前为止，尚没有得到广泛接受的公交优先控制应用案例”。并认为其主要原因在于“公交信号优先常常打断背景控制方案的信号协调”[4]。而 Meenakshy Vasudevan（2005）博士也指出了类似的问 题，“多数已有的公交优先系统中，信号优先策略的实施没有考虑其对社会车流的影响”，并且“多数研究假设仅在主要道路的主要流向上有公交车”。本文后续的研究综述证实，上述分析是客观的，虽然在 20 世纪末及以后众多研究者开始发表相对公交优先等旨在克服原有公交优先理论缺点的研究成果，但尚未形成系统性的成果。公交信号优先历经 40 年左右的研究，无论在理论还是在实践层面，仍有诸多不完善之处，这是由公交优先控制本身具有的复杂性决定的。公交优先控制不但要进行优先策略本身的优化，还需要协调信号优先与背景控制方案的关系，兼顾公交车流与社会车流的运行效益。同时公交信号优先还需考虑到公交运营调度策略的影响，以其实现公交系统整体效果的最优。

与国外特别是美国相比，我国等国家的公交优先控制的控制对象、运行环境等代表了公交系统的另一种情形：公交线路多、发车频率高、总体流量大、公交网络复杂和受到干扰较多。这些决定了以公交需求较小等为典型特征的公

优先控制策略难以直接应用。

因而，无论从世界上公交优先控制理论的研究和实践进展还是从面向实际公交系统特征来看，都有必要对公交优先控制理论进行系统而深入的研究。研究成果不但是对公交优先控制理论的完善和拓展，还可以发展成面向实际情况的可操作的控制系统。

1.1.3 相关技术背景

ITS 相关技术的进步为信号优先的实现提供了技术保障。公交优先控制的实现对交通信号控制机、公交车辆检测手段、计算和通讯设备都有较高的要求。公交车车辆检测技术等的不足，是许多早期公交优先控制系统难以实践的主要因素之一（Hunter，2000）。ITS 相关技术的进步，特别是车辆自动定位/识别系统（Automatic Vehicle Location System，AVL/Automatic Vehicle Identification technologies，AVI）、公交车辆技术、乘客自动计数系统（Automatic Passenger Counting system, APC）等技术的发展以及交通信号控制相关设备功能的提升，从可获取的信息到可执行的优先策略等诸多方面，为公交优先控制理论的实现提供了较强的技术保障。

1.2 研究问题提出

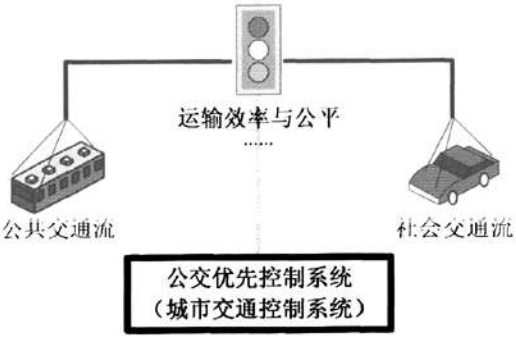


图 1.1 公交优先控制问题示意图

由于载客量、资源利用率及环境影响等的不同，公共汽（电）车与小汽车具有不同的运输效率。在交通拥挤日益严重的情形下，如何处理公共交通流与

社会交通流的关系凸显为城市交通控制系统需要解决的重要课题。如图 1.1 所示，交通控制系统的天平应该偏向哪一方向？为什么偏向某一方向？怎样偏向某一方向？偏向某一方向多少？公交优先控制系统的研究必须回答这一系列问题。

1.2.1 应用问题

在公交优先的政策环境和硬件设施齐全之后，提高公交系统的可靠性、吸引力和公交企业的运营效能便成为落实公交优先的关键。Abkowitz（1978）首先将公交信号优先归结解决这一关键问题的主要手段[6]。具体而言，公交优先控制需要解决如下应用问题：

1) 如何提高公交车辆的运行速度

公交车辆快速运行是公交运营者和乘客的共同目标。据统计，交叉口的延误占公交车辆行程时间的 15%以上。如何利用交通控制系统实现公交车辆延误的降低，是公交优先控制面临的现实问题。

2) 如何提高公交系统的可靠性

除了行程时间绝对值等之外，行程时间的可靠性也是决定出行者交通方式选择的重要因素。交叉口信号延误的不确定性是公交车辆运行状态波动的原因之一。不但如此，人们还期待信号控制系统能够在一定程度上缓解由于停靠时间的不确定性等带来的公交车辆运行状态波动。

3) 如何提升公交系统的相对吸引力

在小汽车进入普通家庭的趋势不可阻挡而交通拥挤日趋严峻的情况下，提高公交系统的服务水平，使其在与小汽车交通方式竞争时具备综合优势是改善交通的根本途径之一。必须使得公交车辆的服务水平全面接近或者在某些方面超越小汽车交通，提升公交系统的相对吸引力，才有可能保住目前的客流并吸引新增客流。公交信号优先控制系统是增加公交系统吸引力，调节社会车流和公交车流服务水平的主要工具。

4) 如何制定优先控制方案和选择乃至开发优先控制系统

对于交通管理者，如何根据实际的交通状态制定合理的优先控制方案，选择合适的公交优先控制系统，是推进公交优先过程中面临的实际问题。对于交通控制系统的研发人员来说，首先需要回答系统控制对象、系统结构、控制策略与方法等基本问题。

1.2.2 科学问题

由于大多数公交车辆与社会车流在同一平面路网上运行，受相同的交通信号控制系统控制，公交信号优先必然要影响到社会车流的运行。显然，社会车流的运行状态不能因信号优先的实施而显著恶化，从某种程度上说，社会车流在路网上的顺畅运行也是公交优先能顺利实现的保证。因而，如何通过控制策略的优化，使得交通信号有利于公交系统提供快速而可靠的服务，同时又不会因为提供公交优先而对社会车流产生较大的影响，是公交优先控制研究的核心问题。这一问题可以细化为如下子问题：

1) 控制对象与目标的选择问题

控制对象与控制目标的确定是整个控制优化过程有效的前提。在传统的研究中，公交优先控制对象一般为单一交叉口，控制目标一般为公交车辆延误最小或人均延误最小。这一对象和目标是否合理？是否有其它的控制对象和目标能够更合理的刻画公交优先控制问题，并能够协调公交车辆与社会车辆、不同交叉口之间以及公交车辆速度与运行可靠性等之间的关系？这是本论文需要回答的第一个理论问题。

2) 控制结构和逻辑设计问题

优先控制面向的是庞大而复杂的交通网络，控制系统的结构对系统的优化效率和准确性有重要的影响。如何使得所设计的控制系统结构能够高效地实现系统的优化目标，如何设计清晰的控制逻辑能够较好地解析和承担控制任务，是本论文需要回答的第二个理论问题。

3) 多目标的交通控制与优化问题

公交优先条件下，公交车流与社会车流的共同优化明显构成了一个多目标的优化问题。虽然，论文并不追求多目标优化方法的创新，但如何根据交通控制的需求来处理这一问题，却是本论文需要回答的第三个理论问题。

1.2.3 已有研究之缺陷

自上个世纪 60 年代开始，公交优先作为一个重要的方向得到了很多研究者的重视，并取得了较多的研究成果。然而迄今为止，在检索到的文献中尚未发现一个控制系统完美解决这一问题。主要存在以下五点缺陷：

1) **控制目标的偏差。**早期的公交优先研究，将控制目标定为车辆延误最小化。在这一目标指导下，控制系统需要为所有的公交车辆提供优先而不