

“科技创新，星火燎原”清华大学学生创新人才

培养计划第十一期

终期汇报审查表

项目名称：车路协同环境下交叉口交通控制仿真系统设计
及主动控制建模优化

申请者：张蔚桐

电子邮件：zwt15@mails.tsinghua.edu.cn

联系电话：13001282600

指导教师：姚丹亚

依托单位：自动化系

提交日期：2017年5月

“科技创新，星火燎原” 清华大学学生创新人才

培养计划第十一期

项目介绍

项 目 名 称	车路协同环境下交叉口交通控制仿真系统设计及主动控制建模优化				
申 请 人 姓 名	张蔚桐	学 号	2015011493	所 在 院 系	自动化系
专 业	自动化	班 级	自 55	联 系 电 话	13001282600
E-mail	zwt15@mails.tsinghua.edu.cn				
项目摘要					
<p>车路协同技术代表了未来智能交通的发展方向，而主动控制则是在传统控制策略基础上增加了对车辆速度引导的新的控制策略。基于主动交通控制的思想，本项目首先开发了新的车路协同仿真平台。仿真平台着眼于单一的交叉路口，采用新的数据结构对路口的模型进行优化，同时从软件工程角度尽可能地提高程序运行效率。这些使得此平台相比于常用成熟平台在细粒度仿真和执行效率上更出色。</p> <p>为满足车路协同方面关于车间通信的需求，新的车路协同仿真平台提供了车间通信的接口。同时，在信号配时方面，程序通过用户界面提供给用户最大的自由度进行调整。</p> <p>基于这个平台，本项目完成了有关主动控制算法的设计。根据路口的实际情况，对传统的跟驰模型进行了优化和边界处理，并进行了合理的实现。除了完成人工驾驶模型之外，同时完成了一个没有车间通信的车路协同控制策略以及一个存在车间通信的车路协同策略。</p> <p>本项目通过平均延误时间等常用的效率考察参数对三个模型的运行状况进行评估，并得到了良好的效果。同时，项目也充分考虑到交通引导系统装车时可能存在的自动驾驶和自由驾驶策略混行的情况，设计了混合驾驶模块对各个比例混行状态的通行效率及其变化趋势进行了考察，得到了较好的结论。</p>					
关键词(不超过 5 个，用分号分开): 车路协同；车速引导；仿真系统；交叉口交通控制					

Abstract(limited to 500 words):

Connected vehicle represents the future direction of development of the intelligent traffic. Active control is a new kind of control strategy that introduces the guidance of the velocity of the vehicle on the basis of the traditional control strategy. Based on the idea of active traffic control, the project firstly developed a new traffic simulation platform which outperforms commonly used platforms in terms of fine-grained simulation and the efficiency of execution, because

- 1) It focuses on a single intersection;
- 2) It utilizes new data structures to optimize the intersection model;
- 3) It tries to maximize the efficiency of the program from a software engineering perspective.

In order to meet the demand for the communication between the vehicles in the connected vehicle, the new simulation platform provides the interface for this kind of communication. As for the signal timing, the platform provide users with the greatest degree of freedom to adjust the phase of the signal by the user interface.

Based on this platform, the project has completed the design of the active control algorithm. According to the actual situation of the intersection, the traditional car-following model is optimized and the boundary is processed, and a reasonable implementation is carried out. In addition to the completion of the manual driving model, the project has also completed vehicle-coordination control strategies with or without the inter-vehicle communication.

The project evaluates the operation status of the three models through common efficiency parameters such as the average delay time, and has obtained good results. At the same time, the project also takes full account of the situation that the autonomous driving and the free driving strategy may be mixed together when the traffic guidance system is newly introduced into society. The hybrid-driving module is designed to investigate the flow efficiency and the changing trend of the mixed state, and a good conclusion has been drawn.

Keyword: connected vehicle; speed guidance; simulation system; intersection traffic;

背景分析和立项调查

车路协同技术代表了未来智能交通系统的发展方向。车路协同技术以先进的无线通信和传感器技术为基础，通过交通系统参与者（车辆、路侧设备和行人）之间实时、可靠的数据交互来实现道路交通安全的提升和通行能力的显著改善。在传统的交通系统中，车辆之间都是相互独立的个体，车辆的操控主要是基于驾驶员的视觉感知和反应，很难获取到周边特别是视距以外的路况全局信息，不能十分有效的对危险状况做出反应。另一方面，从道路交通管理的角度来看，当前的道路交通控制的决策信息主要来源于以交叉路口为代表的点和以关键路段为代表的路段的检测器，道路交通诱导信息主要是基于以出租车为主的浮动车信息以及路口和路段的检测器和传感器，由于获取的交通信息以统计信息为主，信息粒度大，从而在局部（单路口）很难进行精细化交通控制和优化。车路协同技术的出现为交通信息的获取和共享提供了全新的方法，从而为道路交通系统的安全和效率改善提供了一条有效的途径。

作为智能交通系统的重要组成部分，城市交通信号控制系统的先进与否直接决定着城市交通运行状况的好坏。按照不同的标准，城市交通信号控制有如下几种分类方式。从控制范围的角度，可将信号控制分为单点信号控制（点控）、干线信号协调控制（线控）和区域信号协调控制（面控）；从控制方式的角度，可将其分为固定式信号控制、感应式信号控制和实时自适应信号控制；从控制设备的角度，其发展历程是从机械控制器、电机控制器、电子控制器发展到了计算机控制系统；从配时方案的制定技术角度来看，从以人工技术为主发展到以脱机计算机技术和联机计算机技术为主的新阶段。但目前大规模应用的信号控制方法都是根据当前周期不同方向来车的统计量进行信号配时的优化，因而称之为被动交通控制。

随着车路协同技术的发展，获取车辆实时位置、速度等信息成为可能，智能路侧设备可以在周边车辆信息基础上进行分析判断，以路口通行效率最高、所有交通参与者安全性最大、环境污染最小为目标，进行最合理的信号配时，并对车辆的车速给予合适的引导，这是车路协同环境下单交叉口优化控制问题的由来和最终目标，由于在传统的信号配时优化的基础上增加了车辆速度的引导，可以称之为主动交通控制。如果能够很好地解决实时自适应单交叉口信号控制问题，根据车路协同技术特点，相应的干线信号协调控制和区域信号协调控制问题也能得到一定启发，从而有突破性的进展。

然而，目前最常用的交通仿真系统，如 Paramics、VISSIM、TransModeler 等，在宏观仿真方面更为出色，而在细粒度的微观仿真层面，传统交通仿真软件对逐辆车进行控制后运行效率很低，当车辆较多时运行延迟对实验结果有影响，使得仿真与实际场景产生偏差。因此，我有了设计一个适用于车路协同环境下的交叉口交通控制仿真系统的想法，并希望基于此对交叉口交通主动控制进行建模并优化。

项目安排	
原始安排	实际进展
2016.10~2017.1 文献学习、车路协同环境下交叉口交通控制仿真系统搭建	2016.11~2016.12 完成仿真平台的简单实现和功能配置 阅读相关文献，了解背景和发展方向
2017.1~2017.2 仿真系统可靠性验证、主动控制算法设计	2017.1 完成整个平台部分和人工驾驶车辆模型的构建和实现 2017.2 完成了所有驾驶模型的构建和初步测试及稳定性验证
2017.2~2017.3 算法效果测试、论文撰写	2017.3 完成了仿真结果的输出和分析，混合驾驶情况的实现，以及修复了平台和模型的部分问题
2017.4~2017.6 论文撰写、投稿、修订	2017.4 正在完成平台技术手册编写的收尾工作 正在撰写相关论文
结合项目进展，谈谈科研过程中遇到的问题和解决方法	
<p>1. 对研究方向缺乏基本知识 开始接触项目的时候，对本领域内的基本假定和基本模型一无所知，因此在最开始设计策略的时候出现了巨大的困难。只能通过物理学，运动学方法进行研究，采用的控制策略往往不符合现实情况。 解决方法： 在学长的帮助下完成了相关资料的学习工作，同时也进一步了解了当前领域的研究方向和基础知识，顺利的解决了项目需求，同时也设计出了比较合理的模型</p> <p>2. 基本模型和现实场景不符 在了解了基本模型之后，在基于仿真平台对人工驾驶模型实现的过程中发现基本模型对当前场景的解释并不到位，经常出现一些不合理的情况。 解决方法： 首先查阅资料了解模型的适用范围和他人工作中对模型的改进和优化，根据项目实际情况，对模型进行细致的优化，处理好边界问题，不断进行调试，实现在不影响模型在其适用范围内的功能的条件下完成对模型表述的修改。</p>	

3. 设计优化控制策略时，没有现成的经验供参考
和人工驾驶模型出现的问题不同，自动驾驶模型在设计时没有比较合适的现成经验供参考，所能想到的模型仅能用语言表述，难以具体实现。这一点在车路协同的主动控制控制策略方面尤其明显。
解决方法：
采取实地调研的方式，利用寒假对家乡主要交叉路口的车辆运行方式进行观察，咨询周围经验丰富的驾驶员，听取他们的建议。同时和同学交流研究，设计合理的模型并予以实现。在对运行方式进行的大概一个星期的调查中，进一步了解了相关模型的实用性，也方便了下一步的研究。
4. 设计控制策略时，发现各种情况耦合严重
路口交通控制是一个及其复杂的系统，其中包括车辆的自由行驶，减速停车，启动加速，加速到正常速度大概四种情况。其中，这四种情况互相存在着及其复杂的转化，如车辆正常行驶到路口附近发现红灯应当减速，此时红灯如果变为绿灯则应根据排队车辆的多少决定加速还是减速。排队中的车辆，当信号灯变为绿灯的时候应当起步加速，而如果绿灯时间过短，导致队伍没有消散，则又应当减速。更复杂的情况广泛存在，系统耦合相当严重。
解决方法：
在对整个交通路口的数据结构表述层面进行了改进，使得车辆的自由行驶和在交通路口的行为得以在一定程度上解耦，方便了程序的开发和现象的研究。经过测试表明，解耦后的系统的宏观行为没有发生明显变化，但是大大方便了程序的进一步开发。
5. 混合策略处理过程中，策略之间的衔接出现问题
在对混合策略进行研究的过程中，发现原本工作良好的策略在混合之后出现问题，这主要因为开发时主要考虑的是单一策略而忽视了一些因素的缘故
解决方法：
逐次对策略进行微调，使得不论是单一策略还是混合策略能获得良好的工作状态，进行若干轮迭代调试，直到两个模型均稳定。
6. 单个交叉路口的信号设置及其复杂，用户负担加重
其中，信号配置上可以调节的由包括任意时刻的信号相位以及信号周期等，用户在调节的时候如果没有合适的辅助系统会十分困难。
解决方法：
经过在数据结构层面的改进和用户界面的设计，完成了用户自主设计交通路口信号配时的功能，并通过批量编译给出若干默认交通信号配时。同时，在一定程度上设计了计算机辅助设计功能，可以说信号配时模块的自由度已经不可能再高。显著减轻了用户负担。

项目亮点

一. 核心创新点

1. 平台统一性：基于该平台，用户可以专心于处理驾驶策略的问题而不必关注车辆的仿真过程，动画等的显示问题。提高用户的工作效率
2. 平台可扩展性：仿真平台内每一个车辆均是单独的对象，这样允许用户对每个车辆进行细粒度的调整，同时，也使得车辆之间的通信变得可能。相比于其他仿真软件，在车辆通信和细粒度仿真方面更为出色
3. 运行速度：采用 C++ 进行编程，虽然这导致代码量和工作量较大，但是程序的运行速度相比于 Python 等语言快一些。同时在底层数据结构和软件工程上进行了优化，目前已 100 倍于现实速度运行程序在一般配置 PC 上无压力，部分情况甚至可以提高到 1000 倍速
4. 优化的跟驰算法：尽管人工驾驶的控制策略参考了相关文献，但对跟驰过程的一些小细节进行了优化，使得程序的执行更符合现实情况
5. 自主设计的控制策略：完成了自主设计的两个主动控制策略，经过试验的仿真验证，证明这两个控制策略的运行结果和预期相同
6. 混行条件的测试：完成了混行条件下车辆行为的测试，证明了交通效率随着装车量的提高的变化情况。
7. 设计合理的评估体系：在对现实场景进行观察和对驾驶员进行了一些采访之后，设置了诸如平均等待时间，平均停车次数，平均停车时间等参数考察交通效率。并且对这些评估参数随着流量和策略的变化产生的变化进行了解释

二. 研究方法

1. 代理人模型与车队形成

这里只是在研究过程中的一个意外的收获。在车路协同的相关研究中，车队的行程和消散一直是研究的一个重要问题。在对跟驰模型进行修改的过程中我们发现，在一定程度上，只要所有的车辆按照跟驰模型进行处理，便可以自发形成车队。问题的亮点是，这种车队形成的算法，根本不需要关心整个道路的路况，而只需要关心前方的车辆，相比于其他形成车队的方法，有着很大的优势。

2. 实地考察分析的研究方法

作为仿真平台的开发者，我们力求仿真平台能够最大程度的还原现实。因此对现实生活的观察就变得尤其重要。为找到合适的刻画单交叉路口数据结构和主动控制模型的算法，在寒假期间对家乡大型十字路口的车辆行为进行了长期的观察。通过观察，进一步了解了车辆在人工驾驶形态下的真实行为和出现的问题，找到了比较合理的处理交通路口的数据结构，也启发了主动控制算法的思路。同时也认识到了仿真平台和现实情况的差异。我们利用寒假时间完成了关于驾驶员对于交通效率关注的问题的调研，了解了驾驶员真正关心的评估交通效率的因素，为设计模型评估参数提供了现实调研的基础。

项目成果和后续的研究计划					
<p>一. 研究成果</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 完成车路协同仿真平台的开发和发布工作。同时以第一作者身份撰写有关仿真平台中实现和数据结构优化方面，系统解耦合运作等问题的 工作成果，即将准备进行投稿工作。 2. 自主设计了单车辆车路协同算法和多车辆车路协同算法，经过开发的平台仿真得到的结果比较理想，目前以第二作者身份撰写相关模型算法方向上的工作成果，即将投稿。 3. 2017 美国大学生数学建模大赛特等奖入围 2017 年美国大学生数学建模 (MCM) 中, 我们选择了和本项目研究方向相当接近的 C 题, 主要研究华盛顿洲际公路上车辆的行为。在本项目的基础上, 我们进行了一些调整使其能够符合题目的要求并予以重新实现。本人在团队中主要进行数学建模和数据处理和分析的工作。在队友的帮助下, 面对来自全球的选手以及不少在实验室中从事相关研究的同学的竞争, 最终得到了特等奖入围 (Finalist) 的名次, 是清华大学本届 MCM 中唯一的特等奖入围。这个名次, 不仅仅是对我们团队能力, 建模能力的肯定, 同时也是对整套主动控制模型的肯定。 <p>二. 后续研究计划</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 继续进行平台的维护工作, 将平台开源, 提供更加友好适合程序调用的接口, 方便后续开发者和研究人员的工作 2. 和进行信号配时方向研究的相关人员合作为平台开发由程序配时的接口, 强化平台功能 3. 调整模型, 并对模型进行进一步的研究, 同时适度增加平台复杂度 4. 完成已有论文的收尾和发表工作 					
研究成果目录					
序号	成果类型	成果或论文名称	主要完成者	成果说明	标注状况
1	获奖	美国大学生数学建模竞赛	张蔚桐	特等奖入围 (Finalist)	无学推计划支持
2	其他	智能交通仿真平台 Traffic_v1 的开发	张蔚桐	平台核心开发部分已经完成	无学推计划支持
3					
4					
5					
6					
7					
8					

注 1:“成果类型”栏,分为“专著 / 期刊论文 / 会议论文 / 专利 / 获奖 / 其他”六类;

注 2:“成果说明”栏,用于填写如刊物名、获奖类别、级别等必要的说明和便于其他人查询的信息,具体要求见撰写提纲,如有 SCI、EI 或 SSCI 检索请标明;

注 3:“标注状态”栏,用于说明有无标注“大学生学术研究推进计划资助”及项目批准号等,具体要求见撰写提纲。

注 4:成果多余 8 项,请自动添加行数。

学术活动目录

序号	活动类型	活动名称	所在地	时间	具体说明
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

注 1:“活动类型”栏,分为“学术会议 / 实践调研 / 短期研修 / 其他”四类;

注 2:“活动名称”栏,用于填写学术会议名称,实践调研主题,短期研修项目名称等信息;

注 3:“具体说明”栏,如果参加学术会议,需要填写会议等级,参与会议方式(海报粘贴/口头报告)等信息;实践调研项目,需要填写项目获得奖项或调研报告发表等信息。

注 4:活动多余 8 项,请自动添加行数。

项目经费决算

序号	预算科目名称	专项经费/万元
1	设备费	0
2	(1) 购置设备费	0
3	(2) 试制设备费	0
4	(3) 设备改造与租赁费	0

5	材料费	0
6	测试化验加工费	0
7	燃料动力费	0
8	差旅费	0
9	会议费	0
10	国际合作与交流费	0
11	出版/文献/信息传播/知识产权事务费	0
12	合计	0

经费决算说明书

自动化系智能交通实验室已经承担了研究需要的所有费用，因此本项目不涉及到星火项目的经费报销过程。

签字盖章
<p>申请人承诺：</p> <p>我保证结题报告内容的真实性。若填报内容失实或违反规定，本人将承担全部责任。</p> <p>申请人签字：张蔚桐</p>
<p>主管单位审核意见：</p> <p>负责人签字：</p>
<p>导师审核意见：</p> <p>负责人签字：</p>