****

**研究生学位（毕业）论文中期考核表**

**基于车流路径的长干道分割与相序优化绿波协调控制方法**

研 究 生 ： 刘鹏

指导教师 ： 徐建闽

学 号 ： 202020108312

院 （系）： 土木与交通学院

专 业 ： 交通信息控制及工程

□ 博士研究生 ☑ 硕士研究生

华南理工大学研究生院

二〇二一年十二月

1. **中期考核工作基本情况**

|  |  |
| --- | --- |
| 开题报告题目 | 长距离干道路径优选与分割的绿波同步优化方法 |
| 文献综述题目 | 长距离干道路径优选与分割的绿波同步优化方法 |
| 课程研究的创新点： | |
| 本研究以解决长距离干道不同行驶路径同步协调控制方法为目标，以交叉口流量数据为支撑，分析城市关键车流路径的特点，提炼关键车流与实际流向的关系，建立干道关键车流识别模型，并建立一系列优选方法，实现长距离干道协调路径集优选。  通过分析相邻协调控制子区的带宽关系和不同行驶轨迹的协调带宽影响方式，引入干道子区划分控制变量和路径带宽控制变量，建立子区划分和协调路径优选约束，实现干道动态子区划分和针对路径的带宽方案设计。  在此基础上，进一步考虑交叉口相序对干道协调的影响，分析单口、对称和搭接放行模式的相序特点，引入决策变量表征相位之间的相序关系，建立常见放行模式的约束模型，实现在动态协调过程中对相序优化，提升干道路径的协调带宽。  更进一步的，分析了带干扰的干道车辆速度时空分布特征，以推荐速度带宽最大与期望带宽和最大为目标，提出了考虑车流速度分布扰动的干道绿波最大带宽协调控制方法，实现了干道车辆速度受分布扰动下的绿波带宽求解。  研究的创新点可总结为以下四方面：  1、针对传统的子区划分和干道协调分步进行的问题，通过分析协调控制子区的协调关系，根据实际路径协调需求选择子区划分点，实现在干道协调过程中实现子区动态划分，提高了子区划分的有效性和干道协调的整体效果，避免了传统的分步子区划分和干道协调所造成的干道停车次数和延误增加的情况。  2、提出了长干道相序协调控制方法，考虑常见的放行方式的相序关系，提出了基于路径的长距离干道子区划分相序优化方法，该方法能够协调不同路径的通行需求，在干道协调控制子区划分过程中，在满足基本相序关系约束下，生成能够满足更多路径协调需求的相序。  3、提出了一种考虑车流速度分布扰动的干道绿波最大带宽协调控制模型，结合干道车辆在速度区间的分布，求解满足车流运行特点的干道协调控制方案，使车辆能够尽可能的取得有效带宽，增加方案的鲁棒性和有效性，提高干道整体运行效率。 | |
| 开题以来研究工作总结：  1、研究意义  随着城市现代化程度不断增加，城市交通量不断上升，道路资源已经远远无法满足交通需求，城市交通供需不平衡的矛盾日益凸显，道路资源的过度占用导致交通出行效率降低和出行成本增加，出行效率和出行体验下降。交通信号控制已经成为缓解城市拥堵提高交叉口通行效率的重要手段，利用交通控制方法进行“点”到“面”的控制优化，可实现由“单交叉口”到“交通网络”的出行效率的提升，解决道路资源利用率低、交通拥挤和环境污染等问题。  随着城市路网的不断拓展延伸，城市干道交叉口数量逐渐增加，相邻交叉口之间的车辆行驶状态差异性大，传统的干道协调控制方法逐渐无法提供有效的信号控制方案。因此，对含有多个交叉口的干道，应选择合适的方式将干道分割成协调子区，针对协调子区进行干道协调，生成协调方案，以降低干道协调的难度，提高协调效果。  干道协调效果受交叉口间距以及干道交叉口的个数影响。随着交叉口之间的间距增加，车队的离散程度变高、车速波动性变大、运行状态不稳定，干道协调往往无法达到预期的协调效果；而干道协调的最大带宽往往取决于关键交叉口的绿信比和交叉口的位置，随着干道交叉口的个数增加，干道协调模型协调难度增加，带宽逐渐减少，甚至无法取得有效带宽[1]。因此，干道协调应选取合适的协调交叉口作为协调对象，才能取得较好的优化效果。  为选取合适的协调对象，国内外学者采用关联度作为判断相邻交叉口是否适合协调，进而将干道划分为不同的子区。关联度通常受交叉口间距、干道流量等影响，以判断相邻交叉口是否具有强耦合性，提高协调对象的优化效果。利用关联度对干道进行子区划分，能够将干道交叉口划分为多个协调子区，对每个子区分别进行干道协调，进而实现对长干道的协调控制效果。  综上所述，传统针对长干道的处理方法，首先利用关联度系数求解干道各交叉口之间的耦合性，再根据耦合性对干道进行协调子区划分，最后对各协调子区利用干道协调控制理论进行协调优化，生成长干道协调控制的信号控制参数，以达到长干道信号协调控制，优化协调控制效果的目的。  2、国内外研究现状  （1）干道协调控制方法  干道协调是在单口优化的基础上，考虑相邻交叉口的联动协调，对多个交叉口的相位差及其他信号配时参数进行优化，实现车辆不停车通过干道交叉口，减少交叉口的停车次数和延误。干道协调的控制理论主要包括数解法以及模型法。  数解法主要以最小化实际交叉口的间距与理想交叉口的间距为目标，优化干道交叉口相位差，实现干道的协调[2]。卢凯等为提高数解法的适用范围，针对不同的相位相序模式，提出了进口单独放行的数解法协调模型[3]和非对称放行条件下的数解法干道协调模型[4]。  模型法主要通过标定车辆到达交叉口的时间与绿灯启亮时间的相对时间关系，来动态协调相位差，实现双向干道协调优化。Little等[5]在此基础上提出了混合整形干线协调优化方法，并以双向流量为权重的MAXBAND带宽求解模型。Gartner等[6]在MAXBAND模型的基础上，考虑上下行方向的交通状况的差异和各路段之间的速度差异，提出了各交叉口之间的带宽不相等的MULTIBAND模型。Zhang等[7]提出带宽中心线左右带宽不相等的带宽模型，模型能更好的利用各方向的绿灯时间，为车辆通行提供更多的机会。  美国《交通控制手册》[8]收录的Whiston关联度计算模型，从交叉口间距和路段流量两个方面对相邻交叉口之间的相关性进行分析，提出了关联度计算模型。卢凯等[9]从交叉口间距、路段流量、交叉口信号配时参数等三个方面进行分析，提出相邻交叉口关联度的量化模型，并制定了基于关联度的协调子区划分的原则。马万经等[10]将信号相位、路段流量、交叉口间距和交叉口排队长度引入关联度计算模型，并利用该模型对交叉口间的关键路径进行识别，结果表明，模型能够准确的描述交叉口之间的关联性和准且的判断交叉口间协调控制的关键路径。  Tugba Arsava等[11]对干道OD点对之间的路径均引入MAXBAND，对所有的路径求解带宽，并以所有路径带宽和作为求解目标，得到干道最优协调模型。Yan等[12]提出一种NMBSC模型，能够为车辆轨迹数据中提取的关键路径提供双向均匀或不均匀带宽，同时，该方法在有限轨迹数据情况下具有较强的鲁棒性。Yao等[13]建立车辆到达交叉口停车线时间与从车辆轨迹数据中提取得到车辆到达信息和排队状态的函数关系，并引入干道协调控制模型，以干道总延误最小为目标求解模型。Yang等[14]提出三层模型，分别在MAXBAND的基础上考虑多条车辆路径、相序优化以及自动选择最佳路径条数，以达到干道总体带宽最大的目的，仿真结果表明，该方法能够较好的适用与干道具有多个冲突路径的复杂情况。  长干道的处理方法主要是利用子区划分准则[15]，将多个交叉口的长干道划分为3-5个交叉口的协调子区[16]，再利用干道协调理论对协调子区进行协调优化，最终针对各协调子区分别生成信号配时参数。曲大义等[17]为弥补初始的路径关联性单一性指标的不足，综合考虑车辆离散性、阻滞性和局部路网交通流空间特征规律，建立了相邻交叉口间的路径关联性模型，实现了对信号交叉口群的动态划分。田秀娟等[18]综合考虑路网中相邻交叉口之间的距离、交通流量、行程时间、车流离散特性、信号周期和路段交通流密度等因素，提出了基于改进的Newman社团快速划分的动态子区划分方法，实现了依据不同时段交通特性实现动态子区划分。  为解决上述问题，部分学者将子区划分与干道协调模型有机结合在一起，实现干道子区划分与绿波参数优化的同步建模。Liu等[19]改进了Newman快速算法，新算法可以划分加权交通网络，仿真实验表明，改进的Newman快速算法可以取得较好的子网划分结果。Hao等[20]在干道协调模型中引入二进制变量控制干道子区划分，并将子区划分集成至目标函数，并用路段流量作为权重将干道分割点约束至流量较小的位置，进而实现求解过程中同步进行干道子区划分与干道协调。Ma等[21]考虑到公交与小汽车的运行模式的差异，提出在协调过程中同时优化小汽车和公交在停靠站的停靠时间的混合整形线性规划模型，模型能够在求解过程中同时实现干道子区划分和干道协调。  将干道子区划分与信号协调优化同步进行能够更进一步使系统达到整体最优，通过将车辆的停车次数模拟为干道分割点的个数，可有效控制干道分割的次数和等待时间，减少干道整体延误。然而长干道车辆路径并非完全按照干道走向行驶，车辆路径往往包含左转、右转等多种状态，如何对冲突路径车辆进行同步协调，使干道整体效益最大愈发关键。  3、当前研究总结  （1）基于路径的长干道自动分割模型  传统的Maxband模型在交叉口数量较多的长干道往往无法取得有效的协调方案，且Maxband模型没有考虑不同行驶路径的带宽需求。通过分析干道子区划分对协调控制的影响，针对不同路径建立了基于路径的协调带宽控制模型，考虑到不同路径的协调制约影响，引入决策变量对约束进行松弛，具体模型定义如下： | |
| 利用上述模型对城市15个交叉口的干道，选取其中6条关键路径的干道，调用Python的cvxpy包进行求解，求解结果如下：   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 编号 | 间距 | 相位差 |  | 路径带宽 | | | | | 路径绿信比 | | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | 1 | 236 | 51 | 29.8 | 29.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 38.7 | 0.5 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | | 2 | 457 | 0 | 29.8 | 29.8 | 0.0 | 16.4 | 0.0 | 29.8 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.4 | | 3 | 346 | 57 | 29.8 | 29.8 | 0.0 | 16.4 | 0.0 | 29.8 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | | 4 | 227 | 32 | 75.6 | 46.6 | 0.0 | 41.1 | 0.0 | 74.4 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | | 5 | 226 | 63 | 75.6 | 46.6 | 0.0 | 81.9 | 0.0 | 67.1 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | | 6 | 236 | 27 | 22.1 | 0.0 | 0.0 | 42.0 | 0.0 | 34.4 | 0.5 | 0.2 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.5 | | 7 | 200 | 74 | 22.1 | 0.0 | 0.0 | 39.9 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 1.0 | | 8 | 135 | 89 | 40.3 | 0.0 | 40.3 | 43.9 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 1.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | | 9 | 117 | 101 | 40.3 | 0.0 | 40.3 | 0.0 | 43.9 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 0.4 | 1.0 | 0.0 | | 10 | 402 | 0 | 30.2 | 0.0 | 28.6 | 0.0 | 31.1 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | | 11 | 404 | 50 | 30.2 | 0.0 | 28.6 | 26.7 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | | 12 | 403 | 25 | 30.2 | 0.0 | 28.6 | 26.7 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | | 13 | 354 | 56 | 30.2 | 0.0 | 28.6 | 26.7 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.0 | | 14 | 234 | 67 | 73.5 | 0.0 | 73.5 | 66.7 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | | 15 |  | 68 | 73.5 | 0.0 | 73.5 | 66.1 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |   根据求解结果，绘制各路径的绿波时距图如下，    （2）基于路径的长干道相序优化协调模型  针对不同路径受交叉口相序影响而无法同时享有带宽的问题，通过分析常规放行方式，建立相序优化约束，实现了干道协调过程中对相序的优化，优化了干道的相序结构，使其能够更好的适应干道协调方法，提高了干道整体的协调效果。具体模型定义如下：    使用该模型对研究点1中的干道进行建模求解，并绘制得到如下所示的带宽时距图，  （3）、考虑车流速度分布扰动的干道绿波最大带宽协调控制  为分析干道车辆速度的分布特征以及速度对干道协调控制方法求解的影响，研究对佛山市同济路车辆速度分布从时空上进行分析，发现干道车辆的速度呈现某种分布，针对推荐速度进行的干道协调方法无法充分发挥其效果。    为解决上述问题，模型提出了考虑速度分布扰动的最大带宽协调控制模型，实现了速度分布扰动的带宽动态求解，提高了干道协调模型的有效性和鲁棒性。算例分析与仿真结果表明，本文提出的模型在期望带宽、平均延误、平均停车次数、平均排队长度等方面均优于Maxband模型与改进的Maxband模型。  4、主要参考文献及出处   1. Lin Liangtay, Tung Liwei(Chris), Ku Hsinchuan. Synchronized signal control model for maximizing progression along an arterial[J]. Journal of Transportation Engineering. 2009, 136(8): 727. 2. 卢凯,徐建闽,叶瑞敏.经典干道协调控制信号配时数解算法的改进[J].公路交通科技,2009,26(01):120-124+129. 3. 卢凯,徐建闽,李轶舜.进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制数解算法[J].中国公路学报,2010,23(03):95-101. 4. 卢凯,刘永洋,吴焕,黄江辉.非对称通行条件下的双向绿波协调控制数解算法[J].中国公路学报,2015,28(06):95-103. 5. Little J D C, Kelson M D, Gartner N H. Maxband: a versatile program for setting signals on arteries and triangular networks[J]. Transportation Research Record, 1981(795):40 - 46. 6. Gartner N H, Assmann S F, Lasaga F, et al. A multi-band approach to arterial traffic signal optimization[J]. Transportation Research Part B, 1991, 25(1):55 -74. 7. ZHANG C, XIE Y, GARTNER N H, et al. AM-Band: An Asymmetrical Multi-Band model for arterial traffic signal coordination [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015, 58: 515-31. 8. 美国运输部联邦公路局. 交通控制系统手册[M]. 李海渊, 译. 北京: 人民交通出版社, 1987. 9. 卢凯,徐建闽,郑淑鉴.相邻交叉口关联度分析及其应用[J].华南理工大学学报(自然科学版),2009,37(11):37-42. 10. 马万经,李晓丹,杨晓光.基于路径的信号控制交叉口关联度计算模型[J].同济大学学报(自然科学版),2009,37(11):1462-1466. 11. ARSAVA T, XIE Y, GARTNER N H. Arterial Progression Optimization Using OD-BAND: Case Study and Extensions [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2016, 2558(1): 1-10. 12. YAN H, HE F, LIN X, et al. Network-level multiband signal coordination scheme based on vehicle trajectory data [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2019, 107: 266-86. 13. YAO J, TAN C, TANG K. An optimization model for arterial coordination control based on sampled vehicle trajectories: The STREAM model [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2019, 109: 211-32. 14. YANG X F, CHENG Y, CHANG G L. A multi-path progression model for synchronization of arterial traffic signals [J]. Transport Res C-Emer, 2015, 53: 93-111. 15. Walinchus R J. Real-time network decomposition and subnetwork interfacing[J]. Highway Research Record, 1971, 366: 20-28. 16. TIAN Z, URBANIK T. System Partition Technique to Improve Signal Coordination and Traffic Progression [J]. Journal of Transportation Engineering, 2007, 133(2): 119-28. 17. 曲大义,贾彦峰,刘冬梅,杨晶茹,王五林.考虑多特性因素的路网交叉口群动态划分方法[J].吉林大学学报(工学版),2019,49(05):1478-1483. 18. 田秀娟,于德新,周户星,邢雪,王世广.基于改进Newman算法的动态控制子区划分[J].浙江大学学报(工学版),2019,53(05):950-956+980. 19. Liu Qiang, Wang Qing, Liu Shu`an. An Improved Sub-Networks Partitioning Method for Urban Traffic Networks[C] 2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), Nanchang, China, 2019, 6405. 20. HAO W, LIN Y, CHENG Y, et al. Signal Progression Model for Long Arterial: Intersection Grouping and Coordination [J]. IEEE Access, 2018, 6: 30128-36. 21. MA W, ZOU L, AN K, et al. A Partition-Enabled Multi-Mode Band Approach to Arterial Traffic Signal Optimization [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2019, 20(1): 313-22. | |
| 与课题相关的学术成果情况： | |
| 华南理工大学学报：考虑车流速度分布扰动的干道绿波最大带宽协调控制；徐建闽，刘鹏，首艳芳，林永杰（已投稿）；  同济大学学报：长距离干道混合车流路径分割与绿波协调同步优化；徐建闽，冯斌，林永杰，刘鹏,卢凯 (已录用)；  专利：适于车流速度分布区间的双向绿波最大带宽协调控制方法；首艳芳，刘鹏，林永杰；（已申请）  软著：城市风险模拟与防控策略演练仿真可视化系统.2021SR2159113；（已授权） | |

**二、中期考核作者承诺及导师意见**

|  |
| --- |
| 我保证上述填报内容的真实性，并将在导师指导下，严格遵守学校的有关规定，按计划认真开展学位（毕业）论文研究工作。  研究生（签名）：  年 月 日 |
| 我已审阅过中期考核的全部内容，同意研究生参加中期考核。  指导教师（签名）：  年 月 日 |

**三、中期考核审核意见**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 中期考核小组成员名单 | | | | |
| 组成人员 | | 姓 名 | 职 称 | 工作单位 |
| 组长 | | 林培群 | 教授 | 华南理工大学 |
| 成员 | | 卢凯 | 教授 | 华南理工大学 |
| 成员 | | 王志勇 | 副教授 | 华南理工大学 |
| 成员 | |  |  |  |
| 成员 | |  |  |  |
| 成员 | |  |  |  |
| 成员 | |  |  |  |
| 成员 | |  |  |  |
| 审  核  意  见 |  | | | |
| 具体意见：  审核结果： | | | |
| □ 通过 □ 暂缓通过 | | | |
| 组长签名： | | | |
| 成员签名： | | | |
|  | | | |
| 年 月 日 | | | |
| 院  （系）  意  见 |  | | | |
| 主管领导签名： 院（系）公章 | | | |
| 年 月 日 | | | |