

潮汐拥堵条件下的 连续交叉口自适应控制策略研究

文 ◆ 蚌埠市公安局交通警察支队；城市交通管理集成与优化技术公安部重点实验室 王天利

安徽科力信息产业有限责任公司；城市交通管理集成与优化技术公安部重点实验室 宋志洪 陈家旭 苟启文

引言

随着城市化进程的不断加快，经济发展的迫切需求逐步刺激着交通需求量的不断增长，跨境交通及跨区域交通逐步成为交通的主要组成，也为城市交通管理带来新的挑战。特别是在贯穿各区、城市与城市之间的主干道上，稳定增长的交通流，对区域内的交通需求组成产生巨大的影响，给面临跨境跨区的城市主干道通行造成巨大通行压力。因此，跨境跨区的主干道交通组织特征分析、交通需求调配成为现阶段交通管理面临的重大课题。

1 场景出行特征分析

贯穿跨境与跨区的城市主干道是城市交通的主要命脉，对于交通组织与交通需求分配有着严格的要求，直接影响着城市安全和经济发展。跨境与跨区城市主干道交通出行特征主要包含以下 5 个方面。

(1) 城市大型主干道，相交道路存在较多的主干道与比较重要的次干道。(2) 有明显的潮汐特征，在主干道和重要次干道相交时，呈现拥堵态势，且关联路口通行效率易受通行环境和秩序的影响，造成范围拥堵。(3) 不同区域交织段产生因管理步调不一致导致的意外拥堵或其他突发事件。(4) 城市采用绿波控制的方式无法解决相交主干道和重要次干道拥堵问题，导致局部区域交通失衡，给管理者日常交通管理增加新的难度。(5) 主干道受城市规划用地的影响，进出口数量不匹配，车道数量和属性设置难以与实际的通行需求相匹配。

2 场景交叉口信号控制策略

跨境和跨区域城市主干道一般长度较长，有的甚至贯穿整座城市，因此，在整个主干道通行上具有关键节点和一般区域两种处理对象。在管理策略上，一般将受潮汐影响的重点交叉口特别是连续交叉口作为独立对象进行处理，以交叉口作为分段节点，相交道路上流量较少的多个交叉口且中间连续，一般采用绿波控制的方式，保障交叉口连成区域的通行效率^[1,2]。

对于高峰期潮汐拥堵条件下的连续交叉口，信号控制策略主要分为以下 3 种。

(1) 对于比较规律的交通组成，调查交通需求构成特征，形成对应的定周期信号控制策略，根据交通需求的不同，划分时段，根据时段启用对应的定周期信号控制策略，保障路口通行顺畅。

(2) 对于不规律的交通组成，兼顾主干道和相交道路的总体排队情况，即使 4 个方向都出现拥堵，也不会造成明显溢出的情况下，一般采用全感应控制方式，保障排队车辆及时清空。

(3) 在主干道和相交道路组成的区域，建设感知设备，采集实时交通需求组成，采用自适应控制的方式，实时清空拥堵区域的交通流，防止造成溢出风险，达到提高区域通行效率的目的。

3 潮汐拥堵条件下的连续交叉口自适应控制策略

现阶段市场上推广和应用的自适应控制，由于检测手段和控制层级的原因，存在天然的劣势，主要涵盖以下 5 个方面。

【作者简介】王天利（1965—），男，安徽蚌埠人，本科，高级工程师，研究方向：城市道路交通管理与优化。

(1) 断面检测需要车子开动的情况下运行，导致数据滞后，需求输入存在检测误差。(2) 实时感应控制需求考虑不全面，配时优化存在滞后与误差。(3) 传统自适应使用历史数据，方案以选择式和周期绿信比优化为主，缺乏结构性变化。(4) 获得趋近实际的需求，需要更精细的模型和更高的算力，依赖中心系统。(5) 对动态变化且突发的通行需求，检测滞后、处理不及时。

基于以上因素考虑，传统自适应控制不能用于解决问题出现的场景难题。为了应对交通需求 / 供给的结构性变化，需要感知更加全面、响应更加及时，方案随需求灵活多变，响应各类常态或突发事件的智能控制解决方案。

自适应控制是依赖路口渠化、灯组和检测器配置，自主设计放行方案，并根据实时交通状态决定放行阶段的功能模块，并可对路口渠化、灯组和检测器配置解析生成的控制通道（相位）进行各项参数配置，实现多种交通场景及需求的控制功能。自适应控制逻辑图如图 1 所示。

第一是实时感知。通过区域检测器实时感知区域交通量和交通状态变化，避免统计数据应用的滞后性，提升为拟合实际发展趋势带来的检测和算力成本。

第二是信号设计。根据路口渠化和灯组配置，自主生成控制相位和可执行的阶段方案，不依赖常规相位方案。可执行方案具备动态放行特征，具有 NEMA 控制体系的双环放行特征，为路口的每个对向提供 4 种可执行的放行阶序，通过配置进一步约束实际放行的阶序和阶段、晚起早断等，满足特定的交通场景。

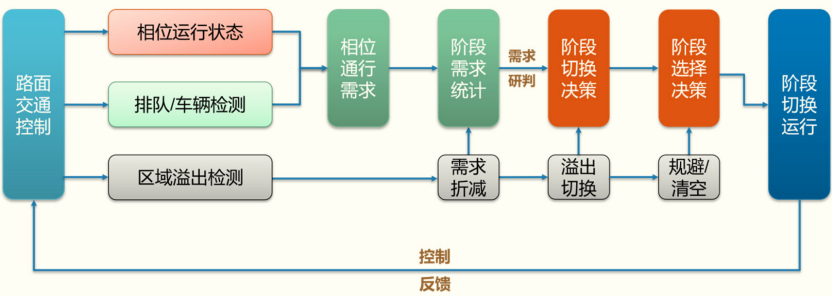


图 1 自适应控制逻辑图

第三是需求控制。依据检测器数据输入和灯组放行时间计算相位需求，在路口控制过程中根据路口所有控制相位产生的需求进行阶段切换决策，实现阶序、阶段和放行时间的动态优化，提升信号控制对需求的响应能力。

第四是事件响应。发现并响应路口排队溢出、出口溢出、路口死锁等影响路口通行生态的常态或异常事件，模拟交警管制效果。支持路口排队溢出响应控制，通过单口全放、人行 / 非机动车限制等控制手段，增加排队溢出进口的通行能力，实现排队清空和秩序重整；支持路口出口溢出响应控制，通过阶序调整、最小绿放行、全红清空等多级控制手段，降低路口溢出死锁风险；异常事件响应会影响路口通行效率，但可以防止秩序性的恶化；区域性的自适应控制可实现管控范围的结构性优化^[3]。

第五是安全机制保障。基于检测故障的安全处理机制，在关键检测设备故障后降级至备选方案运行，提高“路口检测—控制系统”的鲁棒性^[4]。基于滤波算法降低实时检测数据的波动性，识别通道数据接入异常，结合检测设备的故障主动上报形成信号控制的数据安全防御机制；多级检测和降级策略配置，支持各类检测和应用条件下的路口常态化运行，兼顾控制效果和运行稳定性。



图 2 蚌埠市两个路口交通路网示意图

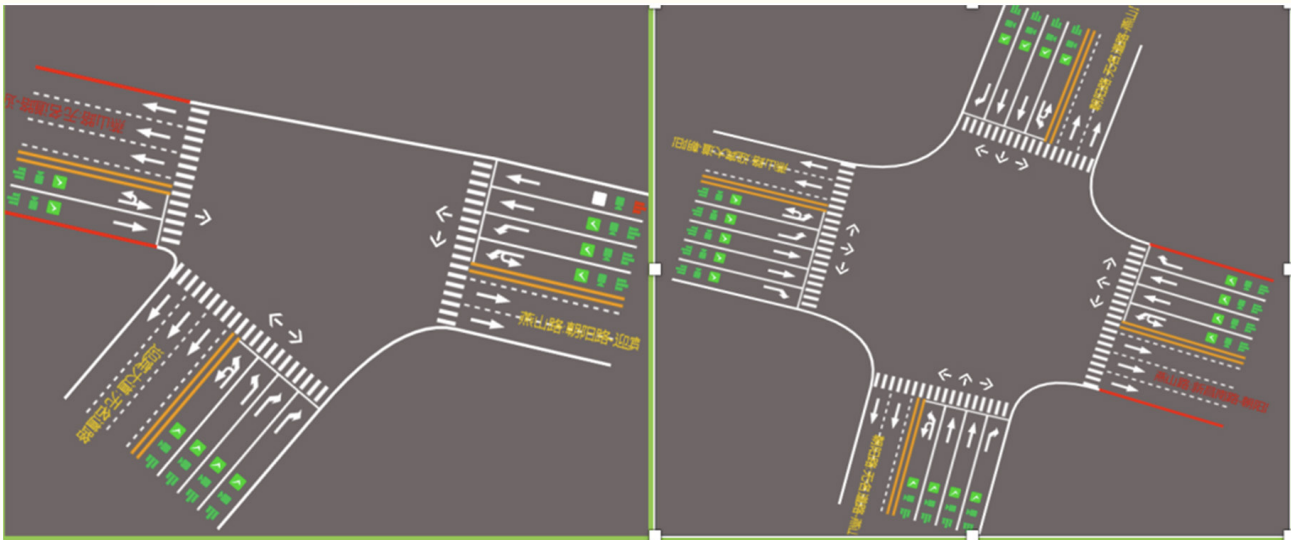


图 3 两个路口渠化示意图

4 案例分析

以安徽省蚌埠市燕山路与迎宾大道、朝阳路两个路口为例，蚌埠市两个路口交通路网示意图如图 2 所示。论证跨区域主干道潮汐拥堵条件下的关键节点区域自适应控制的应用效果。两个临近路口承担了 3 条干道交通流的汇聚与转发，具有特殊的交通特征。早晚高峰期间呈现出较为明显的潮汐拥堵特征，路口通行效率易受脆弱的通行环境和秩序影响，造成范围拥堵；平峰期间衔接迎宾大道、朝阳路东西两侧的绿波线路，但受道路条件、渠化现状和车流通行特征限制，难以形成连续绿波，且短时车辆情况不规律。

迎宾大道贯通蚌埠的城市资源，吸附优势产业，是蚌埠的城市贵脉。其连通主城区、产业园区、仁和集高速入口，沿途的工业园区企业和出城便利性吸引了大量有出行需求的车辆。早高峰形成由北向南、从朝阳路至迎宾大道先右转再左转的潮汐车流，晚高峰由南向北、先右转后左转的潮汐车流。路口间距离短，仅有 383m，排队空间有限，极易导致排队溢出。

燕山路与迎宾大道中，东进口 2 直 2 左，西进口 2 直，南进口 2 左 2 右，两个路口渠化示意图如图 3 所示。早高峰期间，东进口以左转迎宾大道方向车流为主排队较长，且不具备东西方向的协调控制条件。燕山路与朝阳路，西进口 2 直 2 左，西进口 2 直 2 左 1 右，北进口 2 直 1 左 1 右。晚高峰期间，燕山路[迎宾大道→朝阳路]左转的通行能力压力较大，直行排队过长且和左转车道相互干扰。

采用“边+端”的前端路口智能控制解决方案，依据路侧交通流检测输入，计算路口实时交通需求，实现方案放行自适应和阶段放行的延长/缩短。通过控制单元/相位实现底层和上层的桥接，通过相位及检测器配置实现各类交通应用场景的构建，并通过方案校验保证复杂参数配置的合理性。通过方案自主生成和实时交通状态（灯组状态、检测器状态），解析实现路口交通流的自适应控制。通过一定的措施，取得了良好的效果。

结语

探索贯穿城市主干道关键拥堵节点区域信号控制策略优化，基于事件响应的自适应控制策略，应对主线潮汐拥堵和相交重要道路的不规律拥堵，为中小城市交通需求量较大的主相交和主次相交信号控制优化提供解决方案。同时，对于区域多个路口存在严重交通拥堵溢出以及人机非混行较为密集的区域，应进一步深入探索，探索其存在的未知可能性。

引用

[1] 杨洁,过秀成.城市交叉口群交通动态协调控制方法[M].南京:东南大学出版社,2013.

[2] 彭敏,单铮,于泉,等.基于博弈的交通信号配时优化[J].公路,2019(8): 268-273.

[3] 陈家旭,赵永进,宋志洪.基于路口相位方案优化设计的城市道路交通信号迭代学习控制方法研究[J].工程科技 II 辑;信息科技,2021,42(1):86-91.

[4] 闫飞,田福礼,史忠科.城市道路交叉口信号的鲁棒迭代学习控制[J].中国公路学报,2016(1):120-127.