

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2016.09.016

车联网环境下的高速公路合流区协调控制方法及效果评价

王东柱¹, 陈艳艳², 马建明³, C. Michael WALTON⁴

(1. 交通运输部公路科学研究院, 北京 100088; 2. 北京工业大学, 北京 100022;

3. 美国德克萨斯州交通部, 奥斯汀 美国 78731; 4. 美国德州大学奥斯汀分校, 奥斯汀 美国 78712)

摘要: 高速公路合流区是事故的多发区域, 车联网技术为提高合流区的安全提供了有效的手段。提出了一种新的车联网环境下合流区的车辆控制协调方法。首先, 对合流区的安全隐患进行了分析。其次, 针对货运车辆的行驶特点, 计算了匝道大货车到达合流区冲突区域的时间范围, 以此时间段为约束条件, 计算了主路车辆在同一时间段到达合流区的速度区间。在考虑安全和效率的条件下选择最优主路车速值, 通过对车辆进行预警, 使主路车辆避开可能发生冲突的区域。最后, 利用仿真软件 Vissim 二次开发了车车通信模块, 从安全性、通行效率等指标评价了安全协调控制效果。

关键词: ITS; 协调控制; 评价; 仿真; 车联网; 车车通信; 合流区; 车辆冲突; 车辆安全; 预警

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2016) 09-0099-07

A Method for Coordinated Controlling Vehicles in Expressway Merge Area in Connected Vehicles Environment and Evaluation

WANG Dong-zhu¹, CHEN Yan-yan², MA Jian-ming³, C. Michael WALTON⁴

(1. Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China;

2. Beijing University of Technology, Beijing, 100022, China; 3. Texas Department of Transport, Austin 78731, USA;

4. University of Texas at Austin, Austin 78712, USA)

Abstract: Merge area on expressway is the area with more accidents, and the technology of the connected vehicles provided an effective way to improve the safety of the merge area. A new method for coordinated controlling vehicles in merge area in connected vehicle environment is proposed. First, the potential safety hazard in merge area is analyzed. Second, the time range of ramp truck reaches the merge area is calculated according to the characteristics of freight vehicles. Using the same time range as the constraint, the speed range of main road vehicle reaches the merge area is calculated. Selecting the optimal main road vehicle speed in term of safety and efficiency, the main road vehicle is warned to avoid the possible conflict area. At last, the V2V communication module is developed by using the simulation software Vissim, and the effect of safety coordinated control is evaluated in aspects of safety and traffic efficiency.

Key words: ITS; co-ordinated control; evaluation; simulation; connect vehicle; V2V communication; merge area; vehicle conflict; vehicle safety; warning

收稿日期: 2015-08-25

基金项目: 交通运输部科技项目 (2015364223060)

作者简介: 王东柱 (1966-), 男, 河南郑州人, 高级工程师. (wangdrew@163.com)

0 引言

高速公路的合流区包括匝道、加速车道以及与之相联系的主线部分。由于匝道车辆的驶入干扰到主线车道的行车,容易引起交通混乱,是高速公路常见的事故多发区域^[1]。在我国,一方面,随着货运交通量的增加以及货运车辆向大型化、重载化方向发展,对货车的性能和要求不断提高;另一方面,货车比例高而车辆运行性能较差,超载现象严重,对高速公路行车安全构成了极大威胁,载重货车相关事故占该高速公路事故总数的53.62%^[2],货车已成为引发重大交通事故的主要原因。而在高速公路合流区,由于货物超载或车辆自身条件等导致的货车以低于高速公路要求的速度进入合流区主路,对主路高速行驶的车流造成干扰,引起合流区运行的紊乱,大大加重了合流区的安全风险。据统计在我国合流区出现的交通事故占事故总数的30%^[3]。

国际交通领域很早就对道路合流区的安全和拥堵问题进行了研究,研究大致经历了3个阶段,第1阶段是通过对合流区基础设施的优化设计来提高安全降低拥堵^[4]。第2阶段主要是通过主动管理(Active Traffic Management, ATM)降低匝道车流量来提升合流区的交通效率^[5],如匝道控制(Ramp Metering),这类通过交通流状态检测、预警控制的方法目前采用得较多^[6-9],部分也采用了车路通信技术,但是需要额外安装检测和预警设备,检测点和预警控制点位置固定,难以真正达到实时、动态的检测和预警效果。近年来,随着技术的发展,采用基于车联网技术(Connected Vehicles,也称为互联车辆)提升道路交通安全水平和效率已成为国际未来交通发展的趋势。它利用车车、车路数据传输,增强环境感知,实现对驾驶员建议、预警以及车辆与基础设施的控制来减少或彻底避免交通事故的发生。在美国交通部2015年发布的智能交通战略研究计划中,基于5.9 GHz专用短程通信的车车、车路互联技术提高道路交通安全性是其中最重要的内容,预计通过车联网技术可以降低82%潜在的道路安全事故^[10]。高速公路合流区安全研究已经成为车联网技术的一个重要探索性研究项目^[11]。

车联网环境下的高速公路合流区协调控制是利用车车通信技术采集和传输合流区附近车辆位置、速度等信息,计算并预测主路和匝道车辆到达合流区域内可能引发的安全冲突和干扰,通过控制协调算法提前调整主路或匝道车辆的驾驶行为,降低车

辆冲突和拥堵发生的几率^[12]。

目前的相关研究基本上是在正常交通运行条件下,针对所有车辆类型进行协调控制策略设计。实际上,国内真正对于合流区安全影响较大的是车辆速度差造成的安全隐患,也是造成拥堵的主要原因。由于大型车辆存在的超载、车辆状况不佳、驾驶员操作不当等导致的行驶速度和加、减速方面的缺点远比普通车辆更加危险^[2],因此,本方法针对大型车辆汇入合流区的情况进行协调控制策略设计,比控制所有车辆更加有效,算法效率更高。

此外,目前合流区协调控制的研究大部分是采用车联网和自动控制车辆,如结合合作自适应巡航控制(CACC)的策略设计^[13],但目前自动控制车辆技术尚不成熟,而且具有一些技术和应用中的问题^[14],因此本文描述的方法不采用自动控制车辆。本方法是在车联网环境下实现的,仅给驾驶人员提供预警及车速调整建议。由于普通车辆不能实现全过程按照建议频繁调整车辆速度,本方法在协调控制策略设计上仅提示驾驶人员在合流区前方调整一次,并对调整时间和距离进行探讨,以保证在灵活、舒适、节能的条件下对合流区车辆进行协调控制。

本文首先在车联网环境下,针对匝道大型货车以较低速度进入主路和加速车道有停车干扰两种情况设计合流区控制策略,以匝道大型货车到达冲突区域的时间为约束条件,计算主路车辆在此时间内到达冲突区域的位置和速度,进而调节主路车辆行驶状态,减少合流区冲突和拥堵。基于Vissim二次开发实现车车通信的仿真模块,通过比较平均速度、排队长度通行时间等参数指标,对本方法控制效果的安全性和通行效率进行评价和验证。

1 合流区交通控制方法

1.1 合流区安全隐患因素分析

影响高速公路合流区交通安全的因素较多,经过现场调研,合流区内的交通状态对安全造成的影响主要有:

(1) 车辆占用加速车道:加速车道上有车辆占用,导致后面由匝道进入合流区的车辆在速度未达到主路速度要求的情况下提前进入主路。这种情况比较普遍,主要是驾驶人员在进入高速主路前对车辆和货物进行检查,大型货车居多。以京沪高速公路马驹桥收费站出京方向合流区为例,2012年6月22日10:40—10:40之间,1 h内共有13次加速车道停车,平均停车时间为6 min。

(2) 进入合流区的大型货车速度低: 大型车辆由于可能存在的超载、性能不佳等原因, 以低于主路要求的速度进入主路。

这两种情况都会导致匝道车辆与主路速度较快的车辆发生冲突, 造成合流区交通运行的紊乱, 进而造成事故或拥堵。具体冲突点见图1中的星形。

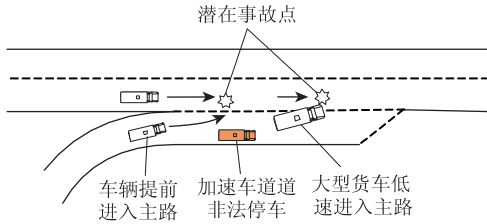


图1 合流区车辆冲突点形成示意图

Fig.1 Schematic diagram of vehicle conflict points in merge area

通过分析可知, 匝道大型货车由于性能、超载或加速车道被占用等原因, 以低于主路速度要求的车速进入主路, 或难以灵活调节车速寻找适当的车辆间隙并入主路, 导致与主路车辆在合流区发生冲突。因此, 由于匝道大型货车在行驶速度和加、减速方面的不足, 采取根据匝道大型货车的行驶情况来调节主路车辆的驾驶行为, 避免与匝道车辆在合流区发生冲突, 降低安全风险。

1.2 合流区协调控制方法设计

合流区前方区域协调控制主要是根据匝道车辆的情况预测可能到达合流区的时间和区域, 动态调整主路车辆车速避开合流区内的冲突区域, 减少合流区内与匝道车辆的冲突, 同时也为匝道车辆汇入提供空间。为了更加符合实际需求和检验算法的有效性, 选用车辆占用加速车道这种极端情况来进行控制策略的设计, 这种场景也可以达到大型货车提前低速进入主路的效果。在本文描述的方法中, 取占用加速车道车辆位置距合流区起点距离等于加速车道长度, 则为正常的合流区交通状态下的协调控制策略。

如图2所示, 设车辆占用加速车道的位置距合流区起点距离为 x_m , 以起到匝道车辆在合流区 x 的范围内提前进入主路的效果, 因此 x_m 为合流区的冲突区域, x 的值由占用加速车道的车辆通过车车通信通知周边车辆。车载终端根据这些信息结合车载地图信息可以得到下列参数: 主路车辆 A 距合流区冲突区域起点距离为 x_A , 速度为 V_A , 加速度为 a_A 。匝道车辆 B 距合流区起点距离为 x_B , 速度为 V_B , 加速

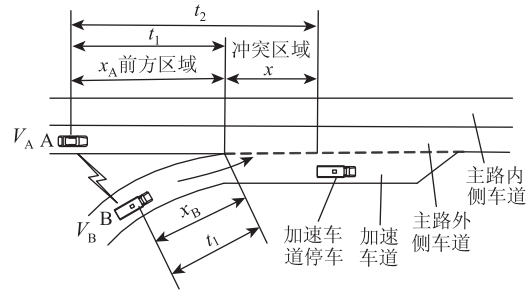


图2 车联网环境下的合流区车辆位置图

Fig.2 Vehicle location in merge area in connected vehicles environment

度为 a_B 。定义车辆 B 到达合流区起点的时间为 t_1 , 到达合流区冲突区域终点的时间为 t_2 。

高速公路合流区协调控制方法的具体内容如下。

(1) 车联网环境下的信息采集与传输

合流区交通协调控制是在车联网环境下实现的, 每辆车都安装有支持车辆定位和车车通信的车载终端, 车载终端具有语音和文字显示功能, 车辆行驶过程中实时采集车辆行驶状态和位置信息, 并通过车车通信以 10 Hz 的频率向周边车辆发送自己的位置、速度等信息, 通信范围为 1 000 m 左右 (满足合流区域通信范围要求)。车辆接收到附近车辆信息后按照合流区协调控制算法对信息进行处理, 如果满足预警条件, 将处理得到的行驶建议通过车载终端对驾驶人员进行预警, 使驾驶人员及时调整驾驶行为。采集和发送的信息包括: 车辆 ID、当前时间、车型、地理位置 (经纬度)、速度、方向角等。在协调控制方法实施中, 假定驾驶人员严格按照车载终端的建议驾驶车辆。

(2) 预警时间值的确定

预警位置是开始对主路上即将进入合流区的车辆进行预警时, 主路车辆距合流区起点的距离。由于车速不同, 预警位置不是一个固定值, 因此通过时间限定会更加合理, 它也是主路车辆 A 在到达合流区冲突区起点前驾驶人员调整车速的反应时间。以往的研究基本上是全时动态调整主路车辆驾驶行为, 没有对车辆预警及调整驾驶行为的时间进行限制, 而这种全时动态调整车辆的方式对于非自动车辆是不适用的。本方法采用车载终端语音或文字为驾驶人员提供建议, 所以预警时间的选取比较重要。设定对主路车辆 A 开始预警的时间为距合流区冲突区域起点行驶时间 t_w 内, 预警时间 t_w 的值根据安全性、舒适性、节能等因素进行选取。

预警时间 t_w 值的选取与车辆 A 减速度 a_A 大小关

系密切,如果 t_w 取值过小,则驾驶人员反应时间短,车辆减速过快,会造成安全隐患,驾驶舒适性差,排放增加;如果 t_w 取值过大,车辆减速慢,会影响畅通性,增加通行时间。通常制动减速度在 $1.5 \sim 2.5 \text{ m/s}^2$ 这个范围内舒适感、安全性和能量消耗都会得到保证。这里取 $a_A = 2.5 \text{ m/s}^2$ 。

假定最小反应时间为 t_w 根据时间和速度公式 $a_A = (V_0 - V_1)/t_w$,其中 V_0 为车辆起始正常速度,取高速公路最高限速 120 km/h 。 V_1 为车辆到达合流区的速度,取 80 km/h 。驾驶员反应时间 $t_w = (120 - 80) \times 1000 / (3600 \times 2.5) = 4.4 \text{ s}$,可以取匝道车辆B距合流区起点 $t_w = 5 \text{ s}$ 的行驶时间时,对车辆A进行协调控制预警。

(3) 计算匝道车辆B到达合流区冲突区域起点和终点的时间 t_1 和 t_2

车辆A接收到车辆B发送的信息,车辆A根据车辆B的当前位置、速度、加速度等信息,计算预测车辆B由当前位置到达合流区冲突区域起点和终点的时间 t_1 和 t_2 ,并判断是否 $t_1 \leq t_w$,如果满足,车辆A发出预警并进行协调控制。

车辆B由匝道进入合流区为近似直线的匀加速运动,加速度为 a_B ,已知 x_B , V_B , x , a_B ,可以得出到达合流区冲突区域起、终点的时间 t_1 和 t_2 。

假设匝道车辆B在 t 时间内达到车辆的速度 V_B ,可知在 t_1 时间内车辆B行驶的距离 S_B 为:

$$S_B = \int_0^{t_1} V_{Bt}(t) dt = \int_0^{t_1} (V_B + a_B t) dt = V_B t_1 + \frac{1}{2} a_B t_1^2, \quad (1)$$

式中 $S_B = x_B$ 。

解方程可以得到车辆B到达合流区冲突区域起点的时间 t_1 :

$$t_1 = \frac{-2V_B + \sqrt{4V_B^2 + 4a_B x_B}}{2a_B}. \quad (2)$$

同理,在 $S_B = x_B + x$ 时,可以得到车辆B到达合流区冲突区域终点的时间 t_2 :

$$t_2 = \frac{-2V_B + \sqrt{4V_B^2 + 4a_B(x_B + x)}}{2a_B}. \quad (3)$$

如果车辆B到达冲突区域起点的时间不大于设定的预警时间,即 $t_1 \leq t_w$,满足车辆A预警反应时间时,车辆A开始进行预警协调控制。

(4) 计算车辆A在 (t_1, t_2) 时间内到达冲突区域的初始速度范围 (V_{A1}, V_{A2})

根据冲突的条件,车辆A与车辆B在相同时间 (t_1, t_2) 到达冲突区域内,则会与车辆B发生冲突,

即:在合流区前方,车辆A当前的行驶速度如果在冲突速度范围 (V_{A1}, V_{A2}) 内可在时间 (t_1, t_2) 内到达冲突区域,则存在与车辆B在合流区冲突区域发生冲突的可能性。因此以 (t_1, t_2) 为约束条件,计算车辆A在时间 (t_1, t_2) 到达冲突区域 $(x_A, x_A + x)$ 的初始速度范围 (V_{A1}, V_{A2}) 。

①计算车辆A在 t_1 时间到达冲突区域起点的初始速度 V_{A1} 。

若 x_A 为车辆A到达冲突区域起点的距离,由 $x_A = \int_0^{t_1} (V_{A1} + a_A t) dt$,可得:

$$V_{A1} = x_{A1}/t_1 - \frac{1}{2} a_A t_1 = x_A/t_1 - \frac{1}{2} a_A t_1. \quad (4)$$

②计算车辆A在 t_2 时间到达冲突区域终点的初始速度 V_{A2} 。

若 $(x_A + x)$ 为车辆A到达冲突区域终点的距离,由 $x_A + x = \int_0^{t_2} (V_{A2} + a_A t) dt$,可得:

$$V_{A2} = x_{A2}/t_2 - \frac{1}{2} a_A t_2 = (x_A + x)/t_2 - \frac{1}{2} a_A t_2. \quad (5)$$

由式(4)和式(5)可以看出,车辆A到达冲突区域的冲突速度范围 (V_{A1}, V_{A2}) 与车辆B到达冲突区域的时间 t_1 和 t_2 密切相关,因此调整车辆A的初始速度,可以避免车辆A在 t_1 和 t_2 内进入冲突区域,起到避免冲突的目的。具体内容如下:

(1) 根据避免冲突的条件,初步选择车辆A的安全行驶速度

车辆A将自己当前的速度与冲突速度范围 (V_{A1}, V_{A2}) 进行比较,根据发生冲突的条件,如果车辆A当前的速度 $V_A \in (V_{A1}, V_{A2})$,则车辆A有可能与车辆B在冲突区发生冲突。因此,只要使 $V_A \notin (V_{A1}, V_{A2})$,即 $V_A < V_{A1}$,或 $V_A > V_{A2}$,就可避免在合流区冲突区域与车辆B发生冲突。

(2) 主路车辆A速度建议值的选取

如果采取车辆加速避开冲突区域,即 $V_A > V_{A2}$,由于高速公路上车辆加速会受到一些条件的限制,带来新的安全隐患,因此只采用车辆减速的方式避开冲突区域 $V_A < V_{A1}$,由式(4)得 $V_A < x_A/t_1 - \frac{1}{2} a_A t_1$ 。

具体 V_A 建议值的选取需要考虑如下因素:

①如果 V_A 取值过小,则车辆A为避让车辆B所空出的间隙过大,影响通行效率。

②如果 V_A 取值过大,则车辆A与车辆B在合流区可能车间距过小,引起安全隐患。

因此, V_A 的取值应该在保证冲突区行车安全的条件下, 尽量采取最大值, 保证车辆通行效率。采取临界速度值结合安全车距的方法来定义车辆 A 的建议速度。由式 (4), 车辆 A 速度 V_A 的建议值 (即车辆 A 的临界值) 如下:

$$V_A = x_A/t - \frac{1}{2}a_A t, \quad (6)$$

式中 t 为车辆 B 到达临界点的距离加上安全车距 ($x_B + x_s$) 所用的时间, 取决于车辆 B 的行驶情况; x_s 为安全车距。将式 (1) 中的 x_B 用 ($x_B + x_s$) 代替, 则车辆 A 到达 ($x_B + x_s$) 的时间 t 为:

$$t = \frac{-2V_B + \sqrt{4V_B^2 - 4a_B(x_B + x_s)}}{2a}, \quad (7)$$

式中安全车距 x_s 的选取比较复杂, 与车辆速度、车辆性能、驾驶人员反应、路面状况等有关, 采用一个简单的方法计算安全车距:

$$x_s = (V_{B1}/10)^2, \quad (8)$$

式中 V_{B1} 为车辆 B 到达合流区冲突区域时的车速。

2 合流区协调控制效果仿真评价

采用仿真软件 Vissim 对协调控制算法进行仿真及效果评价, 采用 C++ 语言进行二次开发车车通信模块、车路通信模块。模块可以实现车车、车路间的信息交换, 并对车辆、行驶速度、加速度、变道等进行动态控制和跟踪。仿真分别在无协调控制和有协调控制两种情况下, 从安全性和通行效率两个方面对本文描述的协调控制算法效果进行评估。

2.1 仿真环境搭建

仿真以京津塘高速公路马驹桥出京方向合流区交通数据进行合流区仿真环境搭建。主路为 2 车道, 匝道为单车道, 合流区加速车道长度为 180 m, 车辆加、减速度取 2.5 m/s^2 。车辆类型中货车所占比例为 27%。设匝道大型货车车速为 $50 \sim 60 \text{ km/h}$, 低于主路正常行驶的车速, 这和真实情况是一致的。为了更好地对算法效果进行评价, 主路单向流量为 1700 veh/h , 匝道车流量为 650 veh/h , 均大于道路实际流量。为了评价算法效果, 车辆占用加速车道位置在加速车道 100 m 处, 此处设置车速为 0。仿真运行时间为 1500 s。

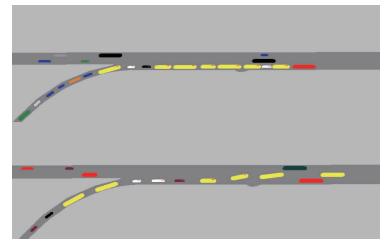
2.2 安全效果评价

采用平均排队长度参数对安全效果进行评价, 对匝道车辆在加速车道等待进入主路的排队长度进行安全效果评估。在真实情况下, 由于主路车速过

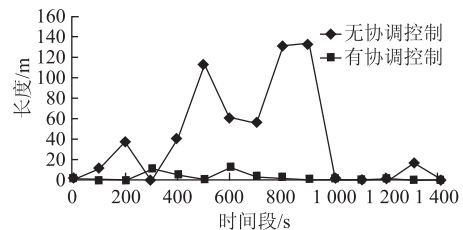
快, 匝道车辆由于加速车道有非法停车或本身速度较慢的原因, 强行进入主路或在加速车道排队寻找适合的机会进入主路。两种情况下都由于因车速慢与主路较快车辆形成速度差而发生冲突, 产生碰撞事故。仿真以车辆排队的形式体现, 匝道车辆排队等待时间越长, 排队长度越长, 越有可能冒险进入主路, 发生冲突的可能性越大。因此以加速车道的排队长度作为评价合流区安全性的指标。

排队起点设置在加速车道停车点, 计算停车点处开始排队等待进入主路的车辆排队长度。

图 3 (a) 是无协调控制时仿真软件显示的排队效果, 以及主路出现空隙时排队车辆进入主路的情况。图 3 (b) 是没有协调控制和有协调控制两种情况下平均排队长度沿时间的分布。由图 3 (b) 可知, 在没有协调控制的情况下, 匝道车辆由于速度较慢, 难以正常进入主路, 造成加速车道排队长度较长, 这就加大了冲突的风险。并且一旦出现一定的排队, 会导致排队车辆进一步增加, 直至出现拥堵 (如在 $300 \sim 1000 \text{ s}$ 处), 因此匝道车辆不能及时进入合流区主路也是导致合流区产生拥堵的重要原因之一; 而采用协调控制后, 主路车辆为匝道提供进入的空间, 匝道车辆能够顺利进入主路, 排队长度明显减少甚至消失, 这也降低了发生冲突的可能性。经过对比, 有协调控制算法的车辆排队长度比没有协调控制算法时减少了 93.6%; 此外, 在评估的时间段内, 合流区车辆出现速度为 0 的数量由 127 辆降低到 21 辆, 平均降低停车概率 83.5%。这样大大减少了碰撞的可能性, 并提高了安全性。



(a) 无协调控制时排队及进入主路仿真效果



(b) 有无协调控制下平均排队长度比较

图3 车辆排队长度比较

Fig. 3 Comparison of vehicle queue lengths

2.3 通行效率评价

2.3.1 合流区车辆平均速度

图4是在1500 s时间范围内,车辆以10 m为单位在合流区路段的平均速度和平均密度分布。可以看到,在没有协调控制时,在匝道100 m处,由于有车辆占用加速车道,导致合流区平均车速下降到25 km/h左右。在匝道100 m前,有协调控制的平均车速大大高于无协调控制时的平均车速。通过统计,系统采用协调控制后,合流区路段的平均车速提高了38.3%。这说明匝道车辆不能顺利进入主路的情况,不仅增加了合流区的安全风险,合流区路段车速也明显降低,因而对主路的通行造成较大的影响,这也是造成合流区拥堵的主要原因。对合流区车辆进行协调控制在一定程度上可以有效地延缓交通拥堵的形成,提高合流区道路的通行效率。

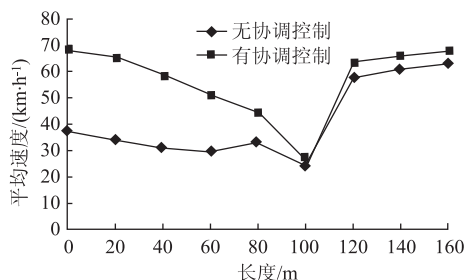


图4 合流区路段平均车速分布比较

Fig. 4 Comparison of average velocity distributions in merge area

2.3.2 车辆通行时间的评估

图5为各个时间段的全部车辆和主路车辆的平均通行时间分布。在对主路车辆通行时间和匝道车辆通行时间分别进行的评估中,采用协调控制后主路车辆的通行时间和没有协调控制的通行时间相比变化不大,从主路起点到主路终点600 m内车辆平均通行时间仅增加了0.4%,如图5(b)所示。而从匝道起点到主路672 m内匝道车辆的通行时间在采用协调控制后得到显著的提高,通行时间平均减少了36.5%。图5(a)是从合流区起点沿车辆行驶

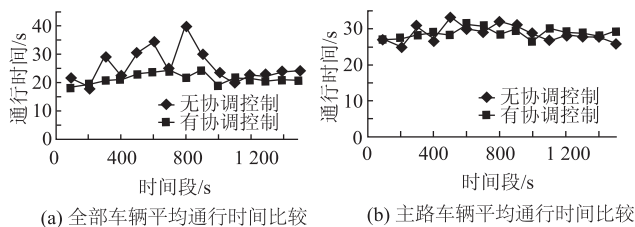


图5 车辆通行时间比较

Fig. 5 Comparison of vehicle travel time

方向415 m长度内对所有经过车辆沿时间分布平均通行时间的评估结果。虽然为了保证安全和减少冲突,对主路车辆进行了协调控制,但是道路固定通行长度内与没有协调控制时的通行时间相比,通行时间并没有增加,而是平均减少了16.1%,节省了通行时间,提高了通行效率。

3 结论

本方法针对目前对交通安全影响较大的大型车辆进行合流区协调控制,该方法对所有车辆控制更加有效,算法效率更高,对车辆正常行驶的干扰更小。仿真评价表明,没有协调控制策略的合流区交通状况不仅存在安全性问题、易产生拥堵,而且通行效率不高;协调控制策略在显著提高合流区安全水平的同时,不但没有影响道路的通行效率,而且提高了通行能力。采用协调控制算法能够显著提高合流区交通的安全性,减少合流区车辆排队停留概率83.5%,而且合流区车辆平均通行速度提高了38.3%,车辆平均减少16.1%的通行时间,大大提高了道路的通行效率。

本方法是针对合流区正常交通条件进行的协调控制,选择车辆占用加速车道的场景仅作为其中一个极端情况,在这种严苛条件下更能检验控制算法的有效性。如果取占用加速车道车辆位置距合流区起点距离与加速车道长度一致,则为正常的合流区交通状态下的协调控制。但是如果选取冲突区域过大,主路车辆与冲突车辆间隙随之增大,对车辆的通行效率会有一定影响,而安全性则会得到显著提高。另外,当有大型货车连续进入合流区的情况下,算法需要进一步优化。由于车联网技术应用的逐步发展,不同装载率(渗透率)条件对交通状态的影响也是下一步需要考虑的内容。

参考文献:

References:

- [1] BERTINI R L, MALIK S, Observed Dynamic Traffic Features on a Freeway Section with Merges and Diverges [J]. Transportation Research Record, 2004, 1867: 25-35.
 - [2] 高建平, 柳本民, 郭忠印. 货车交通对高速公路安全性的影响 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2005, 33 (6): 763-767.
- GAO Jian-ping, LIU Ben-min, GUO Zhong-yin. Influence of Heavy Vehicles on Traffic Safety of Freeways [J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2005, 33 (6): 763-767.

- [3] WANG Yun-peng, E Wen-juan, TANG Wen-zhong, et al. Automated On-ramp Merging Control Algorithm Based on Internet-connected Vehicles [J]. IET Intelligent Transport Systems, 2013, 7 (4): 371 - 379.
- [4] FUKUTOME I, MOSKOWITZ K. Traffic Behavior and On-ramp Design [J]. Highway Research Board Bulletin, 1960, 235: 38 - 72.
- [5] PAPAGEORGIOU M, KOTSILOS A. Freeway Ramp Metering: An Overview [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2002, 3 (4): 271 - 281.
- [6] 王东柱, 宋向辉, 朱书善, 等. 基于车路协同的高速公路合流区安全预警控制方法 [J]. 公路交通科技, 2012, 29 (增1): 50 - 56.
- WANG Dong-zhu, SONG Xiang-hui, ZHU Shu-shan, et al. Merging Assistance Method Based on Vehicle-infrastructure Cooperative Technology [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (S1): 50 - 56.
- [7] Japanese Road Bureau. Introduction of Japanese Smartway 2007 [EB/OL]. [2007-05-22]. <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/Smartway/SW2007/SMARTWAY2007PublicRoadTest.pdf>.
- [8] SAKAI K. Progress of the Smartway [EB/OL]. [2010-09-29]. <http://www.connectedvehicle.org/Summit%20Presentations/Japan%20-%20Sakai.ppt>.
- [9] Hitachi, Ltd. Merging Assistance System [EB/OL]. [2011-08-03]. http://www.hitachi.co.jp/en/products/its/product/services/2104412_45061.html.
- [10] U. S. Department of Transportation. Intelligent Transportation Systems (ITS) Strategic Plan Background and Process [EB/OL]. [2012-03-03]. <http://www.slideserve.com/larya/intelligent-transportation-systems-its-strategic-plan-background-and-process>.
- [11] Federal Highway Administration (FHWA). Efficient and Safe Merging Solutions [EB/OL]. (2009-05-02) [2014-09-29]. <http://www.fhwa.dot.gov/advancedresearch/pubs/14045/14045.pdf>.
- [12] SCARINCI R, HEYDECKER B. Control Concepts for Facilitating Motorway On-ramp Merging Using Intelligent Vehicles [J]. Transport Reviews, 2014, 34 (6): 775-797.
- [13] SACHS T, THIMANN K V. A Merging Control Algorithm Based on Inter-vehicle Communication [C] // IEEE/IEEEJ/JSAP International Conference on Intelligent Transportation Systems. Tokyo, Japan: IEEE, 1999: 783 - 787.
- [14] PUEBOOBPAPHAN R, LIU F, VAN AREM B. The Impacts of a Communication based Merging Assistant on Traffic Flows of Manual and Equipped Vehicles at an On-ramp Using Traffic Flow Simulation [C] // 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems. Madeira Island, Portugal: IEEE, 2010: 1468 - 1473.

(上接第91页)

- [12] 李鹏飞, 张顶立, 赵勇, 等. 大断面黄土隧道二次衬砌受力特性研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29 (8): 1690 - 1696.
- LI Peng-fei, ZHANG Ding-li, ZHAO Yong, et al. Study of Mechanical Characteristics of Secondary Lining of Large-section Loess Tunnel [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29 (8): 1690 - 1696.
- [13] 路军富, 王明年, 贾媛媛, 等. 高速铁路大断面黄土隧道二次衬砌施作时机研究 [J]. 岩土力学, 2011, 32 (3): 843 - 848.
- LU Jun-fu, WANG Ming-nian, JIA Yuan-yuan, et al. Research on Construction Time of Secondary Lining of Large Section Loess Tunnel for High-speed Railway [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32 (3): 843 - 848.
- [14] 房倩, 张顶立, 王毅远, 等. 高速铁路隧道初支、二衬间接触压力研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30 (增2): 3377-3385.
- FANG Qian, ZHANG Ding-li, WANG Yi-yuan, et al. Study of Contact Pressure between Primary Lining and Secondary Lining for Tunnels of Passenger Dedicated Lines [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30 (S2): 3377 - 3385.
- [15] 赵占厂, 谢永利, 杨晓华, 等. 黄土公路隧道衬砌受力特性测试研究 [J]. 中国公路学报, 2004, 17 (1): 70 - 73.
- ZHAO Zhan-chang, XIE Yong-li, YANG Xiao-hua, et al. Observation Research on the Mechanical Characteristic of Highway Tunnel Lining in Loess [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17 (1): 70 - 73.