



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106601002 A

(43)申请公布日 2017.04.26

(21)申请号 201611047732.1

(22)申请日 2016.11.23

(71)申请人 苏州大学

地址 215000 江苏省苏州市工业园区仁爱路199号

(72)发明人 俄文娟 郑建颖 何英萍 王翔 杨娜 吴戈 张勇 冯建光 肖为周

(74)专利代理机构 苏州市中南伟业知识产权代理事务所(普通合伙) 32257 代理人 杨慧林

(51)Int. Cl. G08G 1/0967(2006.01)

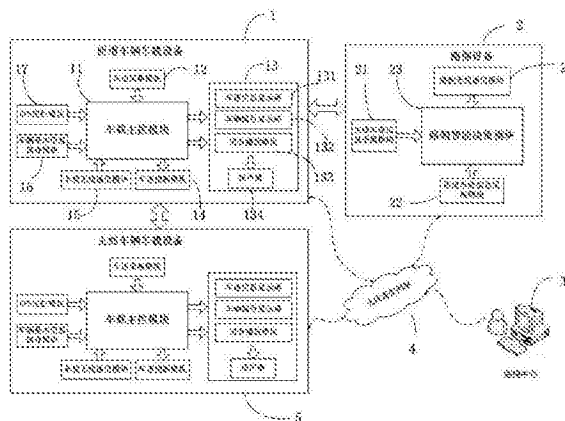
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统及其引导方法

(57)摘要

本发明公开了一种车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统及其引导方法,引导系统包括路侧设备和监控中心以及主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备;路侧设备包括主线车流信息采集模块、匝道车流信息采集模块和路侧智能决策模块;主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备均包括车载主控模块、车辆基本信息储存模块、GPS定位模块、车速采集模块、车速控制模块和提示模块;通过路侧设备采集主线外侧车道车辆和匝道车辆的运行状态信息,进行冲突预测估计,给出入口匝道车辆的分组情况和汇入主线车流所需的安全车速,并发送至车载设备中的提示模块和车速控制模块,引导系统及其引导方法能够避免快速路合流区的车辆碰撞,提高行车安全和通行效率。



CN 106601002 A

1. 一种车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统,其特征在于:包括路侧设备和监控中心以及主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备;所述路侧设备、监控中心、主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备四者之间通过无线通信网络进行信息传递;

所述路侧设备包括主线车流信息采集模块、匝道车流信息采集模块和路侧智能决策模块;所述主线车流信息采集模块和匝道车流信息采集模块均与所述路侧智能决策模块通信连接;

所述主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备均包括车载主控模块和分别与所述车载主控模块通信连接的车辆基本信息储存模块、GPS定位模块、车速采集模块、车速控制模块和提示模块,所述车辆基本信息存储模块中预先存储有本车的静态信息。

2. 根据权利要求1所述的车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统,其特征在于:所述主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备还包括与所述车载主控模块通信连接的车载无线通信模块,所述路侧设备还包括与所述路侧智能决策模块通信连接的路侧无线通信模块,所述车载无线通信模块与路侧无线通信模块之间通过无线通信网络进行信息传递。

3. 根据权利要求2所述的车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统,其特征在于:所述提示模块包括车速信息显示屏和语音播放模块,所述车速信息显示屏和语音播放模块均与车载主控模块通信连接。

4. 根据权利要求3所述的车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统,其特征在于:所述提示模块还包括车辆编号显示屏,所述车辆编号显示屏与所述车载主控模块通信连接。

5. 根据权利要求4所述的车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统,其特征在于:所述提示模块还包括扬声器,所述扬声器与所述语音播放模块通信连接。

6. 根据权利要求5所述的车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统,其特征在于:所述车速控制模块控制驱动车辆的制动踏板。

7. 根据权利要求6所述的车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统,其特征在于:所述静态信息包括车主信息、车辆的型号和尺寸大小。

8. 车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统的引导方法,其特征在于:包括以下步骤:

步骤一:车载设备实时采集自身车辆的位置和运动信息,当进入快速路合流区通信区域时,主线车辆车载设备、匝道车辆车载设备和路侧设备三者之间进行信息的交互;

步骤二:根据步骤一中路侧设备会采集进入快速路合流区通信区域的车辆运行状态信息,包括主线外侧车道车流和入口匝道车流的信息,路侧智能决策模块根据车流信息分析主线外侧车道是否可以让出足够的可插间隙供入口匝道的车流汇入,若分析得出主线外侧车道可插间隙小于一辆车的车身长度,则发送指令给入口匝道车辆减速慢行等待主线可插间隙,若分析得出主线外侧车道可插间隙足够大但是可插间隙分布不均匀,则路侧智能决策模块根据得到的通信区域内的主线外侧车道和入口匝道的车辆位置、速度等信息,并分别给予车辆编号,同时,分析与匝道头车即将在合流区交汇点发生冲突的主线外侧车道车辆编号,定义为“第一主线协同车辆”,并根据其上游车辆信息确定“第一主线协同车辆”可能让出的可插间隙,给出减速信息,“第一主线协同车辆”车载设备接收到路侧设备发送的

减速信息立即执行减速让行,同时通知其后续车辆减速并与“第一主线协同车辆”保持一定的安全车距;

步骤三:路侧设备根据“第一主线协同车辆”让出的第一协同可插间隙确定入口匝道车辆参与第一组汇入的车辆数量,并将参与第一组交汇的车辆编号和速度信息发送给入口匝道每一车辆,车载设备接收到信息后立即执行编队操作,以一定的速度在规定时间、规定交汇位置实现与第一协同可插间隙的啮合;

步骤四:为了让入口匝道车辆安全快速地全部汇入主线车流,路侧决策模块会根据“第一主线协同车辆”上游车队的长度、运动信息和入口匝道剩余车辆的数量、排队长度等进行后续协同可插间隙的重新分配,即生成与第一协同可插间隙尺寸相同、速度相等的第二协同可插间隙、第三协同可插间隙、.....、第N协同可插间隙,若入口匝道与第N协同可插间隙相啮合的第N组车辆数量不足,则第N协同间隙可小于第一协同可插间隙,那么第N协同车辆可加速,从而缩小与前车的间隙;

步骤五:根据步骤四中分析出的主线外侧车道协同可插间隙和入口匝道车流的交汇位置和速度,结合每车的当前运行位置和速度信息,车载主控模块会计算每车交汇时的安全车速以及速度轨迹;

步骤六:参与合流的主线车辆和入口匝道车辆按照车载设备提示模块发出的提示车速进行调速,同时,车载设备监测车辆是否按车载主控模块计算出的速度轨迹行驶,若车载设备监测到车辆未按安全车速行驶,则转步骤七执行;

步骤七:若检测到车辆未按安全车速行驶,则该车载设备强行控制该车辆的制动踏板使其达到安全车速;

步骤八:判断匝道车辆是否成功汇入主线车流,若没有,则转步骤一执行,否则,结束本次车辆通行引导。

## 车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统及其引导方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及智能交通系统中的车路协同与安全控制技术,具体涉及一种车联网环境的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统及其引导方法。

### 背景技术

[0002] 随着汽车保有量的激增,城市快速路合流区交通冲突和拥堵现象日益严重,成为导致快速路高效、快捷的运行效率日趋减弱的主要原因之一。尤其在以通勤通学为主要特征的早晚高峰,合流区的拥堵不仅导致快速路主线交通流失效,而且使得入口匝道产生过饱和流,以致影响地面道路交通系统的有效运行。由此可见,预防合流区交通拥堵或加快拥堵消散速度是保障整个路网系统安全可靠运行的关键。

[0003] 匝道控制是目前在治理快速路合流区交通拥堵问题中应用最广泛的一种动态控制方式,它根据调节率控制进入合流区的车辆数,但这些控制方式受限于信息采集技术和交通控制技术,难以准确获取实际的交通状况,有可能造成错误的放行。而且,匝道合流区拥堵发生的机理不仅仅在于一般意义上的交通需求超过了匝道合流区的通行能力,而且在于合流区匝道车辆汇入主线时产生的变道及变速行为与主线车流不协调导致了自身通行能力的下降,使得通行能力与交通需求的不匹配程度加深。因此,单纯通过调节进入快速路合流区的交通总量及其时空分布来改善交通拥堵已经显得微不足道,有必要从微观角度对车辆汇入进行辅助控制,实现对交通流及其状态变化的实时响应与优化。随着电子信息和无线通信技术的迅速发展与应用,以车车、车路通信为基础的“车联网”已成为解决交通问题的有效手段,车联网环境下,车车、车路进行信息交互,大大提高行车安全系数,能有效避免各种碰撞事故,实现交通零事故已成为可能,这也将彻底改变传统的交通管理与控制方式。

[0004] 通过检索现有专利可知已有的专利主要是针对高速公路入口匝道合流区引导控制系统和方法,如中国专利申请第201410724696.2号公开了一种高速公路入口匝道合流区引导控制系统,其包括路侧汇入引导控制器和智能车载设备,路侧汇入引导控制器用于接收匝道和主路上游一定距离至合流区末端范围内车辆的实时状态信息,并形成对各车辆的实时引导信息,匝道车辆车载设备根据接收到的引导信息汇入主路车流,此方法大大提高了合流区单个匝道车辆汇入主路时的安全性,但是此方法引导是采取的匝道车辆逐个的汇入,汇入效率较低,没有考虑到匝道车辆以车队形式的汇入方案;中国专利申请第201510639084.8号公开了一种基于车车通信技术进行高速公路合流区安全协同控制方法,该方法通过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,通过控制协调方法提前对驾驶人员预警,调整车辆驾驶行为,降低安全冲突和拥堵的发生的几率,但是此方法无法明确给出车辆交汇时的速度引导,只是对车辆行驶安全进行预警。

[0005] 目前公开的入口匝道车辆通行引导系统绝大多数是针对入口匝道车辆与主线车

辆合流时的安全问题,没有考虑到合流时的效率问题,城市快速路合流区域不能得到合理使用,更不能从根本上解决城市快速路合流区交通拥堵的问题,难以实现真正意义上的安全、高效的合流。

## 发明内容

[0006] 为解决上述技术问题,本发明的目的是提供一种预防性强,可提高快速路合流区行车安全和通行效率的车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统及其引导方法。

[0007] 本发明提出的一种车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统,包括路侧设备和监控中心以及主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备;所述路侧设备、监控中心、主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备四者之间通过无线通信网络进行信息传递;

[0008] 所述路侧设备包括主线车流信息采集模块、匝道车流信息采集模块和路侧智能决策模块;所述主线车流信息采集模块和匝道车流信息采集模块均与所述路侧智能决策模块通信连接;

[0009] 所述主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备均包括车载主控模块和分别与所述车载主控模块通信连接的车辆基本信息储存模块、GPS定位模块、车速采集模块、车速控制模块和提示模块,所述车辆基本信息存储模块中预先存储有本车的静态信息。

[0010] 进一步的,所述主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备还包括与所述车载主控模块通信连接的车载无线通信模块,所述路侧设备还包括与所述路侧智能决策模块通信连接的路侧无线通信模块,所述车载无线通信模块与路侧无线通信模块之间通过无线通信网络进行信息传递。

[0011] 进一步的,所述提示模块包括车速信息显示屏和语音播放模块,所述车速信息显示屏和语音播放模块均与车载主控模块通信连接。

[0012] 进一步的,所述提示模块还包括车辆编号显示屏,所述车辆编号显示屏与所述车载主控模块通信连接。

[0013] 进一步的,所述提示模块还包括扬声器,所述扬声器与所述语音播放模块通信连接。

[0014] 进一步的,所述车速控制模块控制驱动车辆的制动踏板。

[0015] 进一步的,所述静态信息包括车主信息、车辆的型号和尺寸大小。

[0016] 本发明提出的车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统的引导方法,包括以下步骤:

[0017] 步骤一:通过车载设备实时采集自身车辆的位置和运动信息,当进入快速路合流区通信区域时,主线车辆车载设备、匝道车辆车载设备和路侧设备三者之间进行信息的交互;

[0018] 步骤二:根据步骤一中路侧设备会采集进入快速路合流区通信区域的车辆运行状态信息,包括主线外侧车道车流和入口匝道车流的信息,路侧智能决策模块根据车流信息分析主线外侧车道是否可以让出足够的可插间隙供入口匝道的车流汇入,若分析得出主线外侧车道可插间隙小于一辆车的车身长度,则发送指令给入口匝道车辆减速慢行等待主线可插间隙,若分析得出主线外侧车道可插间隙足够大但是可插间隙分布不均匀,则路侧智

能决策模块根据得到的通信区域内的主线外侧车道和入口匝道的车辆位置、速度等信息，并分别给予车辆编号，同时，分析与匝道头车即将在合流区交汇点发生冲突的主线外侧车道车辆编号，定义为“第一主线协同车辆”，并根据其上游车辆信息确定“第一主线协同车辆”可能让出的可插间隙，给出减速信息，“第一主线协同车辆”车载设备接收到路侧设备发送的减速信息立即执行减速让行，同时通知其后续车辆减速并与“第一主线协同车辆”保持一定的安全车距；

[0019] 步骤三：路侧设备根据“第一主线协同车辆”让出的第一协同可插间隙确定入口匝道车辆参与第一组汇入的车辆数量，并将参与第一组交汇的车辆编号和速度信息发送给入口匝道每一车辆，车载设备接收到信息后立即执行编队操作，以一定的速度在规定时间、规定交汇位置实现与第一协同可插间隙的啮合；

[0020] 步骤四：为了让入口匝道车辆安全快速地全部汇入主线车流，路侧决策模块会根据“第一主线协同车辆”上游车队的长度、运动信息和入口匝道剩余车辆的数量、排队长度等进行后续协同可插间隙的重新分配，即生成与第一协同可插间隙尺寸相同、速度相等的第二协同可插间隙、第三协同可插间隙、……、第N协同可插间隙，若入口匝道与第N协同可插间隙相啮合的第N组车辆数量不足，则第N协同可插间隙可小于第一协同可插间隙，那么第N协同车辆可加速，从而缩小与前车的间隙；

[0021] 步骤五：根据步骤四中分析出的主线外侧车道协同可插间隙和入口匝道车流的交汇位置和速度，结合每车的当前运行位置和速度信息，车载主控模块会计算每车交汇时的安全车速以及速度轨迹；

[0022] 步骤六：参与合流的主线车辆和入口匝道车辆按照车载设备提示模块发出的提示车速进行调速，同时，车载设备监测车辆是否按车载主控模块计算出的速度轨迹行驶，若车载设备监测到车辆未按安全车速行驶，则转步骤七执行；

[0023] 步骤七：若检测到车辆未按安全车速行驶，则该车载设备强行控制该车辆的制动踏板使其达到安全车速；

[0024] 步骤八：判断匝道车辆是否成功汇入主线车流，若没有，则转步骤一执行，否则，结束本次车辆通行引导。

[0025] 借由上述方案，本发明至少具有以下优点：

[0026] (1) 本发明的车联网环境下入口匝道车辆通行引导系统在车辆进入合流区主线与匝道交汇点前1000m时就可实现车辆与车辆之间、车辆与道路基础设施之间的信息交换，只需安装一简单的路侧设备，内置主线车流信息采集模块、入口匝道车流信息采集模块、无线通讯设备和智能决策模块即可，技术简单可靠；

[0027] (2) 本发明的车联网环境下入口匝道车辆通行引导系统及其引导方法能够实现快速路主线外侧车道车辆可插间隙的重新分配，为入口匝道车辆提供足够的汇入间隙，为驾驶员提供车辆合流时所需的安全车速和速度轨迹，让进入合流区的主线车辆和入口匝道车辆都有迹可循，极大地消除了合流区车辆频繁换道和调速行为，更减轻了驾驶员进入快速路合流区时的紧张心理和烦躁情绪；并且在驾驶员精力不集中的情况下，能强行控制车辆，避免发生不必要的碰撞事故，极大地提高了合流区的行车安全水平和通行效率；

[0028] (3) 本发明的车联网环境下入口匝道车辆通行引导系统及其引导方法适用于车辆在任何主线交通状态下的匝道车辆车速引导，尤其适用于入口匝道排队过长和视距不良的

入口匝道车辆与主线车辆的合流引导,实用性非常强,可从一定程度上解决高峰时期入口匝道排队过长的问题,为降低快速路合流区的排放污染、减轻道路交叉口交通负荷做出贡献。

[0029] (4) 本发明的车联网环境下入口匝道车辆通行引导系统可与城市管理部门实现无缝连接,管理部门实时获取车辆运行状态信息,实现城市快速路入口匝道的管理与控制,真正实现交通监测、管理与控制于一体。

[0030] 上述说明仅是本发明技术方案的概述,为了能够更清楚了解本发明的技术手段,并可依照说明书的内容予以实施,以下以本发明的较佳实施例并配合附图详细说明。

### 附图说明

[0031] 图1为本发明车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统的结构框图;

[0032] 图2为本发明中车载设备的界面显示示意图;

[0033] 图3为本发明车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统的引导方法的步骤流程图;

[0034] 图4为本发明车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统的引导方法的示意图。

### 具体实施方式

[0035] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0036] 实施例:如图1所示,一种车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统,包括路侧设备2和监控中心3以及主线车辆车载设备5和匝道车辆车载设备1;所述路侧设备、监控中心、主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备四者之间通过无线网络4进行信息传递;

[0037] 所述路侧设备包括主线车流信息采集模块21、匝道车流信息采集模块22和路侧智能决策模块23;所述主线车流信息采集模块和匝道车流信息采集模块均与所述路侧智能决策模块通信连接;

[0038] 路侧设备的工作方式是:主线车流信息采集模块主要采集主路外侧车道车辆的运行状态信息;匝道车流信息采集模块主要采集入口匝道车流的运行状态信息;路侧智能决策模块根据接收到的主线车流和匝道车流信息对主线外侧车道可插间隙进行再分配,给出相应的协同车辆的编号及调速信息,并根据主线可插间隙运行状态信息对匝道车辆发送编号及调速信息;

[0039] 所述主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备均包括车载主控模块11和分别与所述车载主控模块通信连接的车辆基本信息储存模块16、GPS定位模块17、车速采集模块12、车速控制模块14和提示模块13,所述车辆基本信息存储模块中预先存储有本车的静态信息;

[0040] 主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备的工作方式是:GPS定位模块采集车辆运行位置信息;车速采集模块实时采集车辆速度;车速控制模块控制车辆速度;提示模块提示

驾驶员车辆通过快速路合流区时所需的安全车速。

[0041] 当车辆进入快速路合流区通信范围时,匝道车辆车载设备、主线车辆车载和路侧设备三者之间进行信息交互,路侧智能决策模块快速采集主线外侧车道和匝道车辆数量、每车经纬度坐标、每车速度等信息,并将车辆经纬度坐标转换为快速路合流区域当地坐标,该坐标以主线外侧车道和匝道的交点为原点;根据采集到的主线车辆和匝道车辆的运动信息分别对每辆车进行编号,分析与匝道头车即将发生冲突的主线第一协同让行车辆的编号,将减速指令发送给第一协同让行车辆,并根据主线上游交通状态信息和匝道车辆的编队长度对主线外侧车道可插间隙进行重新分配,确定第二、第三、.....第N协同车辆的编号及重新生成的第一、第二、.....第N可插间隙运行状态信息,根据主线可插间隙的运行状态信息对匝道车辆进行分组编号,并把分组编号和调速信息发送给入口匝道上每个车辆;主线和匝道车辆车载主控模块根据接收到的可插间隙运行状态信息自行调整车辆的速度,并发送至提示模块和车速控制模块,通过提示模块提示驾驶员所需的安全车速,同时车载主控模块会监控车辆是否按所给安全车速行驶,若监测到车辆未按安全车速行驶则车速控制模块自动控制车辆的速度。

[0042] 所述主线和匝道车辆车载主控模块通过车车、车路通信获取其他车辆的运动状态信息。根据主线协同车辆上游运行状态信息和匝道车辆排队长度对主线外侧车道车辆之间的可插间隔进行再分配,确定协同车辆的减速信息及可能让出的协同可插间隙,然后根据协同车辆让出的协同可插间隙运行状态信息确定匝道车辆的汇入分组编号和调速策略,计算得出匝道车辆汇入主线时所需的安全车速。

[0043] 所述主线车辆车载设备和匝道车辆车载设备还包括与所述车载主控模块通信连接的车载无线通信模块15,所述路侧设备还包括与所述路侧智能决策模块通信连接的路侧无线通信模块24,所述车载无线通信模块与路侧无线通信模块之间通过无线网络进行信息传递。

[0044] 所述提示模块包括车速信息显示屏131、车辆编号显示屏132、语音播放模块133和扬声器134,所述车速信息显示屏、车辆编号显示屏和语音播放模块均与车载主控模块通信连接,所述扬声器与所述语音播放模块通信连接。

[0045] 车速信息显示屏车速信息显示屏显示车辆通过快速路合流区时所需的安全车速,语音播放模块通过扬声器播放车辆通过快速路合流区所需的安全车速。

[0046] 所述车速控制模块控制驱动车辆的制动踏板。

[0047] 所述静态信息包括车主信息、车辆的型号和尺寸大小。当然还可以包括车辆的其它信息。

[0048] 所述车载设备还包括发送本车位置和运动信息给其它冲突车辆的车车无线通信模块。

[0049] 如图2所示,车载设备的界面包括车辆当前编号和安全车速的显示与语音提示,以及电源和数据的接口,其中车辆分组编号显示界面首位为字母“R”或“Z”,分别表示匝道车辆或主线车辆,第2位为数字表示车辆所属编组的号码,第3位为数字表示所在分组的排序,例如“R15”表示匝道第1分组内的第5辆车。

[0050] 如图3所示,车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统的引导方法,包括如下步骤:



[0051] 步骤一:通过车载设备实时采集自身车辆的位置和运动信息,当进入快速路合流区通信区域时,主线车辆车载设备、匝道车辆车载设备和路侧设备三者之间进行信息的交互;

[0052] 步骤二:根据步骤一中路侧设备会采集进入快速路合流区通信区域的车辆运行状态信息,包括主线外侧车道车流和入口匝道车流的信息,路侧智能决策模块根据车流信息分析主线外侧车道是否可以让出足够的可插间隙供入口匝道的车流汇入,若分析得出主线外侧车道可插间隙小于一辆车的车身长度,则发送指令给入口匝道车辆减速慢行等待主线可插间隙,若分析得出主线外侧车道可插间隙足够大但是可插间隙分布不均匀,则路侧智能决策模块根据得到的通信区域内的主线外侧车道和入口匝道的车辆位置、速度等信息,并分别给予车辆编号,同时,分析与匝道头车即将在合流区交汇点发生冲突的主线外侧车道车辆编号,定义为“第一主线协同车辆”,并根据其上游车辆信息确定“第一主线协同车辆”可能让出的可插间隙,给出减速信息,“第一主线协同车辆”车载设备接收到路侧设备发送的减速信息立即执行减速让行,同时通知其后续车辆减速并与“第一主线协同车辆”保持一定的安全车距;

[0053] 步骤三:路侧设备根据“第一主线协同车辆”让出的第一协同可插间隙确定入口匝道车辆参与第一组汇入的车辆数量,并将参与第一组交汇的车辆编号和速度信息发送给入口匝道每一车辆,车载设备接收到信息后立即执行编队操作,以一定的速度在规定时间、规定交汇位置实现与第一协同可插间隙的啮合;

[0054] 步骤四:为了让入口匝道车辆安全快速地全部汇入主线车流,路侧决策模块会根据“第一主线协同车辆”上游车队的长度、运动信息和入口匝道剩余车辆的数量、排队长度等进行后续协同可插间隙的重新分配,即生成与第一协同可插间隙尺寸相同、速度相等的第二协同可插间隙、第三协同可插间隙、……、第N协同可插间隙,若入口匝道与第N协同可插间隙相啮合的第N组车辆数量不足,则第N协同可插间隙可小于第一协同可插间隙,那么第N协同车辆可加速,从而缩小与前车的间隙;

[0055] 步骤五:根据步骤四中分析出的主线外侧车道协同可插间隙和入口匝道车流的交汇位置和速度,结合每车的当前运行位置和速度信息,车载主控模块会计算每车交汇时的安全车速以及速度轨迹;

[0056] 步骤六:参与合流的主线车辆和入口匝道车辆按照车载设备提示模块发出的提示车速进行调速,同时,车载设备监测车辆是否按车载主控模块计算出的速度轨迹行驶,若车载设备监测到车辆未按安全车速行驶,则转步骤七执行;

[0057] 步骤七:若检测到车辆未按安全车速行驶,则该车载设备强行控制该车辆的制动踏板使其达到安全车速;

[0058] 步骤八:判断匝道车辆是否成功汇入主线车流,若没有,则转步骤一执行,否则,结束本次车辆通行引导。

[0059] 如图4所示,车联网环境下的城市快速路入口匝道车辆通行引导系统的引导方法的示意图。假设在某一快速路合流区域通信范围内,路侧设备采集到主线外侧车道有j辆车即将进入合流区域,匝道有i辆车即将进入合流区域,根据主线外侧车辆和匝道头车到达主线和匝道交汇点O时间的粗略计算,判定与匝道头车即将发生冲突的车辆为第1主线协同车辆,编号为“Z11”,为了匝道车辆顺利汇入主线车流,车辆Z11必须减速让行,让出足够的协

同可插间隙D1供匝道车辆汇入,而且协同可插间隙D1必须在匝道头车“R11”到达交汇点O时形成,在车辆Z11到达交汇点O时匝道第1小组车队恰好成功汇入主线,即合流完成,而且R11在合流完成时与车辆Z11前车保持一定的安全车距且速度相等,为了提高合流效率,R11同组车辆必须紧跟其后,必须根据R11的运行状态进行调速且保持一定的安全车距。

[0060] (1) 第1主线协同车辆“Z11”和匝道头车“R11”调速轨迹的求解。为了确保合流的安全性,令在 $t_{mer}$ 时刻协同可插间隙D1和匝道头车到达交汇点O,在 $t_{end}$ 时刻匝道第1车队与第1协同可插间隙成功交汇,合流完成,此时主线第1协同车辆恰好到达交汇点O,而匝道第1车队每两车之间的距离均为最小安全车距 $L_{安}$ ,为了提高通行效率,只要确保合流之后两车的安全车距即可,令每车开始调速时的时刻为 $t_0$ ,且开始调速时第1主线协同车辆“Z11”前面的车辆保持匀速,则匝道第1车队成功合流需满足下列目标方程:

$$[0061] \quad \min D1 = \min(L_{Z11}(t_0) - (|x_{Z11}(t_0)| - |x_{Z11}(t_{mer})|)) + L_{安} = \min(|x_{Z11}(t_0)| - \int_{t_0}^{t_{mer}} v_{Z11}(t) dt + L_{安})$$

$$[0062] \quad \min D1 = l_{R11} + l_{R12} + l_{R13} + \dots + l_{R1n} + (n+1)L_{安}$$

$$[0063] \quad \min L_{R11-R12}(t_{mer}) = \min(L_{R12}(t_0) - \int_{t_0}^{t_{mer}} v_{R12}(t) dt - l_{R11}) = L_{安}$$

$$\min L_{R11-R13}(t_{mer}) = \min(L_{R13}(t_0) - \int_{t_0}^{t_{mer}} v_{R13}(t) dt - l_{R11}) = 2L_{安}$$

$$\min L_{R11-R1n}(t_{mer}) = \min(L_{R1n}(t_0) - \int_{t_0}^{t_{mer}} v_{R1n}(t) dt - l_{R11}) = (n-1)L_{安}$$

$$[0064] \quad L_{R11}(t_0) = \int_{t_0}^{t_{mer}} v_{R11}(t) dt$$

[0065] 匝道第1组车队与主线第1协同可插间隙交汇成功需满足的目标方程:

$$[0066] \quad v_{Z11前}(t_0)(t_{end} - t_{mer}) - |x_{Z11}(t_{end})| = D1 + l_{Z11前}$$

$$[0067] \quad |x_{Z11}(t_{end}) - x_{Z11}(t_{mer})| = \int_{t_{mer}}^{t_{end}} v_{Z11}(t) dt$$

[0068] 以上目标方程均满足的约束条件为:

[0069]

$$\left\{ \begin{array}{l} a(t_0) = a(t_{end}) = 0 \\ v_{Z11}(t_0) = \text{constan } t1 \\ v_{Z11前}(t_0) = \text{constan } t2 \\ v_{R11}(t_0) = \text{constan } t3 \\ \vdots \\ v_{R1n}(t_0) = \text{constan } t(n+2) \\ v_{Z11}(t_{end}) = v_{R11}(t_{end}) = v_{R12}(t_{end}) = v_{R13}(t_{end}) = \dots = v_{R1n}(t_{end}) = v_{Z11前}(t_{end}) = v_{Z11前}(t_0) \\ a_{\min} \leq a \leq a_{\max} \\ 0 \leq v \leq v_{\max} \\ v = \int a dt \end{array} \right.$$

[0070] 其中,D1表示主线第1协同可插间隙的长度, $t_0$ 表示车辆进入通信区域开始调速的时刻, $t_{mer}$ 表示匝道头车到达交汇点O的时刻, $t_{end}$ 表示匝道第1车队成功汇入主线第1协同可插间隙的时刻,第 $L_{Z11}(t_0)$ 表示 $t_0$ 时刻主线第1协同车辆Z11所在位置与交汇点O之间的距离,

$L_{R11}(t_0)$ 、 $L_{R12}(t_0)$ 、 $L_{R13}(t_0)$ 、 $L_{R1n}(t_0)$  表示  $t_0$  时刻参与第1组合流的匝道车辆头车及后续车辆 2、3、n 所在位置分别与交汇点 O 之间的距离， $L_{R11-R12}(t_{mer})$  表示  $t_{mer}$  时刻匝道车辆 R11 与车辆 R12 之间的车头间距， $L_{R11-R13}(t_{mer})$  表示  $t_{mer}$  时刻匝道车辆 R11 与车辆 R13 之间的车头间距， $L_{R11-Rn}(t_{mer})$  表示  $t_{mer}$  时刻匝道车辆 R11 与车辆 R1n 之间的车头间距， $X_{Z11}(t_0)$ 、 $X_{Z11}(t_{mer})$ 、 $X_{Z11}(t_{end})$  分别表示  $t_0$ 、 $t_{mer}$ 、 $t_{end}$  时刻主线第1协同车辆 Z11 在本合流区域所处的位置横坐标， $v_{Z11}(t)$  表示主线第1协同车辆 Z11 的运行速度， $v_{Z11前}(t_0)$  和  $v_{Z11前}(t_{end})$  分别表示  $t_0$ 、 $t_{end}$  时刻主线第1协同车辆 Z11 前车的运行速度， $v_{R11}(t)$ 、 $v_{R12}(t)$ 、 $v_{R13}(t)$ 、 $v_{R1n}(t)$  分别表示匝道参与第1小组合流车辆的速度， $l_{R11}$ 、 $l_{R12}$ 、 $l_{R13}$  和  $l_{R1n}$  分别表示车辆 R11、R12、R13 和 R1n 的车身长度，n 表示匝道参与第1小组合流的车辆数量， $l_{Z11前}$  表示主线第1协同车辆 Z11 前车的车身长度， $L_{安}$  表示车与车之间所应保持的最小安全车距（可取 2m）， $a$  表示任一车辆运行所需的加速度， $v$  表示任一车辆运行所需的速度， $v_{max}$  表示车辆行驶所能允许的最大车速， $a_{max}$  和  $a_{min}$  表示车辆行驶所能允许的最大加速度和最小加速度。

[0071] 通过以上目标方程的求解就可得出 D1 的长度，参与第1组合流的匝道车辆的数量 n，以及主线车辆 Z11、匝道车辆 R11、R12、R13、……、R1n 相应的调速轨迹，即合流时的安全车速。

[0072] (2) 为了提高合流区的通行效率和保持主线上游车流的稳定性，主线第1协同车辆后续车辆需要每两辆车之间保持最小安全车距，而且第2协同可插间隙与主线第1协同车辆之间的距离与 D1 相等，即需要满足以下条件：

[0073] 
$$\min D1 = l_{Z11} + l_{Z12} + l_{Z13} + \dots + l_{Z1m} + (m+1)L_{安}$$

[0074] 
$$\begin{aligned} \min L_{Z11-Z12}(t_{end}) &= \min \left( L_{Z12}(t_0) - \int_{t_0}^{t_{end}} v_{Z12}(t) dt - l_{Z11} \right) = L_{安} \\ \min L_{Z11-Z13}(t_{end}) &= \min \left( L_{Z13}(t_0) - \int_{t_0}^{t_{end}} v_{Z13}(t) dt - l_{Z11} \right) = 2L_{安} \\ \min L_{Z11-Z1m}(t_{end}) &= \min \left( L_{Z1m}(t_0) - \int_{t_0}^{t_{end}} v_{Z1m}(t) dt - l_{Z11} \right) = (m-1)L_{安} \\ \min L_{Z21-Z1m}(t_{end}) &= \min \left( L_{Z21}(t_0) - \int_{t_0}^{t_{end}} v_{Z21}(t) dt - L_{Z1m}(t_{end}) - l_{Z1m} \right) = D1 \end{aligned}$$

[0075] 以上目标方程均满足的约束条件为：

[0076] 
$$\left\{ \begin{aligned} &a(t_0) = a(t_{end}) = 0 \\ &v_{Z12}(t_0) = \text{constan } t1 \\ &v_{Z13}(t_0) = \text{constan } t2 \\ &\quad \vdots \\ &v_{Z1m}(t_0) = \text{constan } t3 \\ &v_{Z21}(t_0) = \text{constan } t(m+1) \\ &v_{Z12}(t_{end}) = v_{Z13}(t_{end}) = \dots = v_{Z1m}(t_{end}) = v_{Z21}(t_{end}) = v_{Z11}(t_{end}) \\ &a_{min} \leq a \leq a_{max} \\ &0 \leq v \leq v_{max} \\ &v = \int at dt \end{aligned} \right.$$

[0077] 其中，D1 表示主线第1协同可插间隙的长度， $t_0$  表示车辆进入通信区域开始调速的时刻， $t_{end}$  表示匝道第1车队成功汇入主线第1协同可插间隙的时刻， $l_{Z11}$ 、 $l_{Z12}$ 、 $l_{Z13}$  和  $l_{Z1m}$  分别

表示车辆Z11、Z12、Z13和Z1m的车身长度， $m$ 表示主线第1组协同车辆的数量， $L_{安}$ 表示车与车之间所应保持的最小安全车距(可取 $2m$ )， $v_{Z12}(t)$ 、 $v_{Z13}(t)$ 和 $v_{Z1m}(t)$ 分别表示主线第1协同小组中的第2、3和 $m$ 辆车的速度、 $v_{Z21}(t)$ 表示主线第2协同小组中第1辆车的速度， $L_{Z12}(t_0)$ 、 $L_{Z13}(t_0)$ 、 $L_{Z1m}(t_0)$ 表示 $t_0$ 时刻参与合流的主线第1协同车辆及后续车辆2、3、 $m$ 所在位置分别与交汇点0之间的距离， $L_{Z11-Z12}(t_{end})$ 表示 $t_{end}$ 时刻主线第1协同车辆Z11与车辆Z12之间的车头间距， $L_{Z11-Z13}(t_{end})$ 表示 $t_{end}$ 时刻主线第1协同小组中的车辆Z11与车辆Z13之间的车头间距， $L_{Z11-Z1m}(t_{end})$ 表示 $t_{end}$ 时刻主线第1协同小组中的车辆Z11与车辆Z1m之间的车头间距， $L_{Z21-Z1m}(t_{end})$ 表示 $t_{end}$ 时刻主线第2协同车辆Z21与主线第1协同小组中的车辆Z1m之间的车头间距， $v_{Z12}(t_0)$ 、 $v_{Z13}(t_0)$ 和 $v_{Z1m}(t_0)$ 分别表示 $t_0$ 时刻主线第1协同小组中的第2、3和 $m$ 辆车的速度， $v_{Z21}(t_0)$ 表示 $t_0$ 时刻主线第2协同车辆的速度， $v_{Z11}(t_{end})$ 、 $v_{Z12}(t_{end})$ 、 $v_{Z13}(t_{end})$ 和 $v_{Z1m}(t_{end})$ 分别表示 $t_0$ 时刻主线第1协同小组中的第1、2、3和 $m$ 辆车的速度， $v_{Z21}(t_{end})$ 表示 $t_{end}$ 时刻主线第2协同车辆的速度， $a$ 表示任一车辆运行所需的加速度， $v$ 表示任一车辆运行所需的速度， $v_{max}$ 表示车辆行驶所能允许的最大车速， $a_{max}$ 和 $a_{min}$ 表示车辆行驶所能允许的最大加速度和最小加速度。

[0078] 通过以上目标方程的求解就可得出 $D1$ 的长度，参与第1组合流的主线协同车辆的数量 $m$ ，以及主线协同车辆Z11、Z12、Z13、……、Z1m相应的调速轨迹，而且可以确定出第2协同车辆的编号以及相应的调速策略。

[0079] (3) 确定第2协同车辆之后，主线第2协同可插间隙就可形成，与第1协同可插间隙大小相同且速度相同，那么匝道参与第2小组合流的车辆就可以根据主线第2协同可插间隙的运行状态进行编队和调速，调速策略的求解如同(1)中的目标方程，从而可以得出匝道第2小组参与合流的车辆的编号和调速策略。相应的，主线第3协同车辆、第 $N-1$ 协同可插间隙的求解如同(2)中的目标方程，就可得出相应的主线第3协同可插间隙、第 $N-1$ 协同可插间隙，从而可以确定主线每一协同车辆的调速策略。

[0080] (4) 主线第 $N$ 协同车辆和第 $N$ 协同间隙的求解。匝道第 $N$ 小组合流的车辆数量可能会出现小于车辆数量 $n$ 的情况，针对这种情况，匝道第 $N$ 小组合流车辆每辆车之间需要保持最小安全车距，匝道第 $N$ 小组的第1辆车与第 $N-1$ 组的最后一辆车之间的安全间距为 $D1$ ，就可得出 $R_{N1}$ 的调速策略，路侧智能决策模块会快速获取匝道第 $N$ 小组车辆的数量，从而确定出匝道第 $N$ 小组的排队长度 $D_N$ ，那么，主线第 $N$ 协同车辆就会根据匝道第 $N$ 小组的排队长度 $D_N$ 进行调速，至 $t_{end}$ 时刻形成第 $N$ 协同间隙即可。

[0081] 以上所述仅是本发明的优选实施方式，并不用于限制本发明，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明技术原理的前提下，还可以做出若干改进和变型，这些改进和变型也应视为本发明的保护范围。

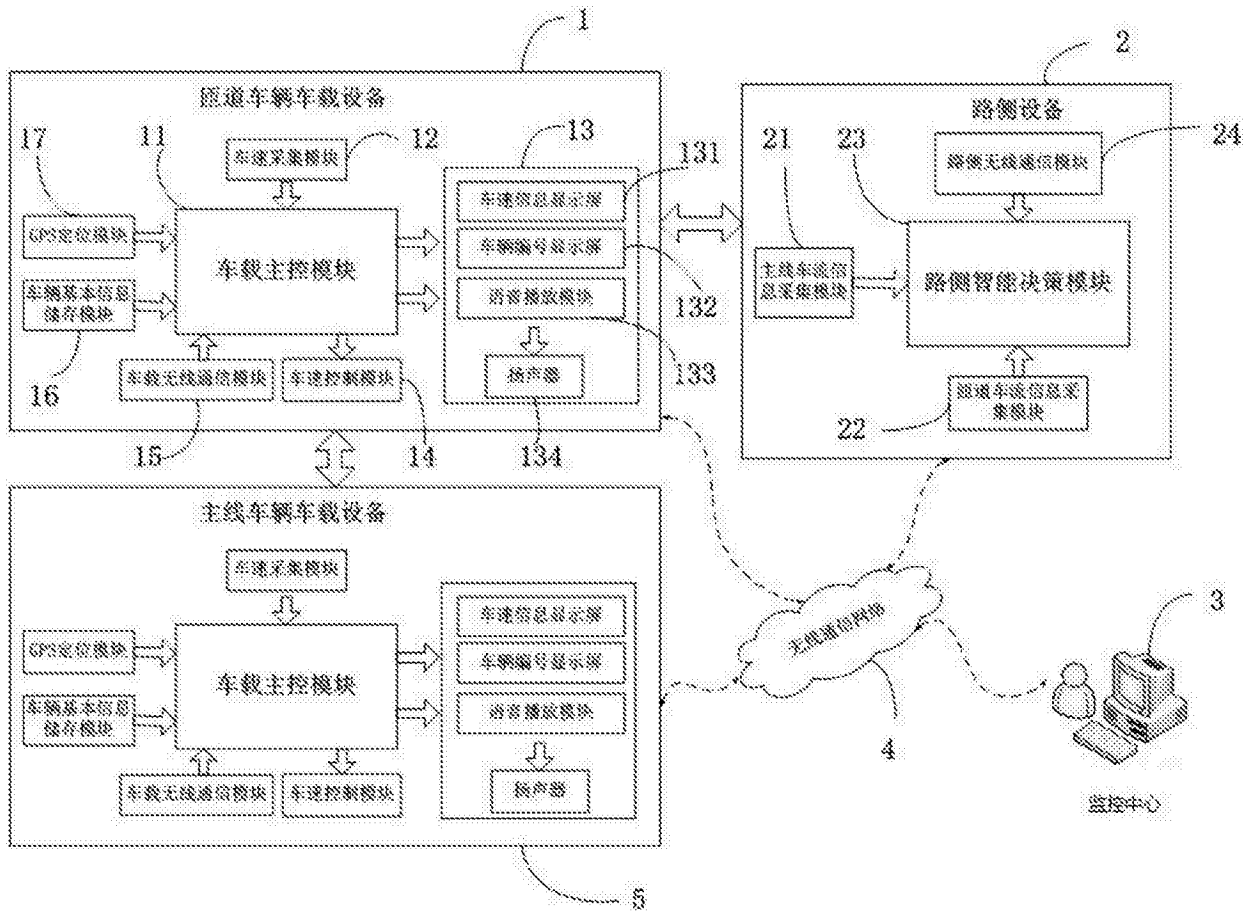


图1

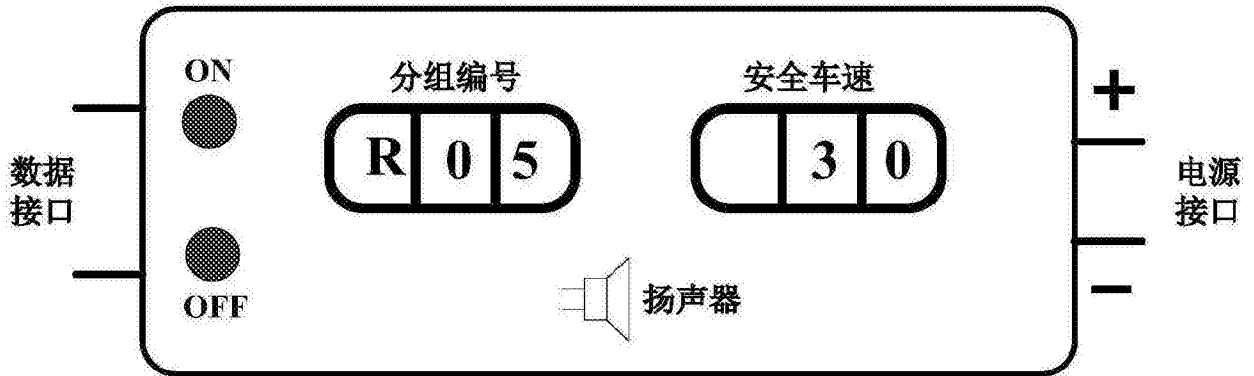


图2

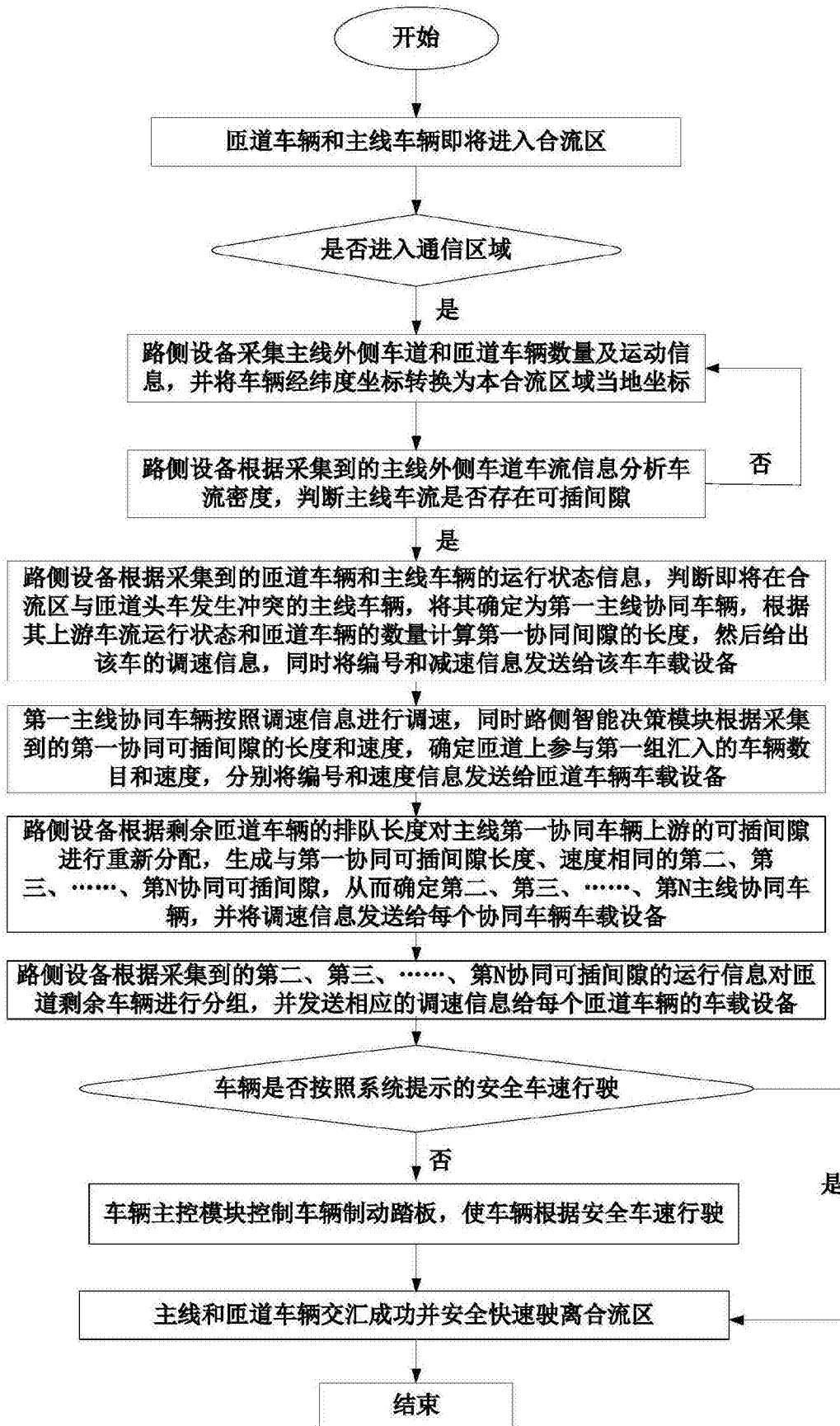


图3

