



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106997690 A

(43)申请公布日 2017.08.01

(21)申请号 201710338915.7

(22)申请日 2017.05.15

(71)申请人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学路2号

(72)发明人 张健 洪阳 冉斌 徐凌慧 季欣凯

(74)专利代理机构 南京众联专利代理有限公司 32206

代理人 许小莉

(51)Int. Cl.

G08G 1/16(2006.01)

B60W 50/00(2006.01)

B60W 30/18(2012.01)

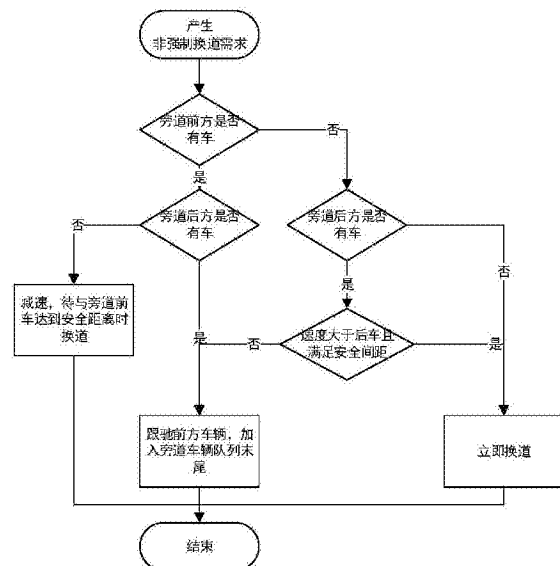
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法。所述的非强制换道为换道车辆为改善车辆行驶状态,而前方车辆行驶速度较低时,换至交通状态较好的旁道行驶的行为,该方法为:车联网环境下,在高速公路上行驶的车辆可以通过无线通讯方式与通讯范围内的周边车辆实现车车通信并进行实时的数据交换,当某车辆有非强制换道需求时,该车辆向附近车辆发出请求,获取其他车辆位置、速度信息,根据车辆周边通信范围内不同的交通状态进行判断,对换道车辆的强制换道行为进行控制,实现非强制换道行为的安全、高效实施。本发明对换道车辆及其他相关车辆的状态进行分析,并基于此对车辆的非强制换道行为进行合理组织,实现非强制换道行为的安全、高效实施。



1. 一种车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法,其特征在于,所述的非强制换道为换道车辆为改善车辆行驶状态,而前方车辆行驶速度较低时,换至交通状态较好的旁道行驶的行为,该方法为:车联网环境下,在高速公路上行驶的车辆可以通过无线通讯方式与通讯范围内的周边车辆实现车车通信并进行实时的数据交换,当某车辆有非强制换道需求时,该车辆向附近车辆发出请求,获取其他车辆位置、速度信息,根据车辆周边通信范围内不同的交通状态进行判断,对换道车辆的强制换道行为进行控制,实现非强制换道行为的安全、高效实施。

2. 根据权利要求1所述的车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法,其特征在于,所述数据交换的内容包括车辆位置、行驶速度、加速度,车辆位置包括车辆所在车道以及对应于某一参考点沿高速公路中央分隔带方向的横、纵向距离,在高速公路上行驶的车辆需严格遵守交通规则,包括高速公路最高限速 $v_{\max}$ ,最低限速 $v_{\min}$ ,最大加速度 $a_a$ ,最大减速度 $a_d$ ,最小安全间距 $h_{\text{safe}}$ 等,且以车队形式跟驰行驶时在车队中的车辆速度相等且通过车联网以相同速度协同行进,且队列中的车辆车头间距不小于安全间距。

3. 根据权利要求1所述的车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法,其特征在于,所述根据车辆周边通信范围内不同的交通状态进行判断,对换道车辆的强制换道行为进行控制的方法为:

以 $v$ 表示需换道的车辆的速度, $x$ 为其纵向位置; $v_{\text{旁,后}}$ 表示目标车道上纵向位置在换道车辆前方,且距离换道车辆最近的车辆的速度, $x_{\text{旁,后}}$ 为其纵向位置; $v_{\text{旁,前}}$ 表示目标车道上纵向位置在换道车辆后方,且距离换道车辆最近的车辆的速度, $x_{\text{旁,前}}$ 为其纵向位置; $v_{\text{旁,末}}$ 表示目标车道上纵向位置在换道车辆后方,且位于旁道车队队尾的车辆的速度, $x_{\text{旁,末}}$ 为其纵向位置;本车道前车定义为换道车辆所在车道上纵向位置在换道车辆前方,且距离换道车辆最近的车辆,初始状态下 $v_{\text{旁,前}}=v_{\text{旁,后}}=v_{\text{旁,末}}$ ,

若旁道上无其他车辆,则立即执行换道;

若旁道上有前车而无后车,对旁道前车及自身的状态进行判断:

① 前车速度大于或等于换道车辆速度且已经满足安全间距条件,即 $v_{\text{旁,前}} \geq v$ 且 $x_{\text{旁,前}} - x \geq h_{\text{safe}}$ ,则立即执行换道;

② 前车速度大于或等于换道车辆速度但不满足安全间距条件,即 $v_{\text{旁,前}} \geq v$ 且 $x_{\text{旁,前}} - x < h_{\text{safe}}$ ,则换道车辆以最大减速度 $a_d$ 进行减速,当达到以下条件之一时换道车辆停止减速:

a) 换道车辆达到高速公路最低限速 $v_{\min}$ ;

b) 与旁道前车达到安全间距,

若条件b)先满足,则在满足条件时,即 $x_{\text{旁,前}}' - x' = h_{\text{safe}}$ 时,换道车辆停止减速并执行换道;

若条件a)先满足,则换道车辆停止减速并保持 $v_{\min}$ ,直至条件b)满足时执行换道。待换道行为执行完毕后,换道车辆再以最大加速度 $a_a$ 加速至旁道前车速度 $v_{\text{旁,前}}$ ,

③ 前车速度小于换道车速度,即 $v_{\text{旁,前}} < v$ ,则换道车以最大减速度 $a_d$ 减速至 $v_{\text{旁,前}}$ ,在两车速度相等后,视为有前车也有后车的初始状态,重新判断换道条件并按照相应方法执行控制。

若旁道上无前车而有后车,若后车速度小于或等于换道车速度且已经满足安全间距条件,即 $v_{\text{旁,后}} \leq v$ 且 $x - x_{\text{旁,后}} \geq h_{\text{safe}}$ ,则换道车辆立即执行换道;否则,换道车辆原则上需要继续

跟驰换道车道上的前方车辆,等待旁边的车队全部超过自己后方可考虑换道;首先对换道车辆速度 $v$ 、换道车道上的前方车辆 $v_{本,前}$ 及旁边车队速度 $v_{旁}$ 进行判断,由于为改善车辆行驶状态的非强制换道,则 $v_{旁}$ 必大于 $v_{本,前}$ ,且 $v$ 必不小于 $v_{本,前}$ ,

若换道车辆正常跟驰前方车辆,即 $v_{本,前} = v < v_{旁}$ ,则当旁边车队末车行驶至换道车辆前方安全距离外,即 $x_{旁,末}' - x' = h_{safe}$ 时,换道车辆执行换道,待换道行为执行完毕后以最大加速度 $a_a$ 加速至 $v_{旁}$ ;

若换道车辆速度大于本车道前车速度但小于旁边车队速度,即 $v_{本,前} < v < v_{旁}$ ,则在旁边车队末车行驶至换道车辆前方安全距离外时进行换道,在换道时,换道车辆需要与前车、旁边车队的末车均保持安全距离,即 $x_{旁,末}' - x' = h_{safe}$ 且 $x_{前}' - x' \geq h_{safe}$ ;

①若换道车辆可以继续保持速度 $v$ ,则要想在时间 $t$ 后换道,需要以下不等式组有解:

$$\begin{cases} (x_{旁,末}' + v_{旁}t) - (x + vt) = h_{safe} \\ (x_{本,前}' + v_{本,前}t) - (x + vt) \geq h_{safe} \end{cases}$$

当以上不等式组有解时,换道车辆在 $t = \frac{h_{safe} - x_{旁,末}' + x}{v_{旁} - v}$ 时刻执行换道;否则,换道车辆需

要减速方可安全进行换道,继续执行②;

②若①中的不等式无解,则需要换道车辆以最大减速度 $a_d$ 进行减速,直至满足以下两个条件之一:

- a) 旁边车队末车行驶至换道车辆前方安全距离外,即 $x_{旁,末}' - x' = h_{safe}$ ;
- b) 速度与本车道前车速度相等,即 $v' = v_{本,前}$ 。

若条件a)先满足,则在满足条件时换道车辆停止减速并执行换道;若条件b)先满足,则在满足条件时换道车辆停止减速,保持 $v_{本,前}$ ,直至满足条件a)时换道。待换道完成后,换道车辆以最大加速度 $a_a$ 加速至 $v_{旁,末}$ ;

若换道车辆速度大于旁边车队速度,即 $v_{本,前} < v_{旁} \leq v$ ,则换道车辆需要先以最大减速度 $a_d$ 减速至一个小于旁边车队速度的速度,即 $v' < v_{旁}$ ,方可保证旁边车队超过换道车辆,在满足以下条件之一时停止减速:

- a) 旁边车队末车行驶至换道车辆前方安全距离外,即 $x_{旁,末}' - x' = h_{safe}$ ;
- b) 速度与本车道前车速度相等,即 $v' = v_{本,前}$ 。

若条件a)先满足,则在满足条件时换道车辆停止减速并执行换道;若条件b)先满足,则换道车辆保持 $v_{本,前}$ ,直至满足条件a)时执行换道。待换道完成后,换道车辆以最大加速度 $a_a$ 加速至 $v_{旁,末}$ 。

## 一种车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法

### 技术领域：

[0001] 本发明涉及一种车辆协同驾驶控制方法，特别是涉及一种车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法。

### 背景技术：

[0002] 随着社会经济的高速发展，我国民用汽车保有量不断增加，至2016年末全国民用汽车保有量已达19440万辆，相比2015年末增加12.8%。然而，由于投资及空间等限制，全国四级及以上等级公路里程仅增长4.3%，高速公路车道里程仅增加5.4%，远远民用汽车的增长率，导致道路交通压力日益增大。在不大规模增加道路基础设施投资的基础上，随着无线通信技术的发展，车联网条件下的智能交通系统和自动驾驶技术的发展将能够充分利用道路资源，挖掘道路通行能力，减缓道路交通压力。

[0003] 对于智能网联汽车，工信部在其发布的智能网联汽车技术路线图中将其分为四个发展阶段：第一阶段为驾驶辅助，包括自适应导航、自动紧急制动、车道保持、辅助泊车等；第二阶段为部分自动驾驶，包括车道内自动驾驶、换道辅助、全自动泊车等；第三阶段为有条件的自动驾驶，包括高速公路自动驾驶、城郊公路自动驾驶、协同式队列行驶、交叉口通行辅助等；第四阶段为完全自动驾驶，包括车路协同控制、市区自动驾驶及无人驾驶等。本发明基于自动驾驶发展的第三阶段，即有条件的自动驾驶，考虑在高速公路中，车辆以无线通讯方式（如LTE-V、Wi-Fi、蓝牙、DSRC等）与通讯范围内其他车辆实时进行通信，大多数车辆以队列形式协同行驶。

[0004] 对现有研究进行分析，大多数车联网环境下的换道模型缺乏对自动驾驶不同发展阶段中控制策略的区别对待，也缺乏对强制换道和非强制换道行为中控制策略的区别对待。对于智能网联汽车第三发展阶段，车辆能够与通讯范围内其他车辆进行实时数据交换与协同驾驶，但是并不能达到完全的自动驾驶。在此阶段中，高速公路内的大多数车辆以队列方式协同行驶，但是势必会产生换道以进入或离开队列的问题。相对于传统高速公路换道模型及完全自动驾驶下的换道模型，本发明针对在智能网联汽车第三发展阶段中高速公路车辆因特殊交通状况而必须尽快换道的强制换道问题，明确了换道车辆以及通信范围内的周边车辆在换道过程中所应做出的反应，为自动驾驶提供支撑。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是基于车辆运行过程的安全性，提供一种车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法，为辅助驾驶和自动驾驶提供支撑。该方法对换道车辆及其他相关车辆的状态进行分析，并基于此对车辆的非强制换道行为进行合理组织，实现非强制换道行为的安全、高效实施。

[0006] 上述的目的通过以下技术方案实现：

[0007] 一种车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法，所述的非强制换道为换道车辆为改善车辆行驶状态，而前方车辆行驶速度较低时，换至交通状态较好的旁道行驶的

行为,该方法为:车联网环境下,在高速公路上行驶的车辆可以通过无线通讯方式与通讯范围内的周边车辆实现车车通信并进行实时的数据交换,当某车辆有非强制换道需求时,该车辆向附近车辆发出请求,获取其他车辆位置、速度信息,根据车辆周边通信范围内不同的交通状态进行判断,对换道车辆的强制换道行为进行控制,实现非强制换道行为的安全、高效实施。

[0008] 所述的车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法,所述数据交换的内容包括车辆位置、行驶速度、加速度,车辆位置包括车辆所在车道以及对应于某一参考点沿高速公路中央分隔带方向的横、纵向距离,在高速公路上行驶的车辆需严格遵守交通规则,包括高速公路最高限速 $v_{\max}$ ,最低限速 $v_{\min}$ ,最大加速度 $a_a$ ,最大减速度 $a_d$ ,最小安全间距 $h_{\text{safe}}$ 等,且以车队形式跟驰行驶时在车队中的车辆速度相等且通过车车联网以相同速度协同行进,且队列中的车辆车头间距不小于安全间距。

[0009] 所述的车联网环境下高速公路车辆非强制换道控制方法,所述根据车辆周边通信范围内不同的交通状态进行判断,对换道车辆的强制换道行为进行控制的方法为:

[0010] 以 $v$ 表示需换道的车辆的速度, $x$ 为其纵向位置; $v_{\text{旁,后}}$ 表示目标车道上纵向位置在换道车辆前方,且距离换道车辆最近的车辆的速度, $x_{\text{旁,后}}$ 为其纵向位置; $v_{\text{旁,前}}$ 表示目标车道上纵向位置在换道车辆后方,且距离换道车辆最近的车辆的速度, $x_{\text{旁,前}}$ 为其纵向位置; $v_{\text{旁,末}}$ 表示目标车道上纵向位置在换道车辆后方,且位于旁道车队队尾的车辆的速度, $x_{\text{旁,末}}$ 为其纵向位置;本车道前车定义为换道车辆所在车道上纵向位置在换道车辆前方,且距离换道车辆最近的车辆,初始状态下 $v_{\text{旁,前}}=v_{\text{旁,后}}=v_{\text{旁,末}}$ ,

[0011] 若旁道上无其他车辆,则立即执行换道;

[0012] 若旁道上有前车而无后车,对旁道前车及自身的状态进行判断:

[0013] ①前车速度大于或等于换道车辆速度且已经满足安全间距条件,即 $v_{\text{旁,前}} \geq v$ 且 $x_{\text{旁,前}} - x \geq h_{\text{safe}}$ ,则立即执行换道;

[0014] ②前车速度大于或等于换道车辆速度但不满足安全间距条件,即 $v_{\text{旁,前}} \geq v$ 且 $x_{\text{旁,前}} - x < h_{\text{safe}}$ ,则换道车辆以最大减速度 $a_f$ 进行减速,当达到以下条件之一时换道车辆停止减速:

[0015] c) 换道车辆达到高速公路最低限速 $v_{\min}$ ;

[0016] d) 与旁道前车达到安全间距,

[0017] 若条件b)先满足,则在满足条件时,即 $x_{\text{旁,前}}' - x' = h_{\text{safe}}$ 时,换道车辆停止减速并执行换道;

[0018] 若条件a)先满足,则换道车辆停止减速并保持 $v_{\min}$ ,直至条件b)满足时执行换道。待换道行为执行完毕后,换道车辆再以最大加速度 $a_a$ 加速至旁道前车速度 $v_{\text{旁,前}}$ ,

[0019] ③前车速度小于换道车速度,即 $v_{\text{旁,前}} < v$ ,则换道车以最大减速度 $a_d$ 减速至 $v_{\text{旁,前}}$ ,在两车速度相等后,视为有前车也有后车的初始状态,重新判断换道条件并按照相应方法执行控制。

[0020] 若旁道上无前车而有后车,若后车速度小于或等于换道车速度且已经满足安全间距条件,即 $v_{\text{旁,后}} \leq v$ 且 $x - x_{\text{旁,后}} \geq h_{\text{safe}}$ ,则换道车辆立即执行换道;否则,换道车辆原则上需要继续跟驰换道车道上的前方车辆,等待旁道上的车队全部超过自己后方可考虑换道;首先对换道车辆速度 $v$ 、换道车道上的前方车辆 $v_{\text{本,前}}$ 及旁道车队速度 $v_{\text{旁}}$ 进行判断,由于为改善车辆行驶状态的非强制换道,则 $v_{\text{旁}}$ 必大于 $v_{\text{本,前}}$ ,且 $v$ 必不小于 $v_{\text{本,前}}$ ,

[0021] 若换道车辆正常跟驰前方车辆,即 $v_{本,前} = v < v_{旁}$ ,则当旁道车队末车行驶至换道车辆前方安全距离外,即 $x_{旁,末}' - x' = h_{safe}$ 时,换道车辆执行换道,待换道行为执行完毕后以最大加速度 $a_a$ 加速至 $v_{旁}$ ;

[0022] 若换道车辆速度大于本车道前车速度但小于旁道车队速度,即 $v_{本,前} < v < v_{旁}$ ,则在旁道车队末车行驶至换道车辆前方安全距离外时进行换道,在换道时,换道车辆需要与前车、旁道车队的末车均保持安全距离,即 $x_{旁,末}' - x' = h_{safe}$ 且 $x_{前}' - x' \geq h_{safe}$ ;

[0023] ①若换道车辆可以继续保持速度 $v$ ,则要想在时间 $t$ 后换道,需要以下不等式组有解:

$$[0024] \quad \begin{cases} (x_{旁,末} + v_{旁}t) - (x + vt) = h_{safe} \\ (x_{本,前} + v_{本,前}t) - (x + vt) \geq h_{safe} \end{cases}$$

[0025] 当以上不等式组有解时,换道车辆在 $t = \frac{h_{safe} - x_{旁,末} + x}{v_{旁} - v}$ 时刻执行换道;否则,换道车辆需要减速方可安全进行换道,继续执行②;

[0026] ②若①中的不等式无解,则需要换道车辆以最大减速度 $a_d$ 进行减速,直至满足以下两个条件之一:

[0027] c) 旁道车队末车行驶至换道车辆前方安全距离外,即 $x_{旁,末}' - x' = h_{safe}$ ;

[0028] d) 速度与本车道前车速度相等,即 $v' = v_{本,前}$ 。

[0029] 若条件a)先满足,则在满足条件时换道车辆停止减速并执行换道;若条件b)先满足,则在满足条件时换道车辆停止减速,保持 $v_{本,前}$ ,直至满足条件a)时换道。待换道完成后,换道车辆以最大加速度 $a_a$ 加速至 $v_{旁,末}$ ;

[0030] 若换道车辆速度大于旁道车队速度,即 $v_{本,前} < v_{旁} \leq v$ ,则换道车辆需要先以最大减速度 $a_d$ 减速至一个小于旁道车队速度的速度,即 $v' < v_{旁}$ ,方可保证旁道车队超过换道车辆,在满足以下条件之一时停止减速:

[0031] c) 旁道车队末车行驶至换道车辆前方安全距离外,即 $x_{旁,末}' - x' = h_{safe}$ ;

[0032] d) 速度与本车道前车速度相等,即 $v' = v_{本,前}$ 。

[0033] 若条件a)先满足,则在满足条件时换道车辆停止减速并执行换道;若条件b)先满足,则换道车辆保持 $v_{本,前}$ ,直至满足条件a)时执行换道。待换道完成后,换道车辆以最大加速度 $a_a$ 加速至 $v_{旁,末}$ 。

[0034] 有益效果:

[0035] 与现有技术相比,本发明的特点在于:

[0036] 本发明特别针对智能网联汽车发展第三阶段,即有条件的自动驾驶条件下,高速公路上的大多数车辆以队列方式协同行驶的状况,更适用于车联网发展的进程;

[0037] 本发明针对车辆因特殊交通状况而必须尽快换道的非强制换道问题,使得车辆的换道过程能够最大限度的减小对其他车辆的影响,在此基础上尽可能最快地实现换道,且保证换道的迅速、安全。

## 附图说明

[0038] 图1是控制流程图;

[0039] 图2是一般情况下双车道高速公路实施例初始状态;

[0040] 图3是双车道高速公路实施例示意图。图3-(a)是无前车也无后车的实施例图;图3-(b)是有前车但无后车的实施例图;图3-(c)是无前车但有后车,且换道车辆换至旁道车队前方的实施例图;图3-(d)是无前车但有后车,且换道车辆换至旁道车队后方的实施例图;图3-(e)是有前车也有后车的实施例图。

### 具体实施方式

[0041] 下面结合具体实施方式,进一步阐明本发明,应理解下述具体实施方式仅用于说明本发明而不用于限制本发明的范围。

[0042] 实施例1:

[0043] 本实施例基于以下假设:

[0044] (1) 实施例处于车车互联的高速公路车联网环境下,各车辆间以专用短程通信(不妨以DSRC为例)技术进行连接,通信范围为300米,可相互实时交换车辆状态信息;

[0045] (2) 信息传输和处理的速度足够快,可视为瞬间完成,过程中数据丢包及传递、处理延迟可忽略;

[0046] (3) 车辆可根据控制策略进行精确的加速、减速操作,并严格遵守安全间距条件;

[0047] (4) 车辆换道过程所需时间不可忽略,但其速度的纵向分速度近似等于其速度;

[0048] (5) 在高速公路上行驶的大部分车辆以队列形式行驶,且车辆之间纵向距离不小于安全间距。

[0049] 图1为车车联网环境下的车辆换道组织控制流程图。双车道高速公路情境的实施例场景见图2,图中车辆1为需要进行换道的车辆,其附近可能会存在慢速行驶的前方车辆队列(图中车辆2与车辆3)、将要换到的车道上的车辆队列(图中车辆4、5、6、7,且7为旁道车队上的末车)。车辆1以速度 $v_1$ 行驶,前方车辆队列以速度 $v_2$ 行驶,相邻车道上的车辆队列以 $v_3$ 行驶。这些车辆遵从最大加速度 $a_a$ 及最大减速度 $a_d$ 。第 $i$ 辆车相对于道路某一参考点的纵向距离为 $x_i$ 。

[0050] 1) 车辆1-7均可实时相互无障碍的进行实时数据交换,数据交换内容包括车辆位置、行驶速度、加速度、车辆驾驶行为(如换道、跟驰)等信息。其中,车辆位置包括车辆所在车道、以及对应于某一的参考点沿高速公路中央分隔带方向的横、纵向距离。这些车辆均严格遵守一定的交通规则,如高速公路最高限速 $v_{max}$ ,最低限速 $v_{min}$ ,最大加速度 $a_a$ ,最大减速度 $a_d$ ,最小安全间距 $h_{safe}$ 等,车辆2-3、车辆4-7均以车队形式跟驰行驶,在车队中的车辆速度相等且通过车车联网以相同速度协同行进,且相互的车头间距不小于安全间距。

[0051] 2) 当车辆1有非强制换道需求时,车辆1向附近车辆发出请求,获取其他车辆位置、速度等信息。非强制换道为车辆1为意图改善车辆行驶状态,而前方车辆行驶速度较低时换至交通状态较好的旁道行驶的行为,即 $v_2 \leq v_1$ ,且 $v_3 > v_2$ 。

[0052] 3) 根据车辆通信范围内不同的交通状态进行判断,若旁道上无车,即前后300米范围内不存在车辆4-7,如图3(a),则可直接换道;若旁道则上有前车而无后车,即前后300米范围内仅有车辆4、5而无车辆6、7,则进入步骤3-1);旁道上无前车而有后车,即前后300米范围内仅有车辆6、7而无车辆4、5,则进入步骤3-2);若旁道上既有前车也有后车,即前后300米范围内存在车辆4-7,则进入步骤3-3)。其中,车辆5为旁道上纵向位置在车辆1前方,且距

离车辆1最近的车辆,即旁道前车;车辆6为旁道上纵向位置在车辆1后方,且距离车辆1最近的车辆,即旁道后车;车辆7为旁道上纵向位置在车辆1后方,且位于所在车队队末的车辆,即旁道末车。

[0053] 3-1) 如图3(b),仅有车辆4、5而无车辆6、7,对车辆1及车辆5的状态进行判断:

[0054] ①若 $v_3 \geq v_1$ 且 $x_5 - x_1 \geq h_{safe}$ ,则立即执行换道;

[0055] ②若 $v_3 \geq v_1$ 且 $x_5 - x_1 < h_{safe}$ ,则车辆1以最大减速度 $a_d$ 进行减速,当达到以下条件之一时车辆1停止加速:

[0056] a) 车辆1达到高速公路最低限速 $v_{min}$ ;

[0057] b) 车辆1与车辆5达到安全间距。

[0058] 若条件b)先满足,即在 $x_5' - x_1' = h_{safe}$ 时,车辆1停止减速并执行换道;若条件a)先满足,则车辆1保持 $v_{min}$ ,直至满足条件b)时执行换道。待换道行为执行完毕后车辆1以最大加速度 $a_a$ 加速至 $v_3$ 。

[0059] ③若 $v_3 < v_1$ ,则车辆1以最大减速度 $a_d$ 减速至 $v_3$ 。在车辆1减速至 $v_3$ 后,重新执行步骤3-1)。

[0060] 3-2) 如图3(c),即仅有车辆6、7而无车辆4、5,则若 $v_3 \leq v_1$ 且 $x_1 - x_6 \geq h_{safe}$ ,则车辆1立即执行换道;否则,进入步骤3-3)。

[0061] 3-3) 在此步骤中,车辆1原则上需要继续跟驰车辆3,等待车辆7超过自己后方可考虑换道,如图3(d)或图3(e)。首先对车辆1的速度 $v_1$ 、车辆2的速度 $v_2$ 及车辆4-7的速度 $v_3$ 进行判断。由于为改善车辆行驶状态的非强制换道,则 $v_3$ 必大于 $v_2$ ,且 $v_1$ 必不小于 $v_2$ 。若 $v_2 = v_1 < v_3$ ,则转入步骤3-4);若 $v_2 < v_1 < v_3$ ,则转入步骤3-5);若 $v_2 < v_3 \leq v_1$ ,则转入步骤3-6)。

[0062] 3-4) 在此步骤中,车辆1正常跟驰车辆3。当车辆7行驶至车辆1前方安全距离外,即 $x_7' - x_1' = h_{safe}$ 时,车辆1即可执行换道,待换道行为执行完毕后以最大加速度 $a_a$ 加速至 $v_3$ 。

[0063] 3-5) 在此步骤中,车辆1速度大于车辆3速度但小于车辆7速度。此时,在车辆7行驶至车辆1前方安全距离外时进行换道。在换道前,车辆1需要与车辆3、车辆7均保持安全距离,即 $x_7' - x_1' = h_{safe}$ 且 $x_3' - x_1' \geq h_{safe}$ 。

[0064] ①若车辆1可以继续保持速度 $v$ ,则要想在时间 $t$ 后换道,需要以下不等式组有解:

$$[0065] \begin{cases} (x_7 + v_3 t) - (x_1 + v_1 t) = h_{safe} \\ (x_3 + v_2 t) - (x_1 + v_1 t) \geq h_{safe} \end{cases}$$

[0066] 当以上不等式组有解时,车辆1在 $t = \frac{h_{safe} - x_7 + x_1}{v_3 - v_1}$ 时刻执行换道;否则,车辆1需要减速方可安全进行换道,执行步骤②;

[0067] ②若①中的不等式无解,则需要车辆1以最大减速度 $a_d$ 进行减速,直至满足以下两个条件之一:

[0068] a) 车辆7行驶至车辆1前方安全距离外,即 $x_7' - x_1' = h_{safe}$ ;

[0069] b) 速度与车辆2速度相等,即 $v_1' = v_2$ 。

[0070] 若条件a)先满足,则车辆1在满足条件时停止减速并执行换道;若条件b)先满足,则车辆1停止减速并保持 $v_2$ ,直至满足条件a)时执行换道。待换道完成后,车辆1以最大加速度 $a_a$ 加速至 $v_3$ 。

[0071] 3-6) 在此步骤中,车辆1速度大于车辆7速度。则车辆1需要先以最大减速度 $a_d$ 减速



至一个小于车辆7速度的速度,即 $v_1' < v_3$ ,方可保证车辆7超过车辆1。在满足以下条件之一车辆1时停止减速:

[0072] a) 车辆7行驶至车辆1前方安全距离外,即 $x_7' - x_1' = h_{\text{safe}}$ ;

[0073] b) 车辆1减速至车辆3速度,即 $v_1' = v_2$ 。

[0074] 若条件a)先满足,则车辆1在满足条件时停止减速并执行换道;若条件b)先满足,则车辆1停止减速并保持 $v_2$ ,直至满足条件a)时执行换道。待换道完成后,车辆1以最大加速度 $a_a$ 加速至 $v_3$ 。

[0075] 应当指出,上述实施实例仅仅是为清楚地说明所作的举例,而并非对实施方式的限定,这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。本实施例中未明确的各组成部分均可用现有技术加以实现。对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

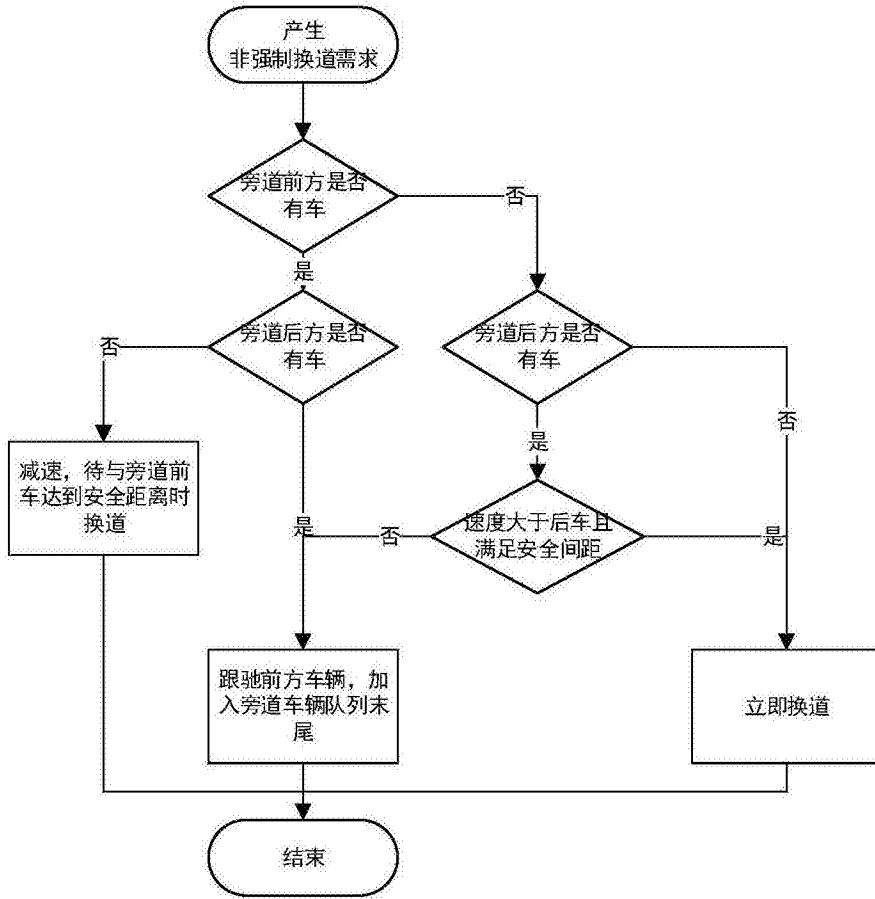


图1

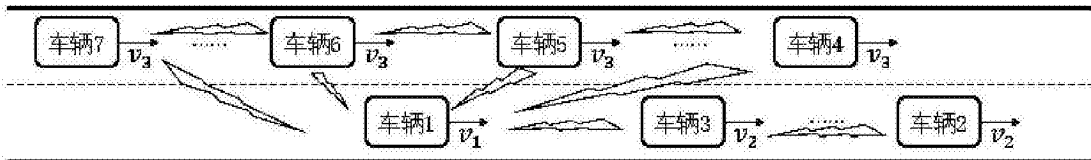


图2

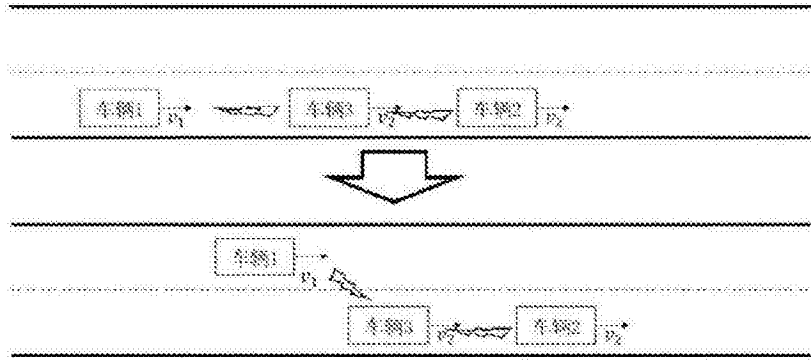


图 3-(a)

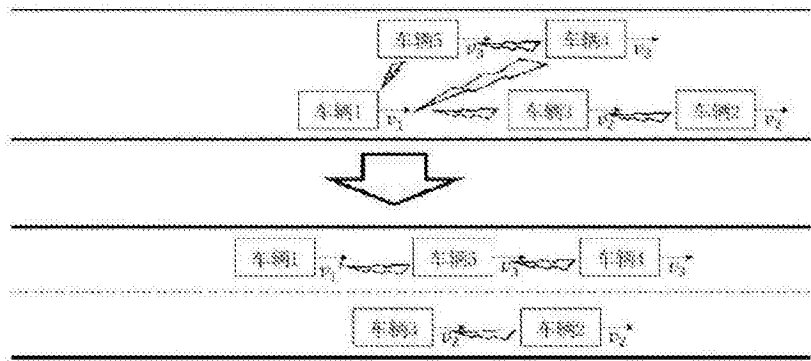


图 3-(b)

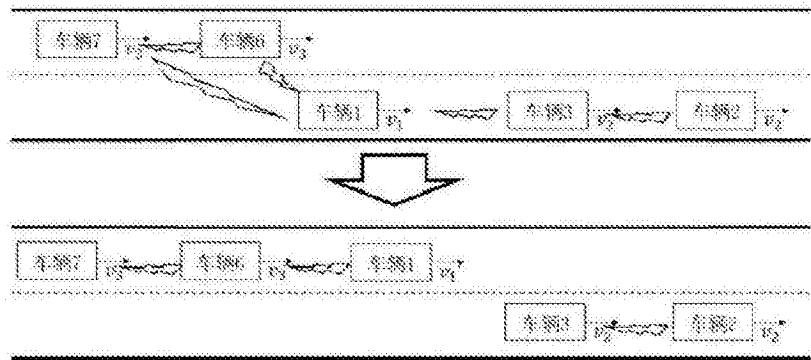


图 3-(c)

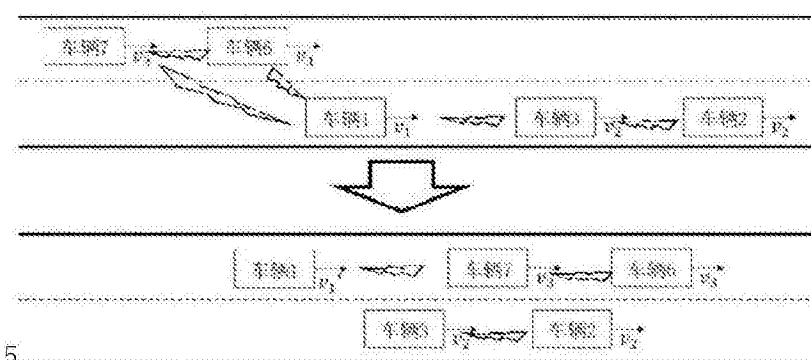


图 3-(d)

5

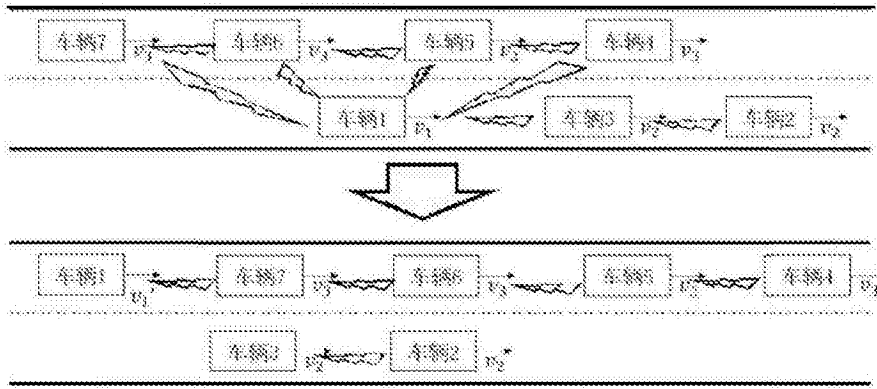


图 3-(e)

图3