



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116129627 B

(45) 授权公告日 2023.12.01

(21) 申请号 202310061678.X

(22) 申请日 2023.01.18

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 116129627 A

(43) 申请公布日 2023.05.16

(73) 专利权人 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 王昊 董长印 熊卓智 王丰  
张家瑞 钟娅凌 李谨成 吕科赞

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限  
公司 32200  
专利代理师 石艳红

(51) Int. Cl.  
G08G 1/00 (2006.01)  
G08G 1/01 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 113345268 A, 2021.09.03
- CN 106991846 A, 2017.07.28
- CN 108447266 A, 2018.08.24
- CN 113808436 A, 2021.12.17
- CN 112907987 A, 2021.06.04
- CN 115320596 A, 2022.11.11
- US 2002158778 A1, 2002.10.31
- DE 102020203440 A1, 2021.04.15
- EP 3650297 A1, 2020.05.13
- CN 107407693 A, 2017.11.28
- WO 2018026733 A1, 2018.02.08

邱志军;杨唐涛;檀基稳;韩海航.网联环境  
下高速公路辅助驾驶车辆编队评估.中国公路学  
报.2019,(第12期),全文.

审查员 张渊博

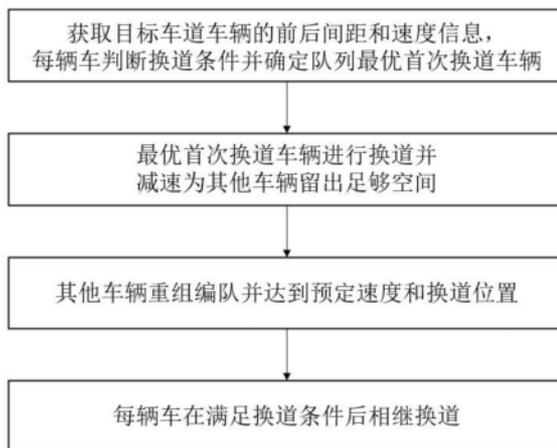
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种智能网联车队下匝道前的协同换道策  
略

(57) 摘要

本发明公开了一种智能网联车队下匝道前的协同换道策略,包括步骤为:智能网联车队获取目标车道车辆的前后间距和速度信息;判断每辆车的换道条件和队列最优首次换道车辆;最优首次换道车辆进行换道并减速为其他车辆留出足够空间;其他车辆重组编队并达到预定速度和换道位置;每辆车在满足换道条件后相继换道。本发明提供的方法可适用于混合交通流且交通密度较大的下匝道前的换道场景,通过充分发挥智能网联车精确感知以及车队协同控制的优势,利用整队的感知和决策增加可换道概率,在抵达下匝道入口前完成换道要求的同时,保证了智能网联车队在换道过程中,以及下匝道前后编队的连续与完整,为未来交通安全高效提供保障。



1. 一种智能网联车队下匝道前的协同换道策略,其特征在於:包括如下步骤:

步骤1、确定最优首次换道车辆:设下匝道前具有紧邻的内侧车道和外侧车道;内侧车道的前方具有下匝道,也称为目标车道;待从下匝道换道的智能网联车队行驶在外侧车道;智能网联车队具有n辆智能网联汽车,且从前至后依次编号为1、2、3、……、i、……、n;其中, $1 \leq i \leq n$ ;智能网联车队中的每辆智能网联汽车均利用自身搭载的传感器,对目标车道自身周围的人工驾驶车的速度以及和与自身的纵向间距进行测定,以确定最优首次换道车辆,设其编号为i,则确定最优首次换道车辆的方法,具体包括如下步骤:

步骤1-1、设定首次换道条件:假设当前时刻第i辆智能网联汽车成功换道至目标车道,目标车道上第i辆智能网联汽车和其后车的预计加速度分别为 $a_i$ 和 $a_{i,r}$ ,当 $a_i$ 和 $a_{i,r}$ 同时满足如下两个条件时,则说明第i辆智能网联汽车和其后车均行驶安全,第i辆智能网联汽车满足首次换道条件:其中:

条件①、 $a_i > a_{\min}$ ;

条件②、 $a_{i,r} > a_{\min}$ ;

式中, $a_{\min}$ 为设定的最小车辆加速度;

其中, $a_i$ 和 $a_{i,r}$ ,具体计算公式为:

$$a_i = F(s_{i,l}, v_{i,l}, v_i)$$

$$a_{i,r} = F(s_{i,r}, v_i, v_{i,r})$$

式中, $F(\cdot)$ 为跟驰函数,表示人工驾驶时根据前后两辆车的间距和速度对后车加速度的调整,反映了人工驾驶车辆的跟车行为;

$s_{i,l}$ 为车辆i和目标车道最近前车的间距;

$s_{i,r}$ 为车辆i和目标车道最近后车的间距;

$v_{i,l}$ 为目标车道车辆i最近前车的速度;

$v_{i,r}$ 为目标车道车辆i最近后车的速度;

$v_i$ 为车辆i的速度;

步骤1-2、计算 $a_i$ 和 $a_{i,r}$ :智能网联车队中的每辆智能网联汽车均利用自身搭载的传感器,对目标车道自身周围的人工驾驶车的速度以及和自身的纵向间距进行测定,并采用跟驰函数计算 $a_i$ 和 $a_{i,r}$ ;

步骤1-3、判断符合首次换道车辆:将步骤1-2计算得到的计算 $a_i$ 和 $a_{i,r}$ ,与步骤1-1设定的首次换道条件进行比较判断,从而得到符合首次换道的车辆;

步骤1-4、确定最优首次换道车辆:当步骤1-3判断得到同一时刻符合首次换道的车辆只有一辆时,则该辆智能网联汽车即为最优首次换道车辆;当步骤1-3判断得到同一时刻符合首次换道的车辆具有两辆及以上时,则确定最靠近智能网联车队队尾的车辆为最优首次换道车辆,从而缩小整个智能网联车队队列换道所需时间和行驶距离;

步骤2、最优首次换道车辆i首次换道及减速,具体包括如下步骤:

步骤2-1、首次换道:步骤1确定的最优首次换道车辆i,从外侧车道以纵向匀速换道至目标车道;

步骤2-2、确定 $a_d$ 和 $t_d$ :根据最优首次换道车辆i在目前车道内前车的车速以及最优首次换道车辆i距离下匝道的距离值,确定最优首次换道车辆i将在目标车道内的匀减速度 $a_d$ 、匀减速时间 $t_d$ 和在 $t_d$ 后的速度 $v_d$ ;

$a_d$ 和 $t_d$ 需同时满足如下条件:

$$\textcircled{1} v_d = v_0 - a_d t_d < v_1$$

$$\textcircled{2} X = x_d + (t_e - t_d) v_d + (n-1)(s_e + l) < S$$

其中:

$$x_d = \frac{v_0 + v_d}{2} t_d$$

$$t_e = \frac{x_d + v_d t_1 + (n-1)(s_e + l) - \Delta x_1}{v_1} + t_c$$

$$t_1 = \frac{(n+1-i)(s_e + l)}{v_0 - v_d}$$

条件①表示换道车辆减速后速度 $v_d$ 小于前车速度 $v_1$ ,则前后车间距将增大,从而使其他车辆可以完成换道;式中, $v_0$ 表示最优首次换道车辆 $i$ 换道至目标车道时的初始速度;

条件②表示整个队列从最优首次换道车辆开始减速到换道完成所行驶的距离 $X$ 小于最优首次换道车辆开始减速时至下匝道入口的距离 $S$ ,也即能在达到下匝道区域前整个队列完成换道;其中, $x_d$ 为最优首次换道车辆减速过程行驶过的距离;

$t_e$ 为从最优首次换道车辆开始减速到队列最后一辆车完成换道所经历的时间;

$(t_e - t_d) v_d$ 为最优首次换道车辆匀速过程行驶过的距离;

$s_e$ 为智能网联车队期望车辆前后间距,为设定值;

$l$ 为智能网联汽车的车辆长度;

$(n-1)(s_e + l)$ 为队列换道完成后在最优首次换道车辆之前的队列长度;

$t_1$ 为编号 $i+1, i+2, \dots, n$ 的车辆在最优首次换道车辆换道后的匀速行驶时间;

$t_c$ 表示最优首次换道车辆换道时间; $\Delta x_1$ 表示最优首次换道车辆在目标车道减速开始时与前车纵向上的距离;

步骤2-3、减速:位于目标车道内的最优首次换道车辆 $i$ 以 $a_d$ 匀减速行驶,并在设定匀减速时间 $t_d$ 后,达到设定速度 $v_d$ ;

步骤2-4、匀速:以速度 $v_d$ 在目标车道内匀速行驶;

步骤3、编队减速:位于外侧车道的 $n-1$ 辆智能网联汽车,进行重组编队,并均分别按照各自的设定减速度匀减速行驶,并分别在各自的设定时间内,到达各自的预计到达位置,且均达到速度 $v_d$ ;

编队减速的方法,具体为:

A、位于外侧车道的第 $i+1, i+2, \dots, n$ 辆智能网联汽车,首先保持 $v_0$ 的速度匀速行驶,当时间过去 $t_1$ 时,以 $a_d$ 的加速度减速到 $v_d$ 后保持匀速;

B、位于外侧车道的第 $1, 2, \dots, i-1$ 辆智能网联汽车,首先保持 $v_0$ 的速度匀速行驶,当时间过去 $t_2$ 时,以 $a_d$ 的加速度减速到 $v_d$ 后保持匀速,其中 $t_2$ 为:

$$t_2 = \frac{(n-i)(s_e + l)}{v_0 - v_d}$$

其中,位于外侧车道的第 $j$ 辆智能网联汽车的预计到达位置的计算方法为:

位于外侧车道的第 $j$ 辆智能网联汽车的预计到达位置的计算方法为:

A、当 $1 \leq j \leq i-1$ 时,预计到达位置在最优首次换道车辆相邻车道的下游 $(n-j)(s_e + l)$ 处;

B、当 $i+1 \leq j \leq n$ 时,预计到达位置在最优首次换道车辆相邻车道的下游 $(n-j+1)(s_e+1)$ 处,从而能保持纵向匀速进行换道;

步骤4、二次换道:步骤3重新编队后的智能网联新车队中的每辆智能网联汽车均利用自身搭载的传感器,对目标车道自身周围的人工驾驶车的速度以及和与自身的纵向间距进行测定,以确定满足二次换道的智能网联汽车;接着,满足二次换道的智能网联汽车均以纵向匀速进行二次换道;

位于外侧车道的第 $j$ 辆智能网联汽车,满足二次换道的条件为:

条件①、 $\Delta x_{j,1} > 0$ ;

条件②、 $v_1 > v_j$ ;

式中, $\Delta x_{j,1}$ 为第 $j$ 辆智能网联汽车与目标车道上离已完成换道车辆最近前车的测量纵向间距, $v_j$ 为第 $j$ 辆智能网联汽车的速度, $v_1$ 为前车速度;

若第 $j$ 辆智能网联汽车同时满足条件①和条件②,第 $j$ 辆智能网联汽车能进行换道,否则继续保持匀速行驶,等待换道时机;

步骤5、位于外侧车道的剩余智能网联汽车,均按照速度 $v_d$ 进行匀速行驶,并均重复步骤4,直至位于外侧车道的所有智能网联汽车,均在下匝道前完成向目标车道的换道。

## 一种智能网联车队下匝道前的协同换道策略

### 技术领域

[0001] 本发明涉及智能交通控制领域,特别是一种智能网联车队下匝道前的协同换道策略。

### 背景技术

[0002] 随着机动车保有量的增加,交通安全和交通拥堵问题日益严重。而智能网联车可以通过对周围环境的精确感知和精准控制大幅度减少因人为失误导致的事故与拥堵。而具有相同目的地或路径有重叠的智能网联车可以采用CACC(Cooperative Adaptive Cruise Control)编队运行,大幅度增加通行能力,并且减少排放和能源消耗。但是使智能网联车渗透率达到100%仍有很大困难,因此由智能网联车和人工驾驶车辆所组成的混合交通流仍会长期存在。目前的智能网联车在跟随人工驾驶车行驶时会从CACC降级为ACC(Adaptive Cruise Control),导致通行效率、安全性和稳定性的降低,因此如何保障队列在运行过程的连续性与完整性十分重要。

[0003] 而目前针对智能网联车队的换道方法主要有两种,分别为整体式换道和相继式换道。但这两种换道方式所需要的车间距较大,在交通流密度较大的场景下常常难以找到合适的换道间隙。若队列需要下匝道,可能会因为没有合适的间隙错过匝道口,或是为强制下匝道而打乱队列,大幅度降低智能网联车队舒缓交通流、提高通行效率的能力。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是针对上述现有技术的不足,而提供一种智能网联车队下匝道前的协同换道策略,该智能网联车队下匝道前的协同换道策略能在较高交通密度环境中车队能够找到合适的间隙,安全有序的进行换道,并使智能网联车队在换道前后都能编队行驶,保障了道路交通安全、高效、平稳的状态。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:

[0006] 一种智能网联车队下匝道前的协同换道策略,包括如下步骤。

[0007] 步骤1、确定最优首次换道车辆:设下匝道前具有紧邻的内侧车道和外侧车道;内侧车道的前方具有下匝道,也称为目标车道;待从下匝道换道的智能网联车队行驶在外侧车道;智能网联车队具有n辆智能网联汽车,且从前至后依次编号为1、2、3、……、i、……、n;其中, $1 \leq i \leq n$ ;智能网联车队中的每辆智能网联汽车均利用自身搭载的传感器,对目标车道自身周围的人工驾驶车的速度以及和与自身的纵向间距进行测定,以确定最优首次换道车辆,设其编号为i。

[0008] 步骤2、最优首次换道车辆i首次换道及减速,具体包括如下步骤:

[0009] 步骤2-1、首次换道:步骤1确定的最优首次换道车辆i,从外侧车道以纵向匀速换道至目标车道。

[0010] 步骤2-2、确定 $a_d$ 和 $t_d$ :根据最优首次换道车辆i在目前车道内前车的车速以及最优首次换道车辆i距离下匝道的距离值,确定最优首次换道车辆i将在目标车道内的匀减速速度

$a_d$ 、匀减速时间 $t_d$ 和在 $t_d$ 后的速度 $v_d$ 。

[0011] 步骤2-3、减速:位于目标车道内的最优首次换道车辆 $i$ 以 $a_d$ 匀减速行驶,并在设定匀减速时间 $t_d$ 后,达到设定速度 $v_d$ ;

[0012] 步骤2-4、匀速:以速度 $v_d$ 在目标车道内匀速行驶。

[0013] 步骤3、编队减速:位于外侧车道的 $n-1$ 辆智能网联汽车,进行重组编队,并均分别按照各自的设定减速度匀减速行驶,并分别在各自的设定时间内,均达到速度 $v_d$ 。

[0014] 步骤4、二次换道:步骤3重新编队后的智能网联新车队中的每辆智能网联汽车均利用自身搭载的传感器,对目标车道自身周围的人工驾驶车的速度以及和与自身的纵向间距进行测定,以确定满足二次换道的智能网联汽车;接着,满足二次换道的智能网联汽车均以纵向匀速进行二次换道。

[0015] 步骤5、位于外侧车道的剩余智能网联汽车,均按照速度 $v_d$ 进行匀速行驶,并均重复步骤4,直至位于外侧车道的所有智能网联汽车,均在下匝道前完成向目标车道的换道。

[0016] 步骤1、确定最优首次换道车辆的方法,具体包括如下步骤:

[0017] 步骤1-1、设定首次换道条件:假设当前时刻第 $i$ 辆智能网联汽车成功换道至目标车道,目标车道上第 $i$ 辆智能网联汽车和其后车的预计加速度分别为 $a_i$ 和 $a_{i,r}$ ,当 $a_i$ 和 $a_{i,r}$ 同时满足如下两个条件时,则说明第 $i$ 辆智能网联汽车和其后车均行驶安全,第 $i$ 辆智能网联汽车满足首次换道条件:其中:

[0018] 条件①、 $a_i > a_{\min}$ 。

[0019] 条件②、 $a_{i,r} > a_{\min}$ 。

[0020] 式中, $a_{\min}$ 为设定的最小车辆加速度。

[0021] 步骤1-2、计算 $a_i$ 和 $a_{i,r}$ :智能网联车队中的每辆智能网联汽车均利用自身搭载的传感器,对目标车道自身周围的人工驾驶车的速度以及和自身的纵向间距进行测定,并采用跟驰函数计算 $a_i$ 和 $a_{i,r}$ 。

[0022] 步骤1-3、判断符合首次换道车辆:将步骤1-2计算得到的计算 $a_i$ 和 $a_{i,r}$ ,与步骤1-1设定的首次换道条件进行比较判断,从而得到符合首次换道的车辆。

[0023] 步骤1-4、确定最优首次换道车辆:当步骤1-3判断得到同一时刻符合首次换道的车辆只有一辆时,则改该辆智能网联汽车即为最优首次换道车辆;当步骤1-3判断得到同一时刻符合首次换道的车辆具有两辆及以上时,则确定最靠近智能网联车队队尾的车辆为最优首次换道车辆,从而缩小整个智能网联车队队列换道所需时间和行驶距离。

[0024] 步骤1-1中, $a_i$ 和 $a_{i,r}$ ,具体计算公式为:

[0025]  $a_i = F(s_{i,l}, v_{i,l}, v_i)$

[0026]  $a_{i,r} = F(s_{i,r}, v_i, v_{i,r})$

[0027] 式中, $F(\cdot)$ 为跟驰函数,表示人工驾驶时根据前后两辆车的间距和速度对后车加速度的调整,反映了人工驾驶车辆的跟车行为。

[0028]  $s_{i,l}$ 为车辆 $i$ 和目标车道最近前车的间距。

[0029]  $s_{i,r}$ 为车辆 $i$ 和目标车道最近后车的间距。

[0030]  $v_{i,l}$ 为目标车道车辆 $i$ 最近前车的速度。

[0031]  $v_{i,r}$ 为目标车道车辆 $i$ 最近后车的速度。

[0032]  $v_i$ 为车辆 $i$ 的速度。

[0033] 步骤2-2中,  $a_d$ 和 $t_d$ 需同时满足如下条件:

[0034] ① $v_d = v_0 - a_d t_d < v_1$

[0035] ② $X = x_d + (t_e - t_d) v_d + (n-1)(s_e + l) < S$

[0036] 其中:

[0037] 
$$x_d = \frac{v_0 + v_d}{2} t_d$$

[0038] 
$$t_e = \frac{x_d + v_d t_1 + (n-1)(s_e + l) - \Delta x_1}{v_1} + t_c$$

[0039] 
$$t_1 = \frac{(n+1-i)(s_e + l)}{v_0 - v_d}$$

[0040] 条件①表示换道车辆减速后速度 $v_d$ 小于前车速度 $v_1$ ,则前后车间距将增大,从而使其他车辆可以完成换道;式中, $v_0$ 表示最优首次换道车辆 $i$ 换道至目标车道时的初始速度。

[0041] 条件②表示整个队列从最优首次换道车辆开始减速到换道完成所行驶的距离 $X$ 小于最优首次换道车辆开始减速时至下匝道入口的距离 $S$ ,也即能在达到下匝道区域前整个队列完成换道;其中, $x_d$ 为最优首次换道车辆减速过程行驶过的距离。

[0042]  $t_e$ 为从最优首次换道车辆开始减速到队列最后一辆车完成换道所经历的时间。

[0043]  $(t_e - t_d) v_d$ 为最优首次换道车辆匀速过程行驶过的距离。

[0044]  $s_e$ 为智能网联车队期望车辆前后间距,为设定值。

[0045]  $l$ 为智能网联汽车的车辆长度。

[0046]  $(n-1)(s_e + l)$ 为队列换道完成后在最优首次换道车辆之前的队列长度。

[0047]  $t_1$ 为编号 $i+1, i+2, \dots, n$ 的车辆在最优首次换道车辆换道后的匀速行驶时间。

[0048]  $t_c$ 表示最优首次换道车辆换道时间; $\Delta x_1$ 表示最优首次换道车辆在目标车道减速开始时与前车纵向上的距离。

[0049] 步骤3中编队减速的方法,具体为:

[0050] A、位于外侧车道的第 $i+1, i+2, \dots, n$ 辆智能网联汽车,首先保持 $v_0$ 的速度匀速行驶,当时间过去 $t_1$ 时,以 $a_d$ 的加速度减速到 $v_d$ 后保持匀速。

[0051] B、位于外侧车道的第 $1, 2, \dots, i-1$ 辆智能网联汽车,首先保持 $v_0$ 的速度匀速行驶,当时间过去 $t_2$ 时,以 $a_d$ 的加速度减速到 $v_d$ 后保持匀速,其中 $t_2$ 为:

[0052] 
$$t_2 = \frac{(n-i)(s_e + l)}{v_0 - v_d}$$

[0053] 位于外侧车道的 $n-1$ 辆智能网联汽车,进行重组编队,并均分别按照各自的设定减速度匀减速行驶,并分别在各自的设定时间内到达各自的预计到达位置,且均达到速度 $v_d$ ;其中,位于外侧车道的第 $j$ 辆智能网联汽车的预计到达位置的计算方法为:

[0054] A、当 $1 \leq j \leq i-1$ 时,预计到达位置在最优首次换道车辆相邻车道的下游 $(n-j)(s_e + l)$ 处。

[0055] B、当 $i+1 \leq j \leq n$ 时,预计到达位置在最优首次换道车辆相邻车道的下游 $(n-j+1)(s_e + l)$ 处,从而能保持纵向匀速进行换道。

[0056] 步骤4中,位于外侧车道的第 $j$ 辆智能网联汽车,满足二次换道的条件为:

[0057] 条件①、 $\Delta x_{j,1} > 0$ ;

[0058] 条件②、 $v_1 > v_j$ ;

[0059] 式中,  $\Delta x_{j,1}$ 为第j辆智能网联汽车与目标车道上离已完成换道车辆最近前车的测量纵向间距,  $v_j$ 为第j辆智能网联汽车的速度,  $v_1$ 为前车速度。

[0060] 若第j辆智能网联汽车同时满足条件①和条件②, 第j辆智能网联汽车能进行换道, 否则继续保持匀速行驶, 等待换道时机。

[0061] 本发明具有如下有益效果: 本发明充分发挥智能网联车队协同感知和决策的优势, 利用整队感知并判断换道条件, 进而选取优先换道车辆的方式, 可最大程度上在较大密度车流中找出合适间隙; 采用单车优先换道并以特定减速方式运动的策略, 既为其他车辆的换道制造条件, 又确保整个换道过程可以在抵达下匝道之前完成; 期间队列其余车辆进行重组编队, 最大程度保证编队行驶, 并设定预定位置和速度, 保证后续换道的安全与效率。本发明提供的方法所需初始车辆间隙小, 并且保证了智能网联车队在换道过程中, 以及下匝道前后编队的连续与完整, 为未来交通安全高效提供保障。

## 附图说明

[0062] 图1是本发明智能网联车队下匝道前的协同换道策略的结构示意图。

[0063] 图2是本发明实施例的示例中交通初始状况的示意图。

[0064] 图3是本发明实施例的示例中优先换道车辆换道并减速的示意图。

[0065] 图4是本发明实施例的示例中队列其余车辆重组编队的示意图。

[0066] 图5是本发明实施例的示例中队列其余车辆相继换道的示意图。

## 具体实施方式

[0067] 下面结合附图和具体较佳实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0068] 本发明的描述中, 需要理解的是, 术语“左侧”、“右侧”、“上部”、“下部”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系, 仅是为了便于描述本发明和简化描述, 而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作, “第一”、“第二”等并不表示零部件的重要程度, 因此不能理解为对本发明的限制。本实施例中采用的具体尺寸只是为了举例说明技术方案, 并不限制本发明的保护范围。

[0069] 如图1所示, 一种智能网联车队下匝道前的协同换道策略,

[0070] 步骤1、确定最优首次换道车辆

[0071] 设下匝道前具有紧邻的内侧车道和外侧车道; 内侧车道的内侧前方具有下匝道, 也称为目标车道; 待从下匝道换道的智能网联车队行驶在外侧车道; 智能网联车队具有n辆智能网联汽车, 且从前至后依次编号为1、2、3、……、i、……、n; 其中,  $1 \leq i \leq n$ ; 智能网联车队中的每辆智能网联汽车均利用自身搭载的传感器, 对目标车道自身周围的人工驾驶车的速度以及和与自身的纵向间距进行测定, 以确定最优首次换道车辆, 设其编号为i。

[0072] 因而, 上述确定最优首次换道车辆的方法, 具体包括如下步骤。

[0073] 步骤1-1、设定首次换道条件: 假设当前时刻第i辆智能网联汽车成功换道至目标车道, 目标车道上第i辆智能网联汽车和其后车的预计加速度分别为 $a_{i1}$ 和 $a_{ir}$ , 当 $a_{i1}$ 和 $a_{ir}$ 同时满足如下两个条件时, 则说明第i辆智能网联汽车和其后车均行驶安全, 第i辆智能网联汽车满足首次换道条件: 其中:

[0074] 条件①、 $a_i > a_{\min}$ , 其中,  $a_i$  的计算公式为:

$$[0075] \quad a_i = F(s_{i,l}, v_{i,l}, v_i)$$

[0076] 式中,  $F(\cdot)$  为跟驰函数, 表示人工驾驶时根据前后两辆车的间距和速度对后车加速度的调整, 反映了人工驾驶车辆的跟车行为。

[0077]  $s_{i,l}$  为车辆  $i$  和目标车道最近前车的间距。

[0078]  $v_{i,l}$  为目标车道车辆  $i$  最近前车的速度。

[0079]  $v_i$  为车辆  $i$  的速度。

[0080]  $a_{\min}$  为设定的最小车辆加速度。

[0081] 条件②、 $a_{i,r} > a_{\min}$ ; 其中,  $a_{i,r}$  的计算公式为:

$$[0082] \quad a_{i,r} = F(s_{i,r}, v_i, v_{i,r})$$

[0083] 式中,  $s_{i,r}$  为车辆  $i$  和目标车道最近后车的间距。

[0084]  $v_{i,r}$  为目标车道车辆  $i$  最近后车的速度。

[0085] 步骤1-2、计算  $a_i$  和  $a_{i,r}$ : 智能网联车队中的每辆智能网联汽车均利用自身搭载的传感器, 对目标车道自身周围的人工驾驶车的速度以及和自身的纵向间距进行测定, 并采用跟驰函数计算  $a_i$  和  $a_{i,r}$ 。

[0086] 步骤1-3、判断符合首次换道车辆: 将步骤1-2计算得到的计算  $a_i$  和  $a_{i,r}$ , 与步骤1-1设定的首次换道条件进行比较判断, 从而得到符合首次换道的车辆。

[0087] 步骤1-4、确定最优首次换道车辆: 当步骤1-3判断得到同一时刻符合首次换道的车辆只有一辆时, 则改该辆智能网联汽车即为最优首次换道车辆; 当步骤1-3判断得到同一时刻符合首次换道的车辆具有两辆及以上时, 则确定最靠近智能网联车队队尾的车辆为最优首次换道车辆, 从而缩小整个智能网联车队队列换道所需时间和行驶距离。

[0088] 上述跟驰函数  $F(\cdot)$  含有3个参数, 每个参数的计算方法均为现有技术, 以向前相邻两辆车  $k-1$  和  $k$  为例, 则跟驰函数  $F(\cdot)$  中的3个参数分别为前后两车的间距  $s_{k-1,k}$ , 前车速度  $v_{k-1}$ , 后车速度  $v_k$ ,  $F(\cdot)$  具体形式如下:

$$[0089] \quad F(s_{k-1,k}, v_{k-1}, v_k) = \alpha (V(s_{k-1,k}) - v_k) + \beta (v_{k-1} - v_k)$$

$$[0090] \quad V(s_{k-1,k}) = \begin{cases} 0, & s \leq s_{st} \\ f_v(s_{k-1,k}), & s_{st} < s_{k-1,k} < s_{go} \\ v_{\max}, & s \geq s_{go} \end{cases}$$

$$[0091] \quad f_v(s_{k-1,k}) = \frac{v_{\max}}{2} \left( 1 - \cos \left( \pi \frac{s_{k-1,k} - s_{st}}{s_{go} - s_{st}} \right) \right)$$

[0092] 式中,  $\alpha$ 、 $\beta$  为待定系数,  $V(s_{k-1,k})$  表示当前后车辆间距为  $s_{k-1,k}$  时后车期望达到的速度,  $s_{st}$  为静态安全间距,  $v_{\max}$  为最大速度,  $s_{go}$  为维持最大速度所需的间距。以上参数均可根据实际路段和具体场景, 基于人工驾驶车辆轨迹进行标定。

[0093] 在本实施例中, 初始交通状况如图2所示, 车队中共有5辆智能网联车, 编号从下游到上游依次为1、2、3、4、5, 每辆车长  $l = 5\text{m}$ , 均以速度  $v_e = 25\text{m/s}$ , 前后车辆间距  $s_e = 20\text{m}$  行驶。每辆车测得的目标车道和自身紧邻的前后车辆纵向间距  $s_{i,l}$ 、 $s_{i,r}$  以及速度  $v_{i,l}$ 、 $v_{i,r}$  为:

[0094] $s_{1,l} = 35\text{m}$	$s_{2,l} = 60\text{m}$	$s_{3,l} = 5\text{m}$	$s_{4,l} = 30\text{m}$	$s_{5,l} = 55\text{m}$
$s_{1,r} = 35\text{m}$	$s_{2,r} = 10\text{m}$	$s_{3,r} = 55\text{m}$	$s_{4,r} = 30\text{m}$	$s_{5,r} = 10\text{m}$
$v_{1,l} = 25\text{m/s}$	$v_{2,l} = 25\text{m/s}$	$v_{3,l} = 25\text{m/s}$	$v_{4,l} = 25\text{m/s}$	$v_{5,l} = 25\text{m/s}$

$v_{1,r}=25\text{m/s}$	$v_{3,r}=25\text{m/s}$	$v_{3,r}=27\text{m/s}$	$v_{4,r}=27\text{m/s}$	$v_{5,r}=27\text{m/s}$
------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

[0095] 每辆车计算换道条件,其中,根据人工驾驶车辆实际轨迹对跟驰函数进行标定,确定系数 $\alpha=0.6$ 、 $\beta=0.9$ ,静态安全间距 $s_{st}=5\text{m}$ ,最大速度 $v_{\max}=30\text{m/s}$ ,维持最大速度所需的间距 $s_{g_0}=35\text{m}$ ,则假设每辆车换道之后,其后车和自身预计加速度 $a_{i,r}$ 和 $a_i$ 为:

[0096]	$a_{1,r} =$ $3\text{m/s}^2$	$a_{2,r} =$ $-13.8\text{m/s}^2$	$a_{3,r} =$ $1.8\text{m/s}^2$	$a_{4,r} =$ $-1.2\text{m/s}^2$	$a_{5,r} =$ $-16.8\text{m/s}^2$
	$a_1 =$ $3\text{m/s}^2$	$a_2 =$ $3\text{m/s}^2$	$a_3 =$ $-15\text{m/s}^2$	$a_4 =$ $1.8\text{m/s}^2$	$a_5 =$ $3\text{m/s}^2$

[0097] 当且仅当① $a_{i,r} > a_{\min}$  ② $a_i > a_{\min}$ 同时满足时,车辆*i*才满足换道条件,其中,本实施例考虑一般车辆性能, $a_{\min} = -5\text{m/s}^2$ ,因此只有编号为1的车以及编号为4的车可以换道。而编号为4的车离车尾更近,因此选择其作为最优首次换道车辆。

[0098] 步骤2、最优首次换道车辆*i*首次换道及减速,具体包括如下步骤:

[0099] 步骤2-1、首次换道:步骤1确定的最优首次换道车辆*i*,从外侧车道以纵向匀速换道至目标车道。换道完成后,利用地图获取其和下匝道入口的距离,并且实时利用传感器获取和前车的间距,并通过V2V通信技术将间距和自身速度发送给其他智能网联车。

[0100] 步骤2-2、确定 $a_d$ 和 $t_d$ :根据最优首次换道车辆*i*在目前车道内前车的车速以及最优首次换道车辆*i*距离下匝道的距离值,确定最优首次换道车辆*i*将在目标车道内的匀减速速度 $a_d$ 、匀减速时间 $t_d$ 和在 $t_d$ 后的速度 $v_d$ 。

[0101] 上述 $a_d$ 和 $t_d$ 需同时满足如下条件:

[0102] ① $v_d = v_0 - a_d t_d < v_1$

[0103] ② $X = x_d + (t_e - t_d) v_d + (n-1)(s_e + l) < S$

[0104] 其中:

[0105]  $x_d = \frac{v_0 + v_d}{2} t_d$

[0106]  $t_e = \frac{x_d + v_d t_1 + (n-1)(s_e + l) - \Delta x_1}{v_l} + t_c$

[0107]  $t_1 = \frac{(n+1-i)(s_e + l)}{v_0 - v_d}$

[0108] 条件①表示换道车辆减速后速度 $v_d$ 小于前车速度 $v_1$ ,则前后车间距将增大,从而使其他车辆可以完成换道;式中, $v_0$ 表示最优首次换道车辆*i*换道至目标车道时的初始速度。

[0109] 条件②表示整个队列从最优首次换道车辆开始减速到换道完成所行驶的距离 $X$ 小于最优首次换道车辆开始减速时至下匝道入口的距离 $S$ ,也即能在达到下匝道区域前整个队列完成换道;其中, $x_d$ 为最优首次换道车辆减速过程行驶过的距离。

[0110]  $t_e$ 为从最优首次换道车辆开始减速到队列最后一辆车完成换道所经历的时间。

[0111]  $(t_e - t_d) v_d$ 为最优首次换道车辆匀速过程行驶过的距离。

[0112]  $s_e$ 为智能网联车队期望车辆前后间距,设为定值。

[0113]  $l$ 为智能网联汽车的车辆长度。

[0114]  $(n-1)(s_e+1)$  为队列换道完成后在最优首次换道车辆之前的队列长度。

[0115]  $t_1$  为编号  $i+1, i+2, \dots, n$  的车辆在最优首次换道车辆换道后的匀速行驶时间。

[0116]  $t_c$  表示最优首次换道车辆换道时间;  $\Delta x_1$  表示最优首次换道车辆在目标车道减速开始时与前车纵向上的距离。

[0117] 步骤2-3、减速:位于目标车道内的最优首次换道车辆  $i$  以  $a_d$  匀减速行驶,并在设定匀减速时间  $t_d$  后,达到设定速度  $v_d$ ;

[0118] 步骤2-4、匀速:以速度  $v_d$  在目标车道内匀速行驶。

[0119] 在本实施例中,优先换道车辆的换道并减速如图3所示,车道宽度为  $3.75\text{m}$ ,车辆首先从初始速度  $v_0=25\text{m/s}$  开始,保持纵向匀速,横向首先以  $1.78\text{m/s}^2$  的加速度加速  $1.125\text{s}$  后达到  $2\text{m/s}$ ,维持匀速  $0.75\text{s}$  后以  $-1.78\text{m/s}^2$  的加速度减速到  $0$  完成换道,换道时间为  $t_c=3\text{s}$ ,之后其他车辆的换道也遵循此方法。此时测定和车道2前车的距离  $\Delta x_1=30\text{m}$ ,和下匝道入口的距离  $S=500\text{m}$ ,之后以  $a_d$  的加速度开始做匀减速运动,匀减速时间  $t_d$ ,速度达到  $v_d$ ,  $a_d$  和  $t_d$  同时满足条件①和条件②即可,具体取值可以根据实际情况的需求选择,本实施例中  $a_d=-2\text{m/s}^2$ ,  $t_d=4\text{s}$ ,  $v_d=17\text{m/s}$ ,判断是否满足条件:

$$[0120] \quad v_d < v_1 = 25\text{m/s}$$

$$[0121] \quad x_d = \frac{v_0 + v_d}{2} t_d = 84\text{m}$$

$$[0122] \quad t_1 = \frac{(n+1-k)(s_e+l)}{v_0 - v_d} = 6.25\text{s}$$

$$[0123] \quad t_e = \frac{x_d + v_d t_1 + (n-1)(s_e+l) - \Delta x_1}{v_l} + t_c = 13.41\text{s}$$

$$[0124] \quad x_d + (t_e - t_d) v_d + (n-1)(s_e+l) = 343.97\text{m} < S = 500\text{m}$$

[0125] 因此满足条件①和条件②,减速完成后,该车保持  $v_d$  匀速行驶。由于在换道之前已经判断换道条件,前后车间距和速度合适,后车状态在可控范围内,而当优先换道车辆减速后,后车也会响应减速,前后车间距保持适当,不会出现碰撞。

[0126] 步骤3、编队减速:位于外侧车道的  $n-1$  辆智能网联汽车,进行重组编队,并均分别按照各自的设定减速度匀减速行驶,并分别在各自的设定时间内,均达到速度  $v_d$ 。

[0127] 步骤3中编队减速的方法,具体为:

[0128] A、位于外侧车道的第  $i+1, i+2, \dots, n$  辆智能网联汽车,首先保持  $v_0$  的速度匀速行驶,当时间过去  $t_1$  时,以  $a_d$  的加速度减速到  $v_d$  后保持匀速。

[0129] B、位于外侧车道的第  $1, 2, \dots, i-1$  辆智能网联汽车,首先保持  $v_0$  的速度匀速行驶,当时间过去  $t_2$  时,以  $a_d$  的加速度减速到  $v_d$  后保持匀速,其中  $t_2$  为:

$$[0130] \quad t_2 = \frac{(n-i)(s_e+l)}{v_0 - v_d}$$

[0131] 在本实施例中,队列的重组编队如图4所示,对于车辆编号  $i=5$  的车辆首先保持  $v_0=25\text{m/s}$  的速度匀速行驶,当时间过去  $t_1=6.25\text{s}$  时,以  $a_d=-2\text{m/s}^2$  的加速度减速到  $v_d=17\text{m/s}$  后保持匀速;

[0132] 对于车辆编号  $i=1, 2, 3$  的车辆首先保持  $v_0=25\text{m/s}$  的速度匀速行驶,当时间过去

$t_2 = \frac{(n-k)(s_e+l)}{v_0-v_d} = 3.125s$ 时,以 $a_d = -2m/s^2$ 的加速度减速到 $v_d = 17m/s$ 后保持匀速。

[0133] 此时,对于车辆编号 $i = 5$ 的车辆,预计位置在优先换道车辆相邻车道的下游 $25(n-i+1) = 25m$ ;对于车辆编号 $i = 1, 2, 3$ 的车辆,预计位置在优先换道车辆相邻车道的下游 $25(n-i)m$ 。并且所有车辆都到达和优先换道车辆相同的速度 $v_d = 17m/s$ 。

[0134] 步骤4、二次换道:步骤3重新编队后的智能网联新车队中的每辆智能网联汽车均利用自身搭载的传感器,对目标车道自身周围的人工驾驶车的速度以及和与自身的纵向间距进行测定,以确定满足二次换道的智能网联汽车;接着,满足二次换道的智能网联汽车均以纵向匀速进行二次换道。

[0135] 步骤5、位于外侧车道的剩余智能网联汽车,均按照速度 $v_d$ 进行匀速行驶,并均重复步骤4,直至位于外侧车道的所有智能网联汽车,均在下匝道前完成向目标车道的换道。

[0136] 位于外侧车道的 $n-1$ 辆智能网联汽车,进行重组编队,并均分别按照各自的设定减速度匀减速行驶,并分别在各自的设定时间内到达各自的预计到达位置,且均达到速度 $v_d$ ;其中,位于外侧车道的第 $j$ 辆智能网联汽车的预计到达位置的计算方法为:

[0137] A、当 $1 \leq j \leq i-1$ 时,预计到达位置在最优首次换道车辆相邻车道的下游 $(n-j)(s_e+1)$ 处。

[0138] B、当 $i+1 \leq j \leq n$ 时,预计到达位置在最优首次换道车辆相邻车道的下游 $(n-j+1)(s_e+1)$ 处,从而能保持纵向匀速进行换道。

[0139] 步骤4中,位于外侧车道的第 $j$ 辆智能网联汽车,满足二次换道的条件为:

[0140] 条件①、 $\Delta x_{j,1} > 0$ ;

[0141] 条件②、 $v_1 > v_j$ ;

[0142] 式中, $\Delta x_{j,1}$ 为第 $j$ 辆智能网联汽车与目标车道上离已完成换道车辆最近前车的测量纵向间距, $v_j$ 为第 $j$ 辆智能网联汽车的速度, $v_1$ 为前车速度。

[0143] 若第 $j$ 辆智能网联汽车同时满足条件①和条件②,第 $j$ 辆智能网联汽车能进行换道,否则继续保持匀速行驶,等待换道时机。

[0144] 在本实施例中,其余车辆相继换道如图5所示,在编队重组完成后,前车速度 $v_1 = 25m/s$ ,而编号为 $j$ 的车辆速度 $v_j = 17m/s$ ,测量与前车间距 $\Delta x_{j,1}$ 为:

[0145] 

$\Delta x_{1,1} = 73.72m$	$\Delta x_{2,1} = 48.72m$	$\Delta x_{3,1} = 23.72m$	$\Delta x_{5,1} = -1.28m$
---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

[0146] 因此编号为2、3、5的车辆可以进行换道,编号为1的车辆等待约 $(-\Delta x_{1,1})/(v_1-v_d) = 0.16s$ 后也可以开始换道。换道完成后,原队列的所有智能网联车均完成了换道,并且换道过程最大程度保证了队列的连续性,换道前后队列完整,之后也能充分发挥智能网联车队的作用。

[0147] 以上详细描述了本发明的优选实施方式,但是,本发明并不限于上述实施方式中的具体细节,在本发明的技术构思范围内,可以对本发明的技术方案进行多种等同变换,这些等同变换均属于本发明的保护范围。

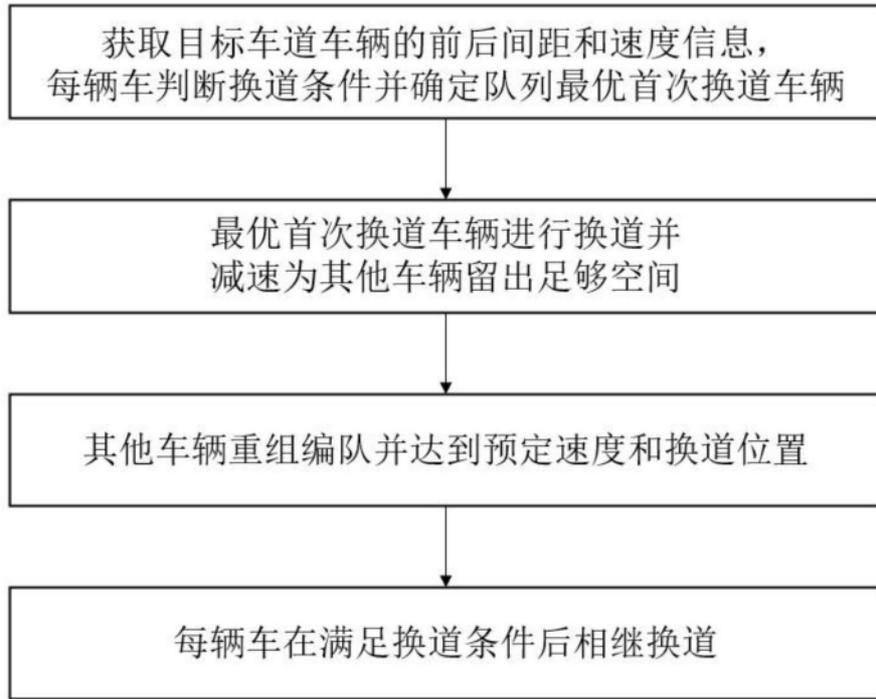


图1

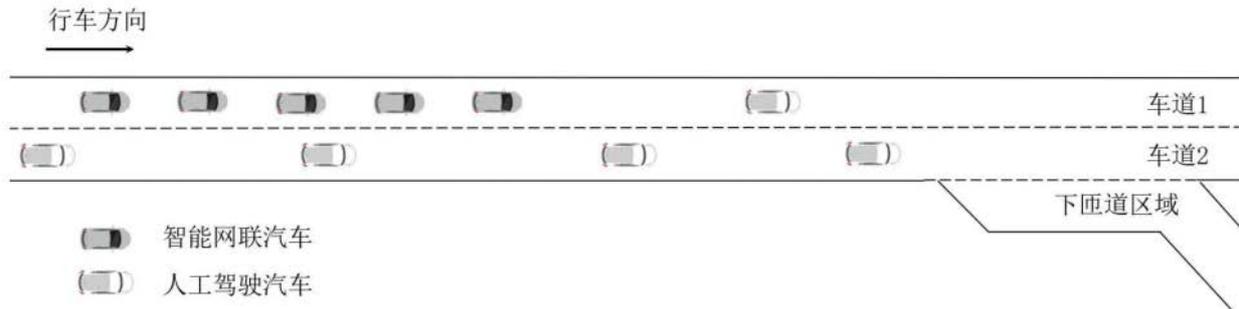


图2

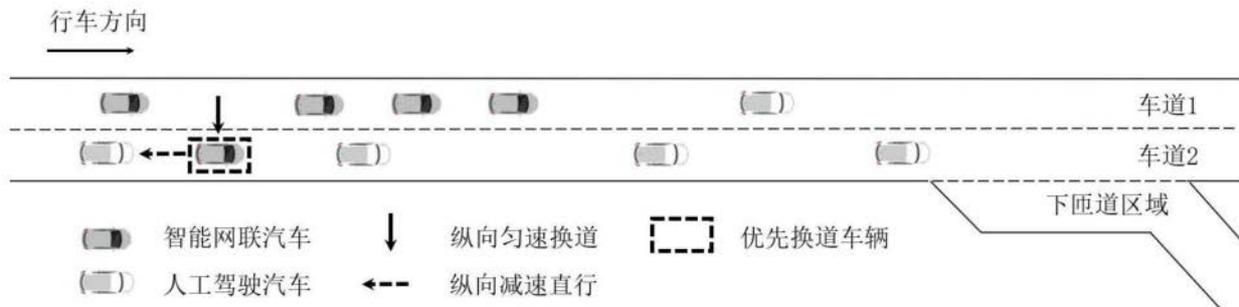


图3

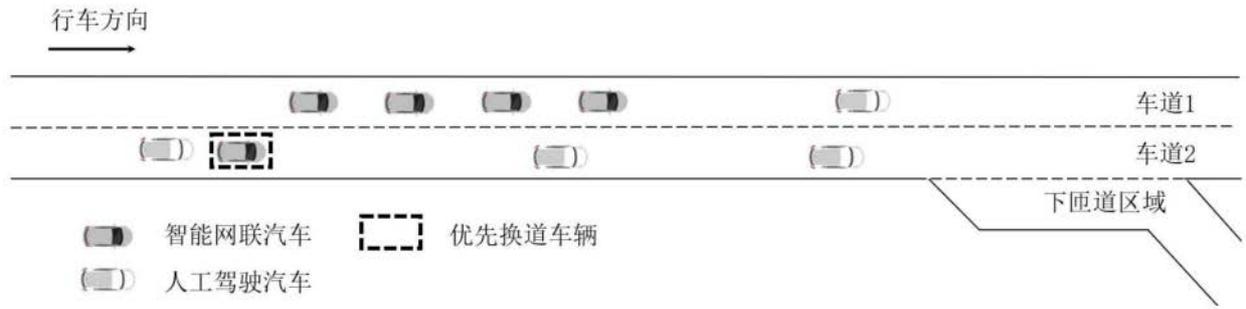


图4

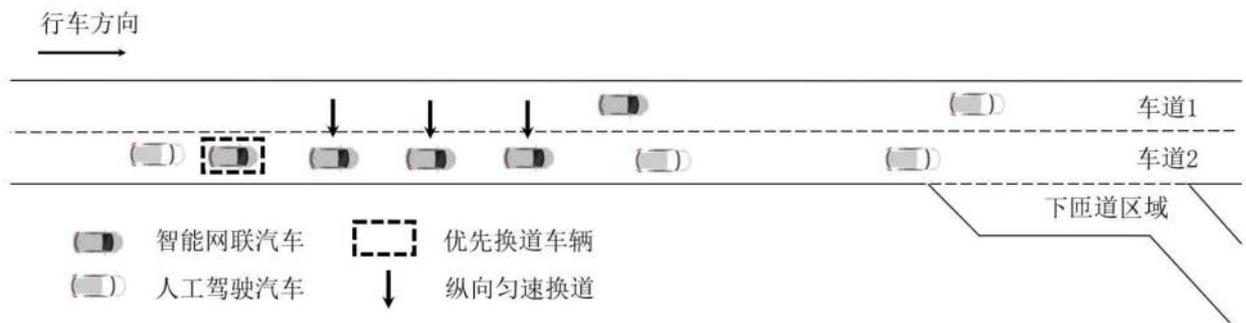


图5