



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110979327 A

(43)申请公布日 2020.04.10

(21)申请号 201910204325.4

(22)申请日 2019.03.18

(71)申请人 长城汽车股份有限公司

地址 071000 河北省保定市朝阳南大街
2266号

(72)发明人 张凯 和林 甄龙豹 葛建勇
王天培 魏松波 常仕伟 张健
关欣

(74)专利代理机构 北京润平知识产权代理有限
公司 11283

代理人 肖冰滨 王晓晓

(51)Int.Cl.

B60W 30/165(2020.01)

B60W 40/105(2012.01)

B60W 40/107(2012.01)

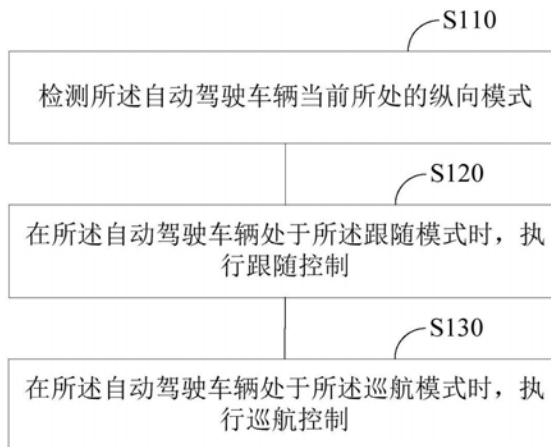
权利要求书3页 说明书12页 附图3页

(54)发明名称

自动驾驶车辆的纵向控制方法系统

(57)摘要

本发明涉及智能交通领域,提供一种自动驾驶车辆的纵向控制方法及系统。所述方法包括:检测车辆当前所处的纵向模式;在处于跟随模式时,根据预配置的车辆在所述跟随模式下的不同工况与不同控制算法之间的对应关系,匹配与当前工况相对应的控制算法,并根据所匹配的控制算法控制所述自动驾驶车辆进行跟随运动;在处于巡航模式时,获取本车处于巡航模式时的当前车速,并计算当前车速与本车可行驶的最高车速之间的相对速度差;修正以使得相对速度差在控制周期内的变化幅度处于预设范围,根据修正后的相对速度差,计算本车加速度,并基于该本车加速度调节本车在所述巡航模式下的车速。本发明提高了整个纵向控制算法的高效性、安全性和舒适性。



1. 一种自动驾驶车辆的纵向控制方法,其特征在于,所述自动驾驶车辆的纵向控制方法包括:

检测所述自动驾驶车辆当前所处的纵向模式,所述纵向模式包括巡航模式、跟随模式和自动紧急制动AEB模式;

在所述自动驾驶车辆处于所述跟随模式时,执行:

根据预配置的所述自动驾驶车辆在所述跟随模式下的不同工况与不同控制算法之间的对应关系,匹配与所述当前工况相对应的控制算法,其中所述控制算法用于控制所述自动驾驶车辆在对应工况下的速度变化;以及

根据所匹配的控制算法控制所述自动驾驶车辆进行跟随运动;

在所述自动驾驶车辆处于所述巡航模式时,执行:

获取本车处于巡航模式时的当前车速,并计算所述当前车速与本车可行驶的最高车速之间的相对速度差;

修正所述相对速度差,使得所述相对速度差在控制周期内的变化幅度处于预设范围;

根据修正后的所述相对速度差,计算本车加速度;以及

基于所述本车加速度调节本车在所述巡航模式下的车速。

2. 根据权利要求1所述的自动驾驶车辆的纵向控制方法,其特征在于,所述自动驾驶车辆在所述跟随模式下的不同工况与不同控制算法之间的对应关系包括以下任意一者或多者:

前车速度小于本车速度且前车相对于本车的两车实际距离小于期望距离的第一工况,以及用于控制本车在所述第一工况下以第一加速度进行减速的第一控制算法;

前车速度小于本车速度且前车相对于本车的两车实际距离大于期望距离的第二工况,以及用于控制本车在所述第二工况下以第二加速度进行减速的第二控制算法;

前车速度大于本车速度且前车相对于本车的两车实际距离大于期望距离的第三工况,以及用于控制本车在所述第三工况下以第三加速度进行加速的第三控制算法;

前车速度大于本车速度且前车相对于本车的两车实际距离小于期望距离的第四工况,以及用于控制本车在所述第四工况下以第四加速度进行减速的第四控制算法;以及

前车速度与本车速度之间的速度差在设定的速度阈值范围内且前车相对于本车的两车实际距离在设定的距离阈值范围内的第五工况,以及用于控制本车在所述第五工况下以用于稳定跟随前车行驶的第五控制算法。

3. 根据权利要求2所述的自动驾驶车辆的纵向控制方法,其特征在于,在所述第一控制算法中,还包括采用以下公式计算所述第一加速度 a_1 :

$$a_1 = \begin{cases} -\frac{(VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph})^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - SfDis_m)} * \frac{VehSpd_{kph}}{FroVehSpd_{kph}} * \frac{ExpDis_m}{RelaDis_m} & SfDis_m < RelaDis_m < ExpDis_m \\ -\frac{(VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph})^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - AEBDis_m)} * \frac{VehSpd_{kph}}{FroVehSpd_{kph}} * \frac{ExpDis_m}{RelaDis_m} & AEBDis_m < RelaDis_m < SfDis_m \\ -8 & RelaDis_m < AEBDis_m \end{cases}$$

$$AEBDis_m = (VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph}) * TTC / 3.6$$

$$TTC = \begin{cases} \frac{RelaDis_m * 3.6}{VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph}}, & VehSpd_{kph} > FroVehSpd_{kph} \\ 1000, & VehSpd_{kph} \leq FroVehSpd_{kph} \end{cases}$$

$$SfDis_m = 0.8509 * FroVehSpd_kph + c$$

式中, VehSpd_kph为所述本车速度, FroVehSpd_kph为所述前车速度, ExpDis_m为所述期望距离, RelaDis_m为所述两车实际距离, SfDis_m为安全距离, AEBDis_m为制动距离, TTC为碰撞时间, c为常数;

其中, 所述安全距离是指本车与前车的速度一样时, 两车之间要求保持的最小距离;

其中, 所述制动距离是指所述自动驾驶车辆从跟随模式切换到紧急制动AEB模式时两车间的距离阈值。

4. 根据权利要求2所述的自动驾驶车辆的纵向控制方法, 其特征在于, 在所述第二控制算法中, 还包括采用以下公式计算所述第二加速度a2:

$$a2 = - \frac{(VehSpd_kph - FroVehSpd_kph)^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - ExpDis_m)} * K_1$$

式中, VehSpd_kph为所述本车速度, FroVehSpd_kph为所述前车速度, ExpDis_m为所述期望距离, RelaDis_m为所述两车实际距离, K₁为用于补偿控制算法的延迟影响的常数。

5. 根据权利要求2所述的自动驾驶车辆的纵向控制方法, 其特征在于, 在所述第三控制算法中, 还包括采用以下公式计算所述第三加速度a3:

$$a3 = \begin{cases} k31, & C31 \\ k32, & C32 \\ k33, & C33 \\ k34, & C34 \end{cases}$$

式中, C31-C34表示不同的加速状态, k31-k34表示不同加速状态对应的加速度值; 和/或

在所述第四控制算法中, 还包括采用以下公式计算所述第四加速度a4:

$$a4 = \begin{cases} k41, & C41 \\ k42, & C42 \\ k43, & C43 \\ k44, & C44 \end{cases}$$

式中, C41-C44表示不同的减速状态, k41-k44表示不同减速状态对应的加速度值。

6. 根据权利要求2所述的自动驾驶车辆的纵向控制方法, 其特征在于, 在所述第五控制算法中, 还包括采用以下公式计算所述第五加速度a5:

$$a5 = (FroVehSpd_kph - VehSpd_kph) * k_p$$

其中, VehSpd_kph为所述本车速度, FroVehSpd_kph为所述前车速度, k_p为比例系数。

7. 根据权利要求1所述的自动驾驶车辆的纵向控制方法, 其特征在于, 所述计算本车加速度包括: 采用以下公式计算本车加速度a,

$$a = (TopSpd_kph - VehSpd_kph) * K_p$$

其中, TopSpd_kph表示所述最高车速, VehSpd_kph表示所述当前车速, K_p为P控制的比例参数;

其中, 通过下式确定所述比例参数K_p:

$$K_p = \begin{cases} K_0, & VehSpd_kph < TopSpd_kph \\ K_1, & VehSpd_kph \geq TopSpd_kph \end{cases}$$

其中, K_0 是实车测试中确定的对应于车辆加速工况的最优乘坐体验的第一参数, K_1 是实车测试中确定的对应于车辆减速工况的最优乘坐体验的第二参数。

8. 根据权利要求1所述的自动驾驶车辆的纵向控制方法, 其特征在于, 所述自动驾驶车辆的纵向控制方法还包括:

在所述自动驾驶车辆处于所述AEB模式时, 控制所述自动驾驶车辆以 $0.7g-0.9g$ 的制动减速度进行制动, 其中 g 为重力加速度。

9. 一种机器可读存储介质, 该机器可读存储介质上存储有指令, 该指令用于使得机器执行权利要求1至8中任意一项所述的自动驾驶车辆的纵向控制方法。

10. 一种自动驾驶车辆的纵向控制系统, 其特征在于, 所述自动驾驶车辆的纵向控制系统包括:

定位单元, 用于获取所述自动驾驶车辆的当前位置信息;

地图单元, 与所述定位单元信号连接, 用于根据所述当前位置信息来输出所述自动驾驶车辆周围的地图信息;

探测单元, 用于探测所述自动驾驶车辆周围的障碍物信息;

权利要求9中所述的机器可读存储介质; 以及

处理器, 与所述地图单元及所述探测单元信号连接, 用于根据所述地图信息及所述障碍物信息获取前方目标信息, 并结合所述前方目标信息执行所述机器可读存储介质中存储的指令。

自动驾驶车辆的纵向控制方法系统

技术领域

[0001] 本发明涉及智能交通领域,特别涉及一种自动驾驶车辆的纵向控制方法及系统。

背景技术

[0002] 自动驾驶车辆是通过智能驾驶系统来实现自动化行驶的,包括通过安装在车身周围的各种传感系统来感知外部环境信息和车辆本身的信息,然后对输入的信息进行融合、决策(对应融合系统和决策系统),按照不同的行驶工况自行规划出一条可行驶的安全路线,并通过控制系统实时监测和控制车辆安全行驶,以保证车辆的高度自动化行驶。其中,控制系统作为智能驾驶系统的核心部分,其性能的好坏决定着车辆的安全行驶和自动化程度标准,因此一直以来是各个公司研发和攻克的重点和难点。控制系统分为横向控制系统和纵向控制系统两个部分,横向控制系统主要是通过一系列控制算法实现对自动驾驶车辆的实时转向控制,使车辆按照已知规划的行驶路线进行车道保持、自动换道、动态避障、掉头和转弯等,纵向控制系统主要是通过对车辆加、减速度的控制,使自动驾驶车辆能够以一定的安全行驶速度进行纵向运动,实现自动起停、跟随和巡航等。通过对横纵向控制的耦合,使整个控制系统能够同时对车辆的转向和速度实现自动控制。

[0003] 其中,纵向运动按照运动状态分为三种:巡航、跟随、AEB(Autonomous Emergency Braking,自动紧急制动)。巡航是指在动作距离(该动作距离记为ActDis_m,是指自动驾驶车辆从巡航切到跟随的最小距离阈值,和本车速度及前车速度有关)以内没有存在前车,本车按照可行驶的最高车速行车。跟随是指本车道内动作距离内存本在前车,本车在不换道时跟随前车运动。AEB是指当本车周围的行车环境发生变化时,导致可能发生追尾或者碰撞的发生,危及驾驶员、乘客及行人的行为,AEB状态会以一个较大的减速度制动,进而避免或者减缓车祸事故的发生。

[0004] 但是,目前的纵向控制方案未考虑车辆在各状态下会出现的多种不同工况,仅给出了单一的针对跟随或巡航的控制方案,无法取得较好的控制效果。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明旨在提出一种自动驾驶车辆的纵向控制方法,以至少部分地解决上述技术问题。

[0006] 为达到上述目的,本发明的技术方案是这样实现的:

[0007] 一种自动驾驶车辆的纵向控制方法,包括:

[0008] 检测所述自动驾驶车辆当前所处的纵向模式,所述纵向模式包括巡航模式、跟随模式和自动紧急制动AEB模式;

[0009] 在所述自动驾驶车辆处于所述跟随模式时,执行:根据预配置的所述自动驾驶车辆在所述跟随模式下的不同工况与不同控制算法之间的对应关系,匹配与所述当前工况相对应的控制算法,其中所述控制算法用于控制所述自动驾驶车辆在对应工况下的速度变化;以及根据所匹配的控制算法控制所述自动驾驶车辆进行跟随运动;

[0010] 在所述自动驾驶车辆处于所述巡航模式时,执行:获取本车处于巡航模式时的当前车速,并计算所述当前车速与本车可行驶的最高车速之间的相对速度差;修正所述相对速度差,使得所述相对速度差在控制周期内的变化幅度处于预设范围;根据修正后的所述相对速度差,计算本车加速度;以及基于所述本车加速度调节本车在所述巡航模式下的车速。

[0011] 进一步的,所述自动驾驶车辆在所述跟随模式下的不同工况与不同控制算法之间的对应关系包括以下任意一者或更多者:前车速度小于本车速度且前车相对于本车的两车实际距离小于期望距离的第一工况,以及用于控制本车在所述第一工况下以第一加速度进行减速的第一控制算法;前车速度小于本车速度且前车相对于本车的两车实际距离大于期望距离的第二工况,以及用于控制本车在所述第二工况下以第二加速度进行减速的第二控制算法;前车速度大于本车速度且前车相对于本车的两车实际距离大于期望距离的第三工况,以及用于控制本车在所述第三工况下以第三加速度进行加速的第三控制算法;前车速度大于本车速度且前车相对于本车的两车实际距离小于期望距离的第四工况,以及用于控制本车在所述第四工况下以第四加速度进行减速的第四控制算法;以及前车速度与本车速度之间的速度差在设定的速度阈值范围内且前车相对于本车的两车实际距离在设定的距离阈值范围内的第五工况,以及用于控制本车在所述第五工况下以用于稳定跟随前车行驶的第五控制算法。

[0012] 进一步的,在所述第一控制算法中,还包括采用以下公式计算所述第一加速度a1:

$$[0013] \quad a1 = \begin{cases} -\frac{(VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph})^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - SfDis_m)} * \frac{VehSpd_{kph}}{FroVehSpd_{kph}} * \frac{ExpDis_m}{RelaDis_m} & SfDis_m < RelaDis_m < ExpDis_m \\ -\frac{(VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph})^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - AEBDis_m)} * \frac{VehSpd_{kph}}{FroVehSpd_{kph}} * \frac{ExpDis_m}{RelaDis_m} & AEBDis_m < RelaDis_m < SfDis_m \\ -8 & RelaDis_m < AEBDis_m \end{cases}$$

$$[0014] \quad AEBDis_m = (VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph}) * TTC / 3.6$$

$$[0015] \quad TTC = \begin{cases} \frac{RelaDis_m * 3.6}{VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph}}, & VehSpd_{kph} > FroVehSpd_{kph} \\ 1000, & VehSpd_{kph} \leq FroVehSpd_{kph} \\ SfDis_m = 0.8509 * FroVehSpd_{kph} + c \end{cases}$$

[0016] 式中,VehSpd_kph为所述本车速度,FroVehSpd_kph为所述前车速度,ExpDis_m为所述期望距离,RelaDis_m为所述两车实际距离,SfDis_m为安全距离,AEBDis_m为制动距离,TTC为碰撞时间,c为常数;其中,所述安全距离是指本车与前车的速度一样时,两车之间要求保持的最小距离;其中,所述制动距离是指所述自动驾驶车辆从跟随模式切换到紧急制动AEB模式时两车间的距离阈值。

[0017] 进一步的,在所述第二控制算法中,还包括采用以下公式计算所述第二加速度a2:

$$[0018] \quad a2 = -\frac{(VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph})^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - ExpDis_m)} * K_1$$

[0019] 式中,VehSpd_kph为所述本车速度,FroVehSpd_kph为所述前车速度,ExpDis_m为所述期望距离,RelaDis_m为所述两车实际距离,K₁为用于补偿控制算法的延迟影响的常数。

[0020] 进一步的,在所述第三控制算法中,还包括采用以下公式计算所述第三加速度a3:

$$[0021] \quad a3 = \begin{cases} k31, & C31 \\ k32, & C32 \\ k33, & C33 \\ k34, & C34 \end{cases}$$

[0022] 式中,C31-C34表示不同的加速状态,k31-k34表示不同加速状态对应的加速度值;和/或在所述第四控制算法中,还包括采用以下公式计算所述第四加速度a4:

$$[0023] \quad a4 = \begin{cases} k41, & C41 \\ k42, & C42 \\ k43, & C43 \\ k44, & C44 \end{cases}$$

[0024] 式中,C41-C44表示不同的减速状态,k41-k44表示不同减速状态对应的加速度值。

[0025] 进一步的,在所述第五控制算法中,还包括采用以下公式计算所述第五加速度a5:

$$[0026] \quad 05 = (FroVehSpd_kph - VehSpd_kph) * k_p$$

[0027] 其中,VehSpd_kph为所述本车速度,FroVehSpd_kph为所述前车速度,k_p为比例系数。

[0028] 进一步的,所述计算本车加速度包括:采用以下公式计算本车加速度a,

$$[0029] \quad a = (TopSpd_kph - VehSpd_kph) * K_p$$

[0030] 其中,TopSpd_kph表示所述最高车速,VehSpd_kph表示所述当前车速,K_p为P控制的比例参数。

[0031] 其中,通过下式确定所述比例参数K_p:

$$[0032] \quad K_p = \begin{cases} K_0, & VehSpd_kph < TopSpd_kph \\ K_1, & VehSpd_kph \geq TopSpd_kph \end{cases}$$

[0033] 其中,K₀是实车测试中确定的对应于车辆加速工况的最优乘坐体验的第一参数,K₁是实车测试中确定的对应于车辆减速工况的最优乘坐体验的第二参数。

[0034] 进一步的,所述自动驾驶车辆的纵向控制方法还包括:在所述自动驾驶车辆处于所述AEB模式时,控制所述自动驾驶车辆以0.7g-0.9g的制动减速度进行制动,其中g为重力加速度。

[0035] 相对于现有技术,本发明所述的自动驾驶车辆的纵向控制方法具有以下优势:本发明所述纵向控制方法根据前车速度、本车速度及两车实际距离可匹配多种跟随工况下的跟随控制算法,满足哪种工况就执行该工况对应的跟随控制算法,使得车辆能够较好地地进行跟随;另外,本发明所述的自动驾驶车辆的纵向控制方法优化了巡航控制。因此,本发明提高了整个纵向控制算法的高效性、安全性和舒适性。

[0036] 本发明的另一目的在于提出一种机器可读存储介质,以至少部分地解决上述技术问题。

[0037] 为达到上述目的,本发明的技术方案是这样实现的:

[0038] 一种机器可读存储介质,该机器可读存储介质上存储有指令,该指令用于使得机器执行上述的自动驾驶车辆的纵向控制方法。

[0039] 本发明的另一目的在于提出一种自动驾驶车辆的纵向控制系统,以至少部分地解决上述技术问题。

[0040] 为达到上述目的,本发明的技术方案是这样实现的:

[0041] 一种自动驾驶车辆的纵向控制系统,包括:定位单元,用于获取所述自动驾驶车辆的当前位置信息;地图单元,与所述定位单元信号连接,用于根据所述当前位置信息来输出所述自动驾驶车辆周围的地图信息;探测单元,用于探测所述自动驾驶车辆周围的障碍物信息;上述的机器可读存储介质;以及处理器,与所述地图单元及所述探测单元信号连接,用于根据所述地图信息及所述障碍物信息获取前方目标信息,并结合所述前方目标信息执行所述机器可读存储介质中存储的指令。

[0042] 所述机器可读存储介质、所述纵向控制系统与上述纵向控制方法相对于现有技术所具有的优势相同,在此不再赘述。

[0043] 本发明的其它特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

[0044] 构成本发明的一部分的附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施方式及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0045] 图1是本发明实施例的一种自动驾驶车辆的纵向控制方法的流程示意图;

[0046] 图2是本发明实施例中进行跟随控制的流程示意图

[0047] 图3是本发明实施例中跟随模式所包括的五种工况的示意图;

[0048] 图4是本发明实施例中进行巡航控制的流程示意图;

[0049] 图5是本发明实施例的纵向模式的切换示意图;

[0050] 图6是本发明实施例的一种自动驾驶车辆的纵向控制系统的结构示意图;以及

[0051] 图7是本发明实施例的自动驾驶车辆的示例纵向控制系统的通讯示意图。

[0052] 附图标记说明:

[0053] 610、定位单元;620、地图单元;630、探测单元;640、处理器。

具体实施方式

[0054] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施方式及实施方式中的特征可以相互组合。

[0055] 下面将参考附图并结合实施方式来详细说明本发明。

[0056] 在介绍本发明实施例自动驾驶车辆的纵向控制方法之前,先介绍自动驾驶车辆在纵向控制中涉及的三种模式,即巡航模式、跟随模式、AEB模式。在其他实施例中,还可以包括起停模式,其是指自动驾驶车辆能够准确控制车辆停靠至预设地点(如收费站、服务区等等),但起停模式可在跟随模式下实现其功能,故可从属于跟随模式,本发明实施例不对其进行单独介绍。

[0057] 1) 巡航模式

[0058] 巡航模式,是指自动驾驶车辆(以下也称为本车)处于动作距离(ActDis_m)以内没有存在前车的巡航状态时,调节自动驾驶车辆可行驶的最高车速,当车速低于最高车速时,自动驾驶车辆加速行驶,反之减速。

[0059] 2) 跟随模式

[0060] 跟随模式,是指自动驾驶车辆处于本车道内动作距离内存本在前车、且本车在不

换道时跟随前车运动的跟随状态时,调节本车车速,在保证安全行车的前提下,使其与前车之间保持一定的安全距离和相对速度,保持稳定地跟随前车行驶的状态。

[0061] 3) AEB模式

[0062] AEB模式,是指在纵向决策发出AEB模式的信号时,自动驾驶车辆以极大减速度进行制动。

[0063] 图1是本发明实施例的一种自动驾驶车辆的纵向控制方法的流程示意图。如图1所示,该纵向控制方法可以包括以下步骤:

[0064] 步骤S110,检测所述自动驾驶车辆当前所处的纵向模式。

[0065] 其中,所述纵向模式包括如上的巡航模式、跟随模式和AEB模式。

[0066] 步骤S120,在所述自动驾驶车辆处于所述跟随模式时,执行跟随控制。

[0067] 其中,图2是本发明实施例中进行跟随控制的流程示意图。如图2所示,跟随控制可包括以下步骤:

[0068] 步骤S121,检测所述自动驾驶车辆在跟随模式下的当前工况。

[0069] 步骤S122,根据预配置的所述自动驾驶车辆在所述跟随模式下的不同工况与不同控制算法之间的对应关系,匹配与所述当前工况相对应的控制算法,其中所述控制算法用于控制所述自动驾驶车辆在对应工况下的速度变化。

[0070] 步骤S123,根据所匹配的控制算法控制所述自动驾驶车辆进行跟随运动。

[0071] 本发明实施例中,根据车辆在跟随模式下的运行情况,将其分为五种工况,且配置不同工况具有不同的控制算法。

[0072] 图3是本发明实施例中跟随模式所包括的五种工况的示意图,其中 ΔV 表示本车相对于前车的速度差, ΔD 表示本车与前车的两车实际距离相对于期望距离的距离差(该距离差示出两车间的相对距离),其中,期望距离是本车在跟随前车行车过程中期望与前车之间保持的行车距离。

[0073] 参考图3,对应的五种工况可简单描述如下:

[0074] 1) 第一工况,前车慢且相对距离近,其中前车慢是指前车速度小于本车速度,相对距离近是指本车与前车之间的两车实际距离小于期望距离。

[0075] 2) 第二工况,前车慢且相对距离远,其中相对距离远是指本车与前车之间的两车实际距离大于期望距离。

[0076] 3) 第三工况,前车快且相对距离远,其中前车快是指前车速度大于本车速度。

[0077] 4) 第四工况,前车快且相对距离近。

[0078] 5) 第五工况,稳定跟车。

[0079] 在优选的实施例中,对应上述五种工况,所述自动驾驶车辆在所述跟随模式下的不同工况与不同控制算法之间的对应关系包括以下的任意一者或多者。

[0080] 一、第一工况及对应的第一控制算法

[0081] 其中,第一控制算法用于控制本车在所述第一工况下以第一加速度进行减速,即是在本车处于第一工况时,应调整车辆进行减速。本领域技术人员可理解的,“加速度”不限于示意车辆加速场景,也可示意车辆减速场景,“以加速度进行减速”与“减速度”均可示意车辆减速场景。

[0082] 在更为优选的实施例中,给出了计算第一加速度的具体过程,在介绍该过程之前,

先引入安全距离 (SfDis_m) 和制动距离 (AEBD_{is_m}) 的概念, 该安全距离 SfDis_m 是指本车与前车的速度一样时, 两车之间要求保持的最小距离, 该制动距离 AEBDis_m 是指所述自动驾驶车辆从跟随模式切换到 AEB 模式时两车间的距离阈值。

[0083] 本发明实施例中, 需通过计算 TTC (Time to collision, 碰撞时间) 来计算制动距离 AEBDis_m。TTC 的计算如下:

$$[0084] \quad TTC = \begin{cases} \frac{RelaDis_m * 3.6}{VehSpd_kph - FroVehSpd_kph}, & VehSpd_{kph} > FroVehSpd_kph \\ 1000, & VehSpd_{kph} \leq FroVehSpd_kph \end{cases} \quad (1)$$

[0085] 式中, VehSpd_{kph} 为本车速度, FroVehSpd_{kph} 为前车速度, RelaDis_m 为两车实际距离。

[0086] 进一步地, 采用下式计算制动距离 AEBDis_m:

$$[0087] \quad AEBDis_m = (VehSpd_kph - FroVehSpd_kph) * TTC / 3.6 \quad (2)$$

[0088] 进一步地, 采用下式计算安全距离 SfDis_m:

$$[0089] \quad SfDis_m = 0.8509 * FroVehSpd_kph + c \quad (3)$$

[0090] 式中, c 为标定量, 例如 c = 8。

[0091] 基于上述式 (1) - (3), 本发明实施例采用下式计算第一加速度 a₁:

$$[0092] \quad a_1 = \begin{cases} -\frac{(VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph})^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - SfDis_m)} * \frac{VehSpd_{kph}}{FroVehSpd_{kph}} * \frac{ExpDis_m}{RelaDis_m} & SfDis_m < RelaDis_m < ExpDis_m \\ -\frac{(VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph})^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - AEBDis_m)} * \frac{VehSpd_{kph}}{FroVehSpd_{kph}} * \frac{ExpDis_m}{RelaDis_m} & AEBDis_m < RelaDis_m < SfDis_m \\ -8 & RelaDis_m < AEBDis_m \end{cases} \quad (4)$$

[0093] 式中, ExpDis_m 为期望距离。

[0094] 根据式 (4), 可分为三种情况计算第一加速度 a₁, 据此可确定第一加速度 a₁ 的范围为 a₁ ∈ [-8, 1], 此公式 (4) 中:

[0095] 当两车之间的距离为 SfDis_m < RelaDis_m < ExpDis_m 时, 此时

$$[0096] \quad a_1 = -\frac{(VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph})^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - SfDis_m)} * \frac{VehSpd_{kph}}{FroVehSpd_{kph}} * \frac{ExpDis_m}{RelaDis_m};$$

[0097] 当两车之间的距离为 AEBDis_m < RelaDis_m < SfDis_m 时, 此时

$$[0098] \quad a_1 = -\frac{(VehSpd_{kph} - FroVehSpd_{kph})^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - AEBDis_m)} * \frac{VehSpd_{kph}}{FroVehSpd_{kph}} * \frac{ExpDis_m}{RelaDis_m}$$

[0099] 当两车之间的距离为 RelaDis_m < AEBDis_m 时从跟随模式切换到 AEB 模式, 执行 AEB 的控制, 加速度为 -8m/s²。

[0100] 需说明是, 本发明实施例的计算公式中, 加速度值带有负号“-”时, 表示“以加速度进行减速”或“减速度”。

[0101] 二、第二工况及对应的第二控制算法

[0102] 其中, 第二控制算法用于控制本车在所述第二工况下以第二加速度进行减速, 即是在本车处于第二工况时, 同样应调整车辆进行减速。

[0103] 在更为优选的实施例中, 给出了计算第二加速度的具体过程, 即采用以下公式计算所述第二加速度 a₂:

$$[0104] \quad a2 = -\frac{(VehSpd_kph - FroVehSpd_kph)^2}{3.6 * 3.6 * 2 * (RelaDis_m - ExpDis_m)} * K_1 \quad (5)$$

[0105] 式中, K_1 为用于补偿控制算法的延迟影响的常数。具体地, 自动驾驶车辆的纵向控制 (Vehicle Longitudinal Control, VLC) 系统对车辆进行纵向控制时, 会有延迟响应, K_1 则用于补偿 VLC 系统的延迟响应。

[0106] 三、第三工况及对应的第三控制算法

[0107] 其中, 第三控制算法用于控制本车在所述第三工况下以第三加速度进行加速, 即是在本车处于第三工况时, 应调整车辆进行加速。

[0108] 在优选的实施例中, 在所述第三控制算法中, 还包括采用以下公式计算所述第三加速度 $a3$:

$$[0109] \quad a3 = \begin{cases} k31, & C31 \\ k32, & C32 \\ k33, & C33 \\ k34, & C34 \end{cases}$$

[0110] 式中, $C31$ - $C34$ 表示不同的加速状态, $k31$ - $k34$ 表示不同加速状态对应的加速度值。具体地, 根据前车车速、前车距离本车的距离等, 可将第三工况的加速状态分为 $C31$ - $C34$ 四种子状态, 不同子状态对应相应的加速度, 即 $k31$ - $k34$ 。

[0111] 在其他实施例中, 还采用以下公式计算所述第三加速度 $a3$:

$$[0112] \quad a3 = \frac{FroVehSpd_kph}{VehSpd_kph} * \frac{RelaDis_m}{ExpDis_m} * K_1 \quad (6)$$

[0113] 在此, K_1 为常数, 例如 $K_1 = 0.3$, 此第三工况下, 第三加速度 $a3$ 的范围为 $a3 \in [0, 0.8]$ 。

[0114] 四、第四工况及对应的第四控制算法

[0115] 其中, 第四控制算法用于控制本车在所述第四工况下以第四加速度进行减速, 即是在本车处于第四工况时, 应调整车辆进行减速。

[0116] 在优选的实施例中, 在所述第四控制算法中, 还包括采用以下公式计算所述第四加速度 $a4$:

$$[0117] \quad a4 = \begin{cases} k41, & C41 \\ k42, & C42 \\ k43, & C43 \\ k44, & C44 \end{cases}$$

[0118] 式中, $C41$ - $C44$ 表示不同的减速状态, $k41$ - $k44$ 表示不同减速状态对应的加速度值

[0119] 在其他实施例中, 给出了计算第四加速度的具体过程, 即采用以下公式计算所述第四加速度 $a4$:

$$[0120] \quad a4 = -\frac{FroVehSpd_kph}{VehSpd_kph} * \frac{ExpDis_m}{RelaDis_m} * K_1 \quad (7)$$

[0121] 在此, K_1 为常数, 例如 $K_1 = 0.2$, 此第四工况下, 第四加速度 $a4$ 的范围为 $a4 \in [-0.8, 1]$ 。

[0122] 五、第五工况及第五控制算法

[0123] 其中,第五工况中前车速度与本车速度之间的速度差在设定的速度阈值范围内,以及前车相对于本车的两车实际距离也在设定的距离阈值范围内,从而本车近似匀速地稳定跟随前车行车。

[0124] 其中,第五控制算法用于控制本车在所述第五工况下稳定跟随前车行驶。

[0125] 在其他实施例中,在对本车相对于前车的稳定跟随状态要求不高时,第五算法可考虑控制本车以第五加速度 a_5 稳定跟随前车行驶,并且可采用以下公式计算该第五加速度 a_5 :

$$[0126] \quad a_5 = (FroVehSpd - kph - VehSpd - kph) * k_p$$

[0127] 其中, $VehSpd_kph$ 为所述本车速度, $FroVehSpd_kph$ 为所述前车速度, k_p 为比例系数。

[0128] 如此,在跟随状态下,根据前车速度、本车速度及两车实际距离可匹配以上五种工况下的控制算法,满足哪种工况就执行该工况对应的控制算法,具有较好的控制效果,能提高控制算法的高效性、安全性和舒适性。

[0129] 步骤S130,在所述自动驾驶车辆处于所述巡航模式时,执行巡航控制。

[0130] 其中,图4是本发明实施例中进行巡航控制的流程示意图。如图4所示,巡航控制可包括以下步骤:

[0131] 步骤S131,获取本车处于巡航模式时的当前车速,并计算所述当前车速与本车可行驶的最高车速之间的相对速度差。

[0132] 其中,所述当前车速可从本车自身的车辆传感器(如惯性导航设备)获取,也可通过CAN总线中车辆的ECU(Electronic Control Unit,电子控制单元)获取。

[0133] 其中,本车可行驶的最高车速来源于自动驾驶车辆的ADS中的最高车速管理模块。该最高车速管理单元属于自动驾驶车辆的决策系统,其用于获取对应于驾驶场景信息、行驶环境信息以及道路条件信息的车辆可行驶的最高行驶速度以形成最高速度集合,并根据实际情况决策出相应合理的最高车速以作为在此的本车可行驶的最高车速。

[0134] 下面分别针对驾驶场景、行驶环境以及道路条件来具体介绍最高车速管理单元的功能。

[0135] 1) 针对不同驾驶场景,最高车速受以下条件影响:①ADS预设最高车速 V_1 ;②自动驾驶车辆行驶前方可行驶区域,不同宽度设定不同最高车速 V_2 ;③自动驾驶车辆当前行驶相邻车道(非应急车道)的设定范围内存在行人,车辆降速,设定最高车速 V_3 ;④自动驾驶车辆距离高速公路出口距离(匝道出口距离、收费站距离等),根据不同的距离设定不同的最高限速值 V_4 ;⑤自动驾驶车辆在距离汇入点设定距离时时,开始减速至最高车速 V_5 ;⑥自动驾驶车辆在特定工况下(如:并流、分流、驶离高速、岔道口等),需要强制切入相邻车道,根据左右前方区域车辆速度,设定自动驾驶车辆最高车速 V_6 ;⑦自动驾驶车辆在换道过程中,依据自动驾驶车辆正前方目标设定最高车速 V_7 ;8)自动驾驶车辆存在并排行驶车辆,自动驾驶车辆超越相邻车道并排行驶车辆时最高车速 V_8 。

[0136] 2) 针对不同行驶环境,最高车速受以下条件影响:①不同行驶道路,路段会有不同的道路限速,根据高精度地图(HDM)、视觉传感器识别输出道路最高限速 V_9 ;②自动驾驶车辆行驶环境因素(光线明暗程度、雾、雨雪、冰雹等),根据不同环境条件限定自动驾驶车辆最高车速 V_{10} 。

[0137] 3) 针对不同道路条件,最高车速受以下条件影响:①道路曲率,根据不同的道路完全程度,限定车辆最高车速 V_{11} ;②路面不平度,根据车辆的动态信息(如:垂直加速度、横向力、坡度等)限定车辆最高车速 V_{12} ;③路面附着系数,根据自动驾驶车辆自身所带传感器检测当前道路路面附着系数,限定车辆最高车速 V_{13} 。

[0138] 据此,得到最高速度集合 $\{V_1, \dots, V_{13}\}$,并根据实际情况选取合适的速度 V_0 作为自动驾驶车辆在当前道路行驶时允许的最高车速 V 。另外,若 V_0 是由于环境因素(雨雪雾等)或者路面附着系数引起,若此时车辆周围存在邻车,此时主动将 V_0 降低10%,系统最高车速 $V=0.9*V_0$;若上述 V_0 非环境因素(雨雪雾等)、路面附着系数引起,若此时车辆周围存在邻车,此时系统最高车速 $V=V_8$,否则 $V=V_0$ 。

[0139] 本发明实施例所确定的本车可行驶的最高车速,与常规方法相比具有更强的实用性,涵盖更多的场景,更符合人的驾驶习惯,避免自动驾驶车辆由于行驶速度过高而出现违章或发生碰撞、车辆打滑等事故,保障自动驾驶车辆行车安全及驾驶员安全及乘坐舒适性。

[0140] 步骤S132,修正所述相对速度差,使得所述相对速度差在控制周期内的变化幅度处于预设范围。

[0141] 对于该步骤S132,在优选的实施例中,通过配置比率限幅模块来修正所述相对速度差。其中,该比率限幅模块例如是simulink中的rate limiter模块。配置比率限幅模块的目的是修正因本车可行驶的最高车速的变化,导致相对速度差在一个运行周期内有较大变化,影响整车巡航控制的舒适性。而引入这个比率限幅模块后会避免这种情况的发生,经仿真与实车测试验证,该比率限幅模块能使巡航控制效果有很大的改善。另外,此比率限幅模块中的参数设置也是经实车测试标定出来的。

[0142] 步骤S133,根据修正后的所述相对速度差,计算本车加速度。

[0143] 在优选的实施例中,采用以下公式计算本车加速度 a ,

[0144] $a = (TopSpd_kph - VehSpd_kph) * Kp$

[0145] 其中, $TopSpd_kph$ 表示所述最高车速, $VehSpd_kph$ 表示所述当前车速, Kp 为P控制的比例参数。其中,P控制是指经典PID(Proportion Integration Differentiation,比例-积分-微分)控制中的P控制。

[0146] 对于 Kp ,因巡航控制涉及到加速与减速控制,当本车车速低于最高车速时,车辆加速,反之减速,因加速和减速的执行机构的响应速度及精度不同,因此 Kp 也不同。优选地,通过下式确定所述比例参数 Kp :

[0147]
$$Kp = \begin{cases} K_0, & VehSpd_kph < TopSpd_kph \\ K_1, & VehSpd_kph \geq TopSpd_kph \end{cases}$$

[0148] 其中, K_0 是实车测试中确定的对应于车辆加速工况的最优乘坐体验的第一参数, K_1 是实车测试中确定的对应于车辆减速工况的最优乘坐体验的第二参数,该 K_0 和 K_1 均是通过实车测试确定的标定值。

[0149] 步骤S134,基于所述本车加速度调节本车在所述巡航模式下的车速。

[0150] 通过步骤S131-步骤S133确定合适的加速度后,该步骤S134中通过控制本车的加减速,进而调节本车在巡航模式下的车速。

[0151] 在一些情形中,步骤S133计算出的本车加速度可能仍不太理想,例如比实际驾驶员在同样条件下在某个特定速度段下发出的加速度相比偏大。对此,在优选的实施例中,该

步骤S134被配置为:对所述本车加速度进行限幅修正,再基于限幅修正后的本车加速度调节本车在所述巡航模式下的车速。据此,通过加速度限幅使得用于车速控制的加速度值更为适宜。

[0152] 进一步地,在此的加速度限幅的上限值 U_p 采用查表法来确定,根据本车车速限制车辆执行的最大加速度,即当本车发出的加速度 a 大于上限值 U_p 时,按照上限值 U_p 执行,否则执行本车发出的加速度,即 $a_{Taracce} = \text{MIN}(U_p, a)$ 。更为具体地,上限值 U_p 通过下式确定:

$$[0153] \quad U_p = \begin{cases} a1 & VehSpd_kph < b1 * TopSpd_kph \\ a2 & b1 * TopSpd_kph \leq VehSpd_kph < b2 * TopSpd_kph \\ a3 & b2 * TopSpd_kph \leq VehSpd_kph < b3 * TopSpd_kph \\ a4 & b3 * TopSpd_kph \leq VehSpd_kph < b4 * TopSpd_kph \\ a5 & b4 * TopSpd_kph \leq VehSpd_kph < b5 * TopSpd_kph \\ a6 & b5 * TopSpd_kph \leq VehSpd_kph < b6 * TopSpd_kph \\ a7 & b6 * TopSpd_kph \leq VehSpd_kph < TopSpd_kph \\ a8 & VehSpd_kph \geq TopSpd_kph \end{cases}$$

[0154] 同理,加速度限幅的下限值采取同样的处理, b_1 至 b_6 为依次增大且小于1的常数,例如分别为0.35、0.45、0.55、0.65、0.75、0.85, a_1 至 a_8 为依次减小的设定值。

[0155] 如此,本发明实施例在实现巡航控制的基础上,优化了控制的舒适性,经实车及仿真测试分析测试数据,具有较好的控制效果,提高了巡航控制算法及整个纵向控制算法的高效性、安全性和舒适性。

[0156] 进一步地,该纵向控制方法还包括:在所述自动驾驶车辆处于所述AEB模式时,执行AEB控制方法。本发明实施例中,AEB控制方法包括:当纵向决策发出AEB模式的信号时,自动驾驶车辆以极大减速度进行制动,不考虑车辆制动过程的舒适性要求,请求制动减速度0.7-0.9g之间(其中g为重力加速度),例如减速度为 $-8m/s^2$ 。

[0157] 图5是本发明实施例的纵向模式的切换示意图,如图5所示,自动驾驶车辆的智能驾驶系统在开启前,程序处于默认模式(即待机状态,程序不控制车辆),开启后,程序从默认状态根据环境信息等进入相应的工作模式,即巡航模式、AEB模式和跟随模式,在车辆行驶过种,一般是从巡航模式切换至AEB模式或跟随模式,跟随模式与巡航模式及AEB模式间可互相切换,巡航模式、AEB模式和跟随模式均可也默认模式相互切换。

[0158] 据此,本发明实施例的自动驾驶车辆的纵向控制方法按照纵向决策发出的指令执行相就的控制算法,从而控制车辆的加速、减速,进而调节车辆的车速,实现了针对巡航模式、跟随模式和AEB模式的控制。

[0159] 本发明另一实施例还提供一种机器可读存储介质,该机器可读存储介质上存储有指令,该指令用于使得机器执行上述的自动驾驶车辆的纵向控制方法。其中,所述机器可读存储介质包括但不限于相变内存(PRAM)、静态随机存取存储器(SRAM)、动态随机存取存储器(DRAM)、其他类型的随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)、快闪记忆体(Flash Memory)或其他内存技术、只读光盘只读存储器(CD-ROM)、数字多功能光盘(DVD)或其他光学存储、磁盒式磁带,磁带磁磁盘存储或其他磁性存储设备等各种可以存储程序代码的介质。

[0160] 图6是本发明实施例的一种自动驾驶车辆的纵向随控制系统的结构示意图。如图6

所示,所述纵向控制系统同样包括:定位单元610,用于获取所述自动驾驶车辆的当前位置信息;地图单元620,与所述定位单元610信号连接,用于根据所述当前位置信息来输出所述自动驾驶车辆周围的地图信息;探测单元630,用于探测所述自动驾驶车辆周围的障碍物信息;以及上述的可读存储介质;以及处理器640。该处理器640与所述地图单元620及所述探测单元630信号连接,用于从所述采集装置获取所述地图信息及所述障碍物信息,并根据所述地图信息及所述障碍物信息获取前方目标信息,并结合所述前方目标信息执行所述机器可读存储介质中存储的用于使得机器执行上述的自动驾驶车辆的纵向控制方法的指令。

[0161] 对于上述纵向控制系统,定位单元610为自定位设备,优选为高精度GPS定位设备,其用于提供车辆的当前位置信息(包括车辆的当前经纬度信息、航向角信息等),横向定位偏差10cm以内,纵向定位偏差30cm以内。地图单元620例如用于存储、输出高精度地图数据信息,优先使用存储空间大于50G、处理内存大于1G的地图单元,且地图单元620根据定位单元610提供的车辆的当前位置信息实时输出自动驾驶车辆前后方200m范围内高精度地图所提供道路的不同属性信息。探测单元630例如用于探测提取自动驾驶车辆周围360°范围内出现的障碍物,优先选用全天候传感器探测设备以避免因雨、雪、雾、光照等引起物体目标探测不稳定,探测单元630不仅仅不局限于当前安装位置也不局限于当前数量,为提高物体探测准确性,可在车辆前方布置雷达传感器(激光雷达或毫米波雷达设备等)、视觉传感器,同理可以在车辆前方两个左右角位置安装两个角雷达设备来通过设备冗余降低物体目标误检、漏检等状况。处理器640,根据地图单元620提供的地图信息以及探测单元630提供的障碍物信息来提供前方目标信息,进而执行所述机器可读存储介质中存储的指令,以对应实现上述的自动驾驶车辆的纵向控制方法。

[0162] 其中,处理器640可以是车辆的ECU(Electronic Control Unit,电子控制单元),也可以是独立配置的常规控制器,如CPU、单片机、DSP(Digital Signal Processor,数字信号处理器)、SOC(System On a Chip,片上系统)等,且可以理解,这些独立控制器也可以集成至ECU中。处理器1220优选采用运算速度较快且有着丰富的I/O口设备的控制器来进行配置,要求具有能与整车CAN通信的输入输出端口、开关信号的输入输出端口、网线接口等。

[0163] 图7是本发明实施例的自动驾驶车辆的示例纵向控制系统的通讯示意图,该示例中,对应的纵向控制系统包括作为定位单元610的自定位设备、作为地图单元620的高精度地图单元,作为探测单元630的雷达设备以及作为处理器640的ECU。其中,自定位设备包括GPS、高精度轮速传感器以及陀螺仪传感器等,用于探测包括车辆当前经纬度、航向角信息等的车辆位置信息;高精度地图单元包括HDmap(高精度地图)存储单元和数据运算处理单元,用于存储并适当处理车辆位置信息等以输出车辆前后方200m范围内高精度地图车道线离散点经纬度(经纬度以地心为原点)、离散点航向角(以正北方向为0°顺时针为证)、车道线类型、每一条车道宽度、车道数量、道路边界等地图信息。高精度地图单元可通过UDP(User Datagram Protocol,用户数据报协议)通讯方式将地图信息输出至ECU。雷达设备包括发射光学系统及接受光学系统等,其数量及布置可根据车型及车辆需要来进行设置。其中,雷达设备可通过CAN通讯方式将探测到的障碍信息传输给ECU。ECU采用CPU配置,且具有ROM、RAM、Flash Memory等可读存储介质,这些可读存储介质存储在关于上述纵向控制方法的算法程序。

[0164] 需说明的是,本发明实施例涉及的机器可读存储介质、自动驾驶车辆的纵向控制

系统的更多实施细节及效果可参考上述关于自动驾驶车辆的纵向控制方法的实施例,在此则不再进行赘述。

[0165] 以上所述仅为本发明的较佳实施方式而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

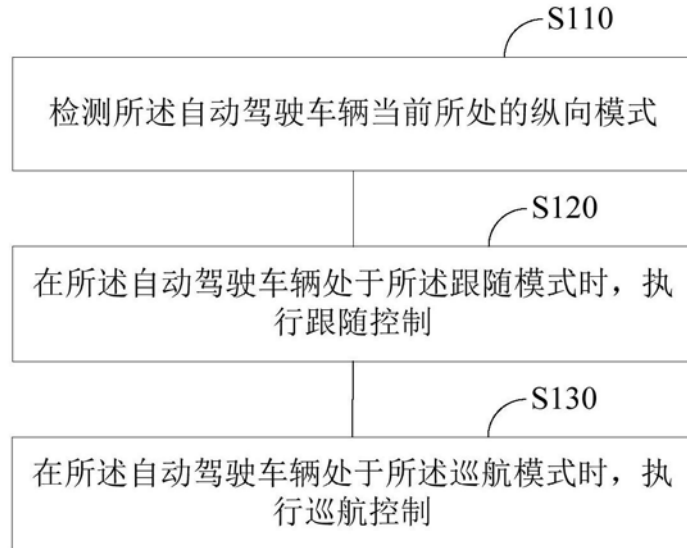


图1

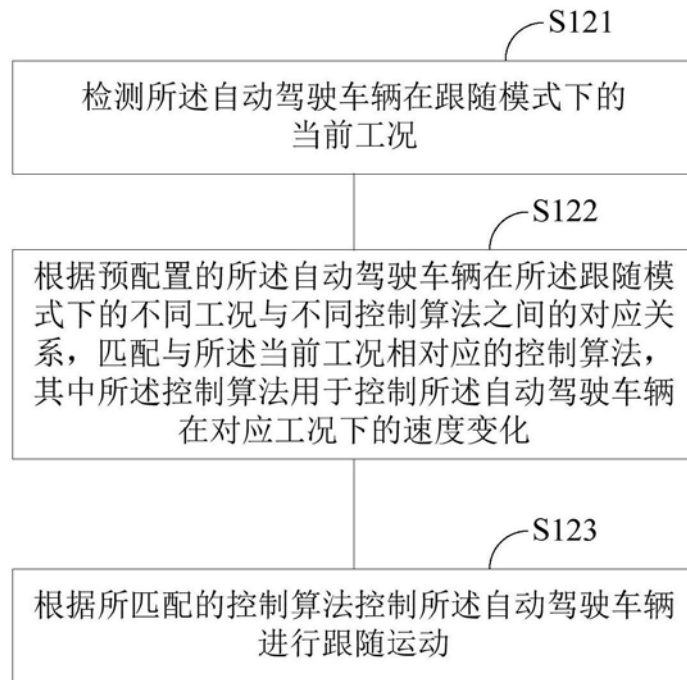


图2

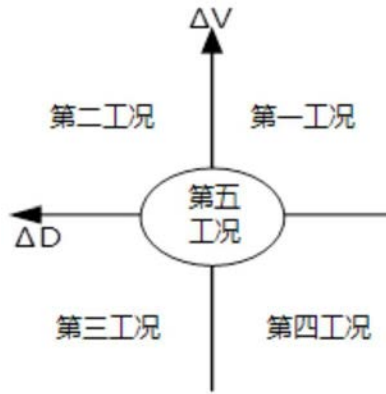


图3

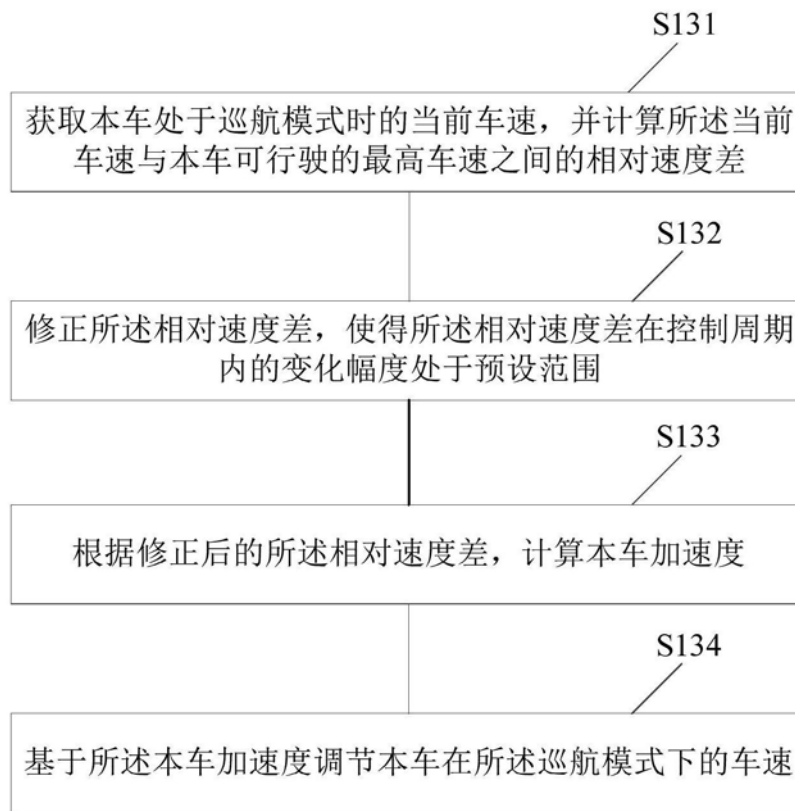


图4

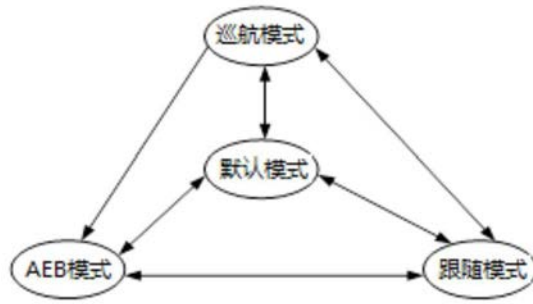


图5

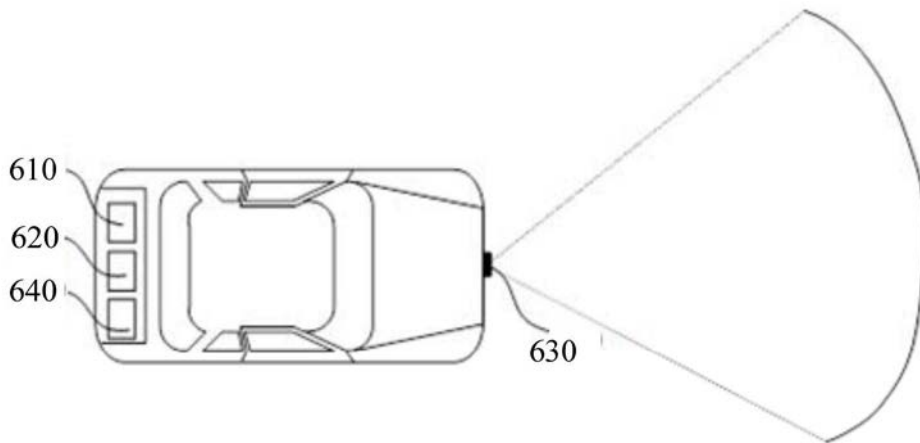


图6

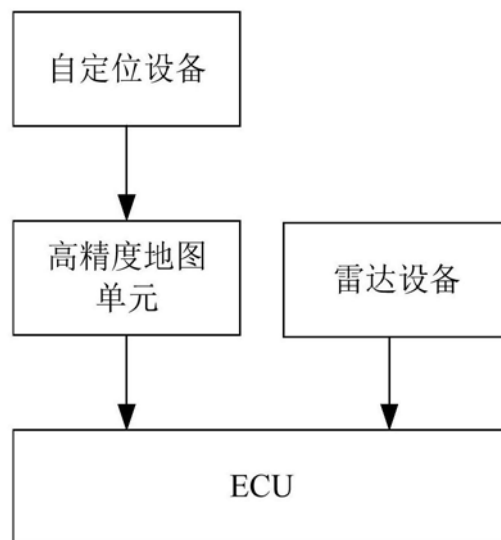


图7