

# 一种车辆自适应巡航控制系统

申请号：[201410033748.1](#)

申请日：2014-01-24

**申请(专利权)人** [清华大学](#)

**地址** [100084 北京市海淀区100084信箱82分箱清华大学专利办公室](#)

**发明(设计)人** [李克强 王建强 党睿娜 张书玮 虞辰霏 秦晓辉 谢伯元 徐成 王肖 俞倩雯](#)

**主分类号** [B60W30/14\(2006.01\)I](#)

**分类号** [B60W30/14\(2006.01\)I](#) [B60W40/04\(2006.01\)I](#)

**公开(公告)号** [103754221A](#)

**公开(公告)日** [2014-04-30](#)

**专利代理机构** [北京纪凯知识产权代理有限公司 11245](#)

**代理人** [徐宁 关畅](#)



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103754221 B

(45)授权公告日 2017.05.24

(21)申请号 201410033748.1

(22)申请日 2014.01.24

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103754221 A

(43)申请公布日 2014.04.30

(73)专利权人 清华大学  
地址 100084 北京市海淀区100084信箱82  
分箱清华大学专利办公室

(72)发明人 李克强 王建强 党睿娜 张书玮  
虞辰霏 秦晓辉 谢伯元 徐成  
王肖 俞倩雯

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245  
代理人 徐宁 关畅

(51)Int.Cl.

B60W 30/14(2006.01)

B60W 40/04(2006.01)

(56)对比文件

CN 101837781 A,2010.09.22,

US 8428843 B2,2013.04.23,

CN 101396968 A,2009.04.01,

CN 103065501 A,2013.04.24,

CN 103003118 A,2013.03.27,

审查员 徐春华

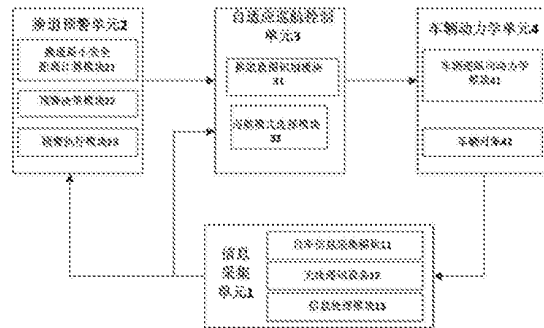
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

一种车辆自适应巡航控制系统

(57)摘要

本发明涉及一种车辆自适应巡航控制系统,其特征在於:它包括信息采集单元、换道预警单元、自适应巡航控制单元和车辆动力学单元;信息采集单元采集车辆的行驶状态信息,并对行驶状态信息进行处理发送到换道预警单元和自适应巡航控制单元;换道预警单元根据接收的车辆的有效运动信息,计算自车与周边车辆之间的换道最小安全距离,根据计算结果对换道风险进行判断,并根据判断结果对车辆进行预警,并将判断结果发送到自适应巡航控制单元;自适应控制单元根据车辆运动信息以及换道风险判断结果选择控制模式,并计算车辆纵向驾驶需要的期望纵向加速度,将计算得到的期望纵向加速度发送到车辆动力学单元;车辆动力学单元将期望纵向加速度转化为期望节气门开度或制动压力,并将其发送到车辆对象,完成对车辆对象的纵向控制。



CN 103754221 B

1. 一种车辆自适应巡航控制系统,其特征在於:它包括一信息采集单元、一换道预警单元、一自适应巡航控制单元和一车辆动力学单元;所述信息采集单元用于同时采集自车与周边车辆的行驶状态信息,并对采集的自车与周边车辆的行驶状态信息进行处理获取有效运动信息,并将有效运动信息分别发送到所述换道预警单元和自适应巡航控制单元;所述换道预警单元根据接收的自车与周边环境车辆的有效运动信息,计算自车与周边车辆之间的换道最小安全距离,根据计算得到的换道最小安全距离对换道风险进行判断,并根据判断结果对车辆进行预警,并将换道风险判断结果发送到自适应巡航控制单元;所述自适应巡航控制单元根据自车与周围车辆信息的有效运动信息以及换道风险判断结果选择控制模式,并根据所选择的控制模式计算车辆纵向驾驶需要的期望纵向加速度,将计算得到的期望纵向加速度发送到所述车辆动力学单元;所述车辆动力学单元将期望纵向加速度转化为期望节气门开度或期望制动压力,并将期望节气门开度或期望制动压力发送到车辆对象,完成对车辆对象的纵向控制;

所述自适应巡航控制单元包括一换道意图识别模块和一巡航模式选择模块,所述巡航模式选择模块中包括巡航模式、常规ACC模式和LCACC模式三种控制模式;所述换道意图识别模块判断得知驾驶员没有换道意图时,若原始车道前方车辆与自车的车间状态位于常规ACC模式工作范围以内,则进入常规ACC模式,否则进入巡航模式;当所述换道意图识别模块得知驾驶员具有换道意图时,且根据所述换道预警单元输出的换道风险判断结果判断得知换道存在风险,所述换道预警单元对驾驶员进行报警,则所述自适应巡航控制单元维持原巡航模式,继续维持与原始车道前车的跟车行驶;当所述换道意图识别模块得知驾驶员具有换道意图时,且根据所述换道预警单元输出的换道风险判断结果判断得知换道没有风险,进入LCACC模式,换道结束后切出该模式;换道开始后,LCACC包括前车跟踪模式和巡航模式,当自车与目标车道前车的车间状态位于ACC工作范围以内时,进入两前车跟踪模式;当该车间状态位于ACC工作范围以外时,目标车道具有足够换道空间,进入巡航模式。

2. 如权利要求1所述的一种车辆自适应巡航控制系统,其特征在於:所述信息采集单元包括一自车信息采集模块、一信息处理模块和一无线通讯设备;所述自车信息采集模块用于采集自车的行驶状态信息,并将采集的自车行驶状态信息发送到所述信息处理模块;所述无线通讯设备用于获取自车附近周边其他车辆的行驶状态信息,并将获取的附近其他车辆的行驶状态信息发送到所述信息处理模块;所述信息处理模块根据附近周边车辆与自车的纵横向位置的相关信息,筛选出原始车道前车、原始车道后车、目标车道前车和目标车道后车这四辆周边车辆,并提取各车辆的纵向位置、纵向速度、纵向加速度和横向位置。

3. 如权利要求1~2任一项所述的一种车辆自适应巡航控制系统,其特征在於:所述换道预警单元包括一换道最小安全距离计算模块、一预警决策模块和一预警执行模块;所述换道最小安全距离计算模块根据方向盘转角信号得知驾驶员产生换道意图后,根据接收的自车和周边环境车辆的有效运动信息,从跟车与避撞的角度出发分别计算自车与周边环境车辆之间的换道最小安全距离,并将计算得到的换道最小安全距离发送到所述预警决策模块;所述预警决策模块将自车与周边环境车辆的实际车间距离与预设的换道最小安全距离值进行对比,当任一实际车间距离小于相应换道最小安全距离值,认为换道存在风险,所述预警决策模块将判断结果发送到预警执行模块和自适应巡航控制单元,当换道存在风险时,所述预警执行模块开始报警,此时所述自适应巡航控制单元不对换道行为进行辅助,预

警过程中,若驾驶员及时取消换道,预警解除;当换道没有风险时,所述预警执行模块不报警,所述自适应巡航控制单元对换道行为进行辅助。

4.如权利要求1~2任一项所述的一种车辆自适应巡航控制系统,其特征在于:进入LCACC模式的车辆多目标协调换道辅助自适应巡航控制方法过程为:

1)根据两前车跟踪性、多车运动安全性和纵向驾驶舒适性的需求目标,设定LCACC的综合性能指标,其中,LCACC的综合性能指标包括代价函数和I/O约束;

①LCACC代价函数的设定:a)利用自车与两辆前车的车距误差和车速误差的二范数线性组合建立跟踪性代价函数;b)利用约束纵向加速度建立舒适性代价函数;

②LCACC I/O约束的设定:a)在跟踪性能方面,利用驾驶员实验数据统计得到用于限制车速误差和车距误差的驾驶员容许的跟车误差约束;b)在安全性能方面,从跟车和避撞的角度出发,约束自车与周边多车辆之间的安全距离;c)在舒适性能方面,约束期望纵向加速度的取值范围;

2)建立多目标协调优化控制问题,采用滚动时域优化算法求解多目标协调优化控制问题,得到最优控制量,实现优化控制。

## 一种车辆自适应巡航控制系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及车辆纵向行驶安全领域,特别是关于一种具有换道辅助功能的车辆自适应巡航控制系统。

### 背景技术

[0002] 作为驾驶辅助系统(DAS,Driver Assistance Systems)的典型代表之一,自适应巡航控制系统(ACC,Adaptive Cruise Control System)能够提升行驶安全、改善交通拥堵和缓解驾驶疲劳,已经得到研究机构 and 汽车企业的广泛认可与关注。迄今为止,ACC系统的发展已经比较成熟,然而,现有ACC系统在换道这一危险工况下还存在一定局限性:当驾驶员产生换道意图后,现有ACC系统未能对换道可行性进行分析;而且也未能对跟车目标的转换进行及时调整,从而对驾驶员换道行为造成阻碍;另外现有ACC系统的换道局限性增加了驾驶员对系统的手动干预频率,影响驾驶舒适性。

[0003] 现有ACC系统欲对驾驶员换道行为进行纵向辅助,在换道安全方面,需要对换道可行性进行综合判断,然而现有的换道预警系统主要关注目标车道后车,没有考虑自车与周边其他车辆之间的相对运动关系,不能对换道的综合风险进行评估。另外,在换道控制方面,需要解决换道过程中自车与两辆前车之间的跟踪性、自车与周边环境多车辆之间的安全性以及驾驶员纵向感受舒适性这三个方面的多目标协调优化问题,目前还没有针对这一问题的良好解决方法。虽然也有人提出在现有ACC系统增加自动换道功能,但是其存在两方面问题:第一,ACC系统只控制车辆的纵向运动,而自动控制系统还需要对方向盘转角进行控制,二者在执行器控制方面的差异容易扰乱驾驶员的操纵感;第二,自动换道系统只控制单车完成换道行为,忽略了自车在换道过程中与周边车辆的运动协调关系,安全性难以保障。

### 发明内容

[0004] 针对上述问题,本发明的目的是提供一种在换道工况下能够对周边环境风险进行判断和预警,并对驾驶员换道行为进行纵向辅助的车辆自适应巡航控制系统。

[0005] 为实现上述目的,本发明采取以下技术方案:一种车辆自适应巡航控制系统,其特征在于:它包括一信息采集单元、一换道预警单元、一自适应巡航控制单元和一车辆动力学单元;所述信息采集单元用于同时采集自车与周边车辆的行驶状态信息,并对采集的自车与周边车辆的行驶状态信息进行处理获取有效运动信息,并将有效运动信息分别发送到所述换道预警单元和自适应巡航控制单元;所述换道预警单元根据接收的自车与周边环境车辆的有效运动信息,计算自车与周边车辆之间的换道最小安全距离,根据计算得到的换道最小安全距离对换道风险进行判断,并根据判断结果对车辆进行预警,并将换道风险判断结果发送到自适应巡航控制单元;所述自适应控制单元根据自车与周围车辆信息的有效运动信息以及换道风险判断结果选择控制模式,并根据所选择的控制模式计算车辆纵向驾驶需要的期望纵向加速度,将计算得到的期望纵向加速度发送到所述车辆动力学单元;所述

车辆动力学单元将期望纵向加速度转化为期望节气门开度或期望制动压力,并将期望节气门开度或期望制动压力发送到车辆对象,完成对车辆对象的纵向控制。

[0006] 所述信息采集单元包括一自车信息采集模块、一信息处理模块和一无线通讯设备;所述自车信息采集模块用于采集自车的行驶状态信息,并将采集的自车行驶状态信息发送到所述信息处理模块;所述无线通讯设备用于获取自车附近周边其他车辆的行驶状态信息,并将获取的附近其他车辆的行驶状态信息发送到所述信息处理模块;所述信息处理模块根据附近周边车辆与自车的纵横向位置的相关信息,筛选出原始车道前车、原始车道后车、目标车道前车和目标车道后车这四辆周边车辆,并提取各车辆的纵向位置、纵向速度、纵向加速度和横向位置。

[0007] 所述换道预警单元包括一换道最小安全距离计算模块、一预警决策模块和一预警执行模块;所述换道最小安全距离计算模块根据方向盘转角信号得知驾驶员产生换道意图后,根据接收的自车和周边环境车辆的有效运动信息,从跟车与避撞的角度出发分别计算自车与周边环境车辆之间的换道最小安全距离,并将计算得到的换道最小安全距离发送到所述预警决策模块;所述预警决策模块将自车与周边环境车辆的实际车间距离与预设的换道最小安全距离值进行对比,当任一实际车间距离小于相应换道最小安全距离值,认为换道存在风险,所述预警决策模块将判断结果发送到预警执行模块和自适应巡航控制单元,当换道存在风险时,所述预警执行模块开始报警,此时所述自适应巡航控制单元不对换道行为进行辅助,预警过程中,若驾驶员及时取消换道,预警解除;当换道没有风险时,所述预警执行模块不报警,所述自适应巡航控制单元对换道行为进行辅助。

[0008] 所述自适应巡航控制单元包括一换道意图识别模块和一巡航模式选择模块,所述巡航模式选择模块中包括巡航模式、常规ACC模式和LCACC模式三种控制模式;所述换道意图识别模块判断得知驾驶员没有换道意图时,若原始车道前方车辆与自车的车间状态位于常规ACC模式工作范围以内,则进入常规ACC模式,否则进入巡航模式;当所述换道意图识别模块得知驾驶员具有换道意图时,且根据所述换道预警单元输出的换道风险判断结果判断得知换道存在风险,所述换道预警单元对驾驶员进行报警,则所述自适应巡航控制单元维持原巡航模式,继续维持与原始车道前车的跟车行驶;当所述换道意图识别模块得知驾驶员具有换道意图时,且根据所述换道预警单元输出的换道风险判断结果判断得知换道没有风险,所述进入LCACC模式,换道结束后切出该模式;换道开始后,LCACC包括前车跟踪模式和巡航模式,当自车与目标车道前车的车间状态位于ACC工作范围以内时,进入两前车跟踪模式;当该车间状态位于ACC工作范围以外时,目标车道具有足够换道空间,进入巡航模式。

[0009] 进入LCACC模式的车辆多目标协调换道辅助自适应巡航控制方法过程为:1)根据两前车跟踪性、多车运动安全性和纵向驾驶舒适性的需求目标,设定LCACC的综合性能指标,其中,LCACC的综合性能指标包括代价函数和I/O约束;①LCACC代价函数的设定:a)利用自车与两辆前车的车距误差和车速误差的二范数线性组合建立跟踪性代价函数;b)利用约束纵向加速度建立舒适性代价函数;②LCACC I/O约束的设定:a)在跟踪性能方面,利用驾驶员实验数据统计得到用于限制车速误差和车距误差的驾驶员容许的跟车误差约束;b)在安全性能方面,从跟车和避撞的角度出发,约束自车与周边多车辆之间的安全距离;c)在舒适性能方面,约束期望纵向加速度的取值范围;2)建立多目标协调优化控制问题,采用滚动时域优化算法求解多目标协调优化控制问题,得到最优控制量,实现优化控制。

[0010] 本发明由于采取以上技术方案,其具有以下优点:1、本发明设置有具有换道辅助功能的自适应巡航控制单元,自适应巡航控制单元能够结合自车信息、周边多车辆信息以及换道预警信息,在CC模式、常规ACC模式和LCACC模式之间平滑切换,使得车辆纵向控制更加符合驾驶员期望,自车在换道过程中能够与周边车辆的运动协调,因此能够解决了常规ACC对换道的阻碍问题,对车辆纵向行为进行多目标协调控制,能够及时对换道的综合风险进行评估,从而改善常规ACC在换道工况下的功能局限,提高系统的可接受度,有效保证车辆换道安全,避免事故发生。2、本发明设置有换道预警单元,换道预警单元根据接收的自车与周边环境车辆的有效运动信息,计算自车与周边车辆之间的换道最小安全距离,根据计算得到的换道最小安全距离对换道风险进行判断,并根据判断结果对车辆进行预警,因此本发明的换道预警单元综合考虑自车与周边多车辆之间的换道安全距离,能够对换道风险进行全面判断和预警,提醒驾驶员换道存在的风险。3、本发明进入LCACC模式的车辆多目标协调换道辅助自适应巡航控制首先根据两前车跟踪性、多车运动安全性和纵向驾驶舒适性的需求目标,设定LCACC的综合性能指标,并建立多目标协调优化控制问题,采用滚动时域优化算法求解多目标协调优化控制问题,得到最优控制量,实现自车优化控制,因此本发明通过建立多目标优化问题,很好解决了换道过程中两前车跟踪性、多车运动安全性和纵向驾驶舒适性三者之间的综合优化协调,有效保障自车换道安全,防止追尾事故的发生;LCACC代价函数的设定首先利用自车与两辆前车的车距误差和车速误差的二范数线性组合建立跟踪性代价函数;然后利用约束纵向加速度建立舒适性代价函数,跟踪性代价函数用于实现换道过程中自车与原始车道前车、目标车道前车这两辆车之间的协调跟踪问题,通过提前优化期望纵向加速度,降低了换道后的跟车调整时间,通过设计双目标的连续切换方法,避免常规ACC中跟车目标突变引起的期望加速度突变;LCACC I/O约束的设定首先在跟踪性能方面,利用驾驶员实验数据统计得到用于限制车速误差和车距误差的驾驶员容许的跟车误差约束;其次在安全性能方面,从跟车和避撞的角度出发,约束自车与周边多车辆之间的安全距离;另外在舒适性能方面,约束期望纵向加速度的取值范围;因此跟踪性I/O约束保证了车距误差和车速误差在驾驶员期望误差范围以内,符合驾驶员跟车期望;安全性I/O约束,使得自车与周边多车辆之间的车距尽量保持在安全跟车范围以内,提升了驾驶安全性;舒适性I/O约束,通过约束期望纵向加速度的变化量和取值范围,保证加速和制动强度,使得自车纵向运动过程符合驾驶员纵向舒适性要求。本发明可以广泛应用于车辆的换道过程中。

## 附图说明

- [0011] 图1是本发明LCACC系统的结构示意图;
- [0012] 图2是本发明LCACC系统中信息采集单元的结构示意图;
- [0013] 图3是本发明LCACC系统中换道预警单元的工作流程示意图;
- [0014] 图4是本发明LCACC系统中自适应巡航控制单元的工作流程示意图;
- [0015] 图5是本发明LCACC系统中LCACC控制器的控制原理示意图。

## 具体实施方式

- [0016] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0017] 如图1所示,本发明在现有车辆的驾驶控制系统中设置一换道辅助自适应巡航控制系统(LCACC, Adaptive Cruise Control with Lane Change Assist),它包括一信息采集单元1、一换道预警单元2、一自适应巡航控制单元3和一车辆动力学单元4;信息采集单元1用于同时采集自车与周边环境车辆的行驶状态信息,并对采集的自车与周边环境车辆的行驶状态信息进行处理获取有效运动信息,并将有效运动信息分别发送到换道预警单元2和自适应巡航控制单元3;换道预警单元2根据接收的自车与周边环境车辆的有效运动信息,计算自车与周边环境车辆之间的换道最小安全距离,根据计算得到的换道最小安全距离对换道风险进行判断,并根据判断结果对车辆进行预警,并将换道风险判断结果发送到自适应巡航控制单元3;自适应控制单元3根据自车与周围环境车辆信息的有效运动信息以及换道风险判断结果选择控制模式,并根据所选择的控制模式计算车辆纵向驾驶需要的期望纵向加速度,将计算得到的期望纵向加速度发送到车辆动力学单元4;车辆动力学单元4将期望纵向加速度转化为期望节气门开度或期望制动压力,并将期望节气门开度或期望制动压力发送到车辆对象,完成对车辆对象的纵向控制。

[0018] 上述实施例中,如图1、图2所示,信息采集单元1包括一自车信息采集模块11、一信息处理模块12和一无线通讯设备13。自车信息采集模块11用于采集自车的行驶状态信息,即包括自车的纵向位置、纵向速度、节气门开度、制动主缸压力、方向盘转角和横向位置,并将采集的自车行驶状态信息发送到信息处理模块12;无线通讯设备13用于获取自车附近周边其他车辆的行驶状态信息,即包括周边其他车辆的纵向位置、纵向速度、纵向加速度和横向位置,并将获取的附近其他车辆的行驶状态信息发送到信息处理模块12,其中,自车周边附近车辆包括四辆车,分别为自车所在车道的后方车辆信息(原始车道前车)、自车所在车道的后方车辆信息(原始车道后车)、自车换道目标车道的后方车辆信息(目标车道前车)、自车换道目标车道的后方车辆信息(目标车道后车);信息处理模块12根据附近周边车辆与自车的纵横向位置的相关信息,筛选出原始车道前车、原始车道后车、目标车道前车和目标车道后车这四辆周边车辆,并提取各车辆的纵向位置、纵向速度、纵向加速度和横向位置等。无线通讯设备13可以采用DSRC(Dedicated Short Range Communication)通讯设备。

[0019] 上述各实施例中,如图1、图3所示,换道预警单元2包括一换道最小安全距离计算模块21、一预警决策模块22和一预警执行模块23。换道最小安全距离计算模块21根据方向盘转角信号得知驾驶员产生换道意图后,根据接收的自车和周边环境车辆的有效运动信息,从跟车与避撞的角度出发分别计算自车与周边环境车辆(原始车道前车、原始车道后车、目标车道前车和目标车道后车)之间的换道最小安全距离,并将计算得到的换道最小安全距离发送到预警决策模块22。预警决策模块22将自车与周边环境车辆的实际车间距离与预设的换道最小安全距离值进行对比,当任一实际车间距离小于相应换道最小安全距离值,认为换道存在风险,预警决策模块22将判断结果发送到预警执行模块23和自适应巡航控制单元3。当换道存在风险时,预警执行模块23开始报警,此时自适应巡航控制单元3不对换道行为进行辅助,预警过程中,若驾驶员及时取消换道,预警解除。当换道没有风险时,预警执行模块23不报警,自适应巡航控制单元3对换道行为进行辅助。

[0020] 上述各实施例中,如图1、图4所示,自适应巡航控制单元3根据自车与周边环境车辆的有效运动信息以及换道风险判断结果对具体巡航模式进行判断,自适应巡航控制单元3包括一换道意图识别模块31和一巡航模式选择模块32,其中巡航模式选择模块中包括巡



航模式(CC模式)、常规ACC模式和LCACC模式三种控制模式。

[0021] 当换道意图识别模块31根据方向盘转角判断得知驾驶员没有换道意图时,若原始车道前方车辆与自车的车间状态位于常规ACC模式工作范围以内,则进入常规ACC模式,否则进入巡航模式;

[0022] 当换道意图识别模块31根据方向盘转角判断得知驾驶员具有换道意图时,且根据换道预警单元2输出的换道风险判断结果判断得知换道存在风险,换道预警单元2对驾驶员进行报警,则自适应巡航控制单元3维持原巡航模式,继续维持与原始车道前车的跟车行驶,原巡航模式在一定程度上对驾驶员换道纵向速度造成阻碍,降低驾驶员换道意图,从而实现安全辅助;

[0023] 当换道意图识别模块31根据方向盘转角,判断得知驾驶员具有换道意图时,且根据换道预警单元2输出的换道风险判断结果判断得知换道没有风险,则自适应巡航控制单元进入LCACC模式,换道结束后切出该模式;换道之前和换道之后,在单车道跟车行驶工况下,当车间状态位于ACC工作范围以内时,系统进入常规ACC模式,否则为巡航模式。以上三种模式中,其中巡航模式和常规ACC模式的控制过程为现有技术,不再进行赘述,本发明主要针对LCACC控制过程进行详细说明。

[0024] 如图5所示,进入LCACC模式的前提是换道之前车辆处于ACC模式,即自车与自车车道前车的车间状态处于ACC工作范围以内,换道开始后,LCACC包括两种两前车跟踪模式和巡航模式两种控制模式,当自车与目标车道前车的车间状态位于ACC工作范围以内时,进入两前车跟踪模式;当该车间状态位于ACC工作范围以外时,目标车道具有足够换道空间,进入巡航模式。

[0025] 当进入两前车跟踪模式中,需要协调自车与两辆前车的跟踪性,兼顾自车与周边环境车辆的车间运动安全性,考虑驾驶员纵向舒适性感受,实现换道辅助过程中跟踪性、安全性和舒适性的整体优化,本发明的车辆多目标协调换道辅助自适应巡航控制方法以模型预测控制(MPC,Model Predictive Control)理论为基础的,包括以下步骤:

[0026] 1、控制对象建模,在LCACC系统中,控制对象建模主要涉及三个方面:自车动力学模型、旁车动力学模型以及驾驶员期望跟车模型。

[0027] 1)根据车辆对象的纵向动力学和运动学分析建立自车动力学模型

[0028] 建立自车动力学模型以一阶惯性迟滞传递函数描述实际纵向加速度与期望纵向加速度之间的数学关系:

$$[0029] \quad a_x = \frac{K_g}{T_g s + 1} a_{xdes} \quad (1)$$

[0030] 式中, $a_x$ 为实际纵向加速度, $K_g$ 为函数增益, $T_g s$ 为时间常数。

[0031] 结合自车的纵向运动学特性,建立自车的纵向动力学模型为:

$$[0032] \quad \dot{\mathbf{x}}_h = \mathbf{A}_{cont} \mathbf{x}_h + \mathbf{B}_{cont} u \quad (2)$$

$$[0033] \quad \mathbf{A}_{cont} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1/T_g \end{bmatrix}, \mathbf{B}_{cont} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ K_g/T_g \end{bmatrix}$$

[0034] 式中, $\mathbf{x}_h = [s_h \ v_h \ a_h]^T$ 表示状态变量, $s_h$ 、 $v_h$ 和 $a_h$ 分别表示自车纵向位置、纵向速度和

纵向加速度,  $u = a_{xdes}$  为输入量,  $A_{cont}$  和  $B_{cont}$  分别为状态变量和输入量的系数矩阵。

[0035] 2) 旁车动力学模型的建立中, 为简化起见, 假设其在预测时域内以当前纵向加速度保持匀加速行驶, 通过运动学求解其纵向运动状态。

[0036] 3) 驾驶员期望跟车模型的建立时选择线性跟车模型:

$$[0037] \quad d_{des} = \tau \cdot v_h + d_{safe} \quad (3)$$

[0038] 式中,  $d_{des}$  表示驾驶员期望跟车距离,  $\tau$  表示期望跟车时距,  $d_{safe}$  表示安全停车距离。

[0039] 2、根据车辆多目标协调换道辅助自适应巡航控制的两前车跟踪性、多车运动安全性和纵向驾驶舒适性的需求目标, 设定LCACC的综合性能指标, 其中, LCACC的综合性能指标包括代价函数和I/O约束:

[0040] 1) LCACC的代价函数设定包括以下内容:

[0041] ①利用自车与两辆前车的车距误差和车速误差的二范数线性组合建立跟踪性代价函数, 保证跟车误差收敛以及跟车目标连续切换, 其中, 两辆前车分别是指自车所在车道的后方车辆和自车换道目标车道的后方车辆。

[0042] 本发明的跟踪性代价函数以自车与两辆前车的车距误差和车速误差的二范数线性组合为评价标准, 建立其离散型二次型跟踪性代价函数为:

$$[0043] \quad L_{tra} = \sum_{i=1}^P \lambda_{lo}(k) L_{tra_{lo}}(k+i+1|k) + \sum_{i=1}^P \lambda_{ld}(k) L_{tra_{ld}}(k+i+1|k)$$

$$[0044] \quad L_{tra_{lo}}(k+i+1|k) = w_{\Delta d} \Delta d_{1oh}(k+i+1|k)^2 + w_{\Delta v} \Delta v_{1oh}(k+i+1|k)^2 \quad (4)$$

$$[0045] \quad L_{tra_{ld}}(k+i+1|k) = w_{\Delta d} \Delta d_{1dh}(k+i+1|k)^2 + w_{\Delta v} \Delta v_{1dh}(k+i+1|k)^2$$

[0046] 式中,  $k$  表示当前时刻,  $(k+i+1|k)$  表示利用  $k$  时刻信息对  $k+i+1$  状态进行预测,  $P$  表示预测时域,  $L_{tra}$  表示跟踪性代价函数,  $L_{tra_{lo}}$  表示基于原始车道前车的跟踪性代价函数,  $L_{tra_{ld}}$  表示基于目标车道前车的跟踪性代价函数,  $\lambda_{lo}$  表示基于原始车道前车的跟车权重系数,  $\lambda_{ld}$  表示基于目标车道前车的跟车权重系数,  $\Delta d_{1oh}$  表示基于原始车道前车的车距误差,  $\Delta d_{1dh}$  表示基于目标车道前车的车距误差,  $\Delta v_{1oh}$  表示基于原始车道前车的车速误差,  $\Delta v_{1dh}$  表示基于目标车道前车的车速误差,  $w_{\Delta d}$  为  $\Delta d$  的权重系数,  $w_{\Delta v}$  为  $\Delta v$  的权重系数。

[0047] ②利用约束纵向加速度建立舒适性代价函数, 使得自车纵向运动符合驾驶员舒适性要求:

[0048] 本发明的舒适性能指标以约束纵向加速度来体现, 建立其离散型二次型舒适性代价函数为:

$$[0049] \quad L_{com} = \sum_{i=1}^P w_u a_{xdes}(k+i+1|k)^2 \quad (5)$$

[0050] 式中,  $L_{com}$  表示舒适性代价函数,  $a_{xdes}$  表示期望纵向加速度,  $w_u$  为  $a_{xdes}$  的权重系数。

[0051] 2) LCACC的I/O约束设定包括以下内容:

[0052] ①在跟踪性能方面, 利用驾驶员容许的跟踪性能指标限制车速误差和车距误差范围, 避免过大车距引起旁车切入, 或者过小车距引起车间追尾; 本发明利用驾驶员实验数据统计得到用于限制车速误差和车距误差的驾驶员容许的跟车误差约束, 其数学表达形式为:

$$[0053] \quad \Delta d_{min} \leq \Delta d_{1oh}(k+i|k) \leq \Delta d_{max}$$

$$[0054] \quad \Delta d_{\min} \leq \Delta d_{1dh}(k+i|k) \leq \Delta d_{\max} \quad (6)$$

$$[0055] \quad \Delta v_{\min} \leq \Delta v_{1oh}(k+i|k) \leq \Delta v_{\max}$$

$$[0056] \quad \Delta v_{\min} \leq \Delta v_{1dh}(k+i|k) \leq \Delta v_{\max}$$

[0057] 式中,  $k+i|k$  表示利用  $k$  时刻信息对  $k+i$  状态进行预测,  $d_{\min}$  表示车距误差的最小值,  $d_{\max}$  表示车距误差的最大值,  $v_{\min}$  表示车速误差的最小值,  $v_{\max}$  表示车速误差的最大值, 可以由驾驶员跟车过程的试验数据辨识得到。

[0058] ②在安全性能方面, 通过约束自车与周边多车辆之间的安全跟车距离, 保证跟车安全; 自车周边多车辆主要是指自车所在车道的后方车辆信息(原始车道前车)、自车所在车道的后方车辆信息(原始车道后车)、自车换道目标车道的后方车辆信息(目标车道前车)、自车换道目标车道的后方车辆信息(目标车道车)。

[0059] 本发明从跟车和避撞的角度出发, 约束自车与周边多车辆之间的安全距离, 其数学表达形式为:

$$[0060] \quad d_{s1oh}(k+i+1|k) \geq \max(\tau_{THW1o}v_h(k+i+1|k), \tau_{TTC1o}(v_h(k+i+1|k) - v_{1o}(k+i+1|k)))$$

$$[0061] \quad d_{s1dh}(k+i+1|k) \geq \max(\tau_{THW1d}v_h(k+i+1|k), \tau_{TTC1d}(v_h(k+i+1|k) - v_{1d}(k+i+1|k))) \quad (7)$$

$$[0062] \quad d_{sroh}(k+i+1|k) \geq \max(\tau_{THWr0}v_{r0}(k+i+1|k), \tau_{TTCr0}(v_{r0}(k+i+1|k) - v_h(k+i+1|k)))$$

$$[0063] \quad d_{srdh}(k+i+1|k) \geq \max(\tau_{THWr d}v_{rd}(k+i+1|k), \tau_{TTCrd}(v_{rd}(k+i+1|k) - v_h(k+i+1|k)))$$

[0064] 式中,  $d_{s1oh}$ 、 $d_{s1dh}$ 、 $d_{sroh}$  和  $d_{srdh}$  分别为自车与各车辆的安全跟车距离,  $\tau_{THW1o}$ 、 $\tau_{THW1d}$ 、 $\tau_{THWr0}$  和  $\tau_{THWr d}$  分别为基于各车辆的安全跟车时距,  $\tau_{TTC1o}$ 、 $\tau_{TTC1d}$ 、 $\tau_{TTCr0}$  和  $\tau_{TTCrd}$  分别为基于各车辆的安全避撞时间,  $v_h$ 、 $v_{1o}$ 、 $v_{1d}$ 、 $v_{r0}$  和  $v_{rd}$  分别为各车辆速度。

[0065] ③在舒适性能方面, 通过约束期望纵向加速度的取值范围, 保证纵向乘坐舒适性, 其数学表达形式为:

$$[0066] \quad u_{\min} \leq u(k+i+1|k) \leq u_{\max} \quad (8)$$

[0067] 式中,  $u$  表示自车的纵向加速度,  $u_{\min}$  表示加速度最小值,  $u_{\max}$  表示加速度最大值。

[0068] 3、建立多目标协调优化控制问题, 采用滚动时域优化算法求解多目标协调优化控制问题, 得到最优控制量实现优化控制, 具体包括以下步骤:

[0069] 1) 通过现有有关设备获得自车和周边多车辆的运动状态信息, 并将其发送到自车控制器; 自车运动状态信息包括自车的纵向位置、纵向速度、节气门开度、制动主缸压力、方向盘转角和横向位置, 自车运动状态信息包括周边多车辆的纵向位置、纵向速度、纵向加速度和横向位置;

[0070] 2) 利用线性加权和法将跟踪性代价函数和舒适性代价函数转化为整体代价函数;

$$[0071] \quad L_{\text{index}} = L_{\text{tra}} + L_{\text{com}} \quad (9)$$

[0072] 式中,  $L_{\text{index}}$  为整体代价函数。

[0073] 3) 将所有 I/O 约束转化为与系统预测时域输入向量相关的约束条件;

$$[0074] \quad A_U U \leq b_U \quad (10)$$

[0075] 式中,  $A_U$  为约束不等式的系数矩阵,  $U$  为系统预测时域输入向量,  $b_U$  为约束不等式的常数项矩阵。

[0076] 4) 结合代价函数和 I/O 约束的数学形式, 建立多目标协调优化控制问题:

$$[0077] \quad \min L_{\text{index}}$$

$$[0078] \quad \text{Subj. to:} \quad (11)$$

[0079]  $A_U U \leq b_U$

[0080] 5) 采用约束管理法软化硬约束,选择Dantzig-wolfe有效集法,求解多目标协调优化控制问题,得到最优控制量为:

[0081]  $U = \operatorname{argmin}_{L_{\text{index}}}$

[0082] Subj.to: (12)

[0083]  $A_U U \leq b_U$

[0084] 6) 提取最优控制量的首个元素 $U(0)$ ,即得到期望纵向加速度。

[0085] 上述各实施例中,如图1所示,车辆动力学单元4包括一车辆逆纵向动力学模块41和一车辆对象42,车辆逆纵向动力学模块41根据接收的自适应巡航控制单元3输出的最优控制量,即期望纵向加速度,得到输出期望节气门开度和期望制动压力,并将其发送到车辆对象42,从而实现控制器对车辆纵向运动的控制。

[0086] 上述各实施例仅用于说明本发明,其中各部件的结构和连接方式等都是可以有所变化的,凡是在本发明技术方案的基础上进行的等同变换和改进,均不应排除在本发明的保护范围之外。

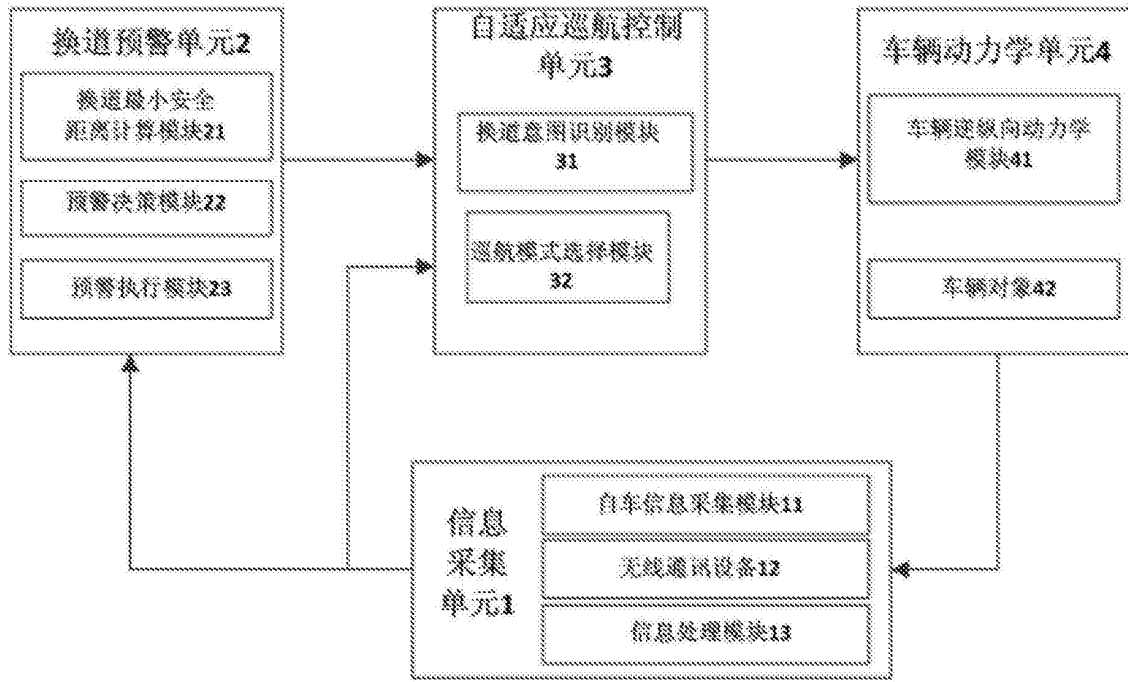


图1

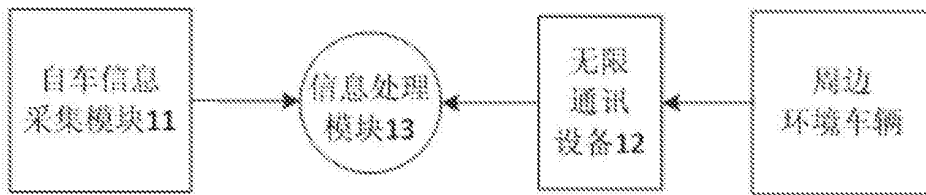


图2

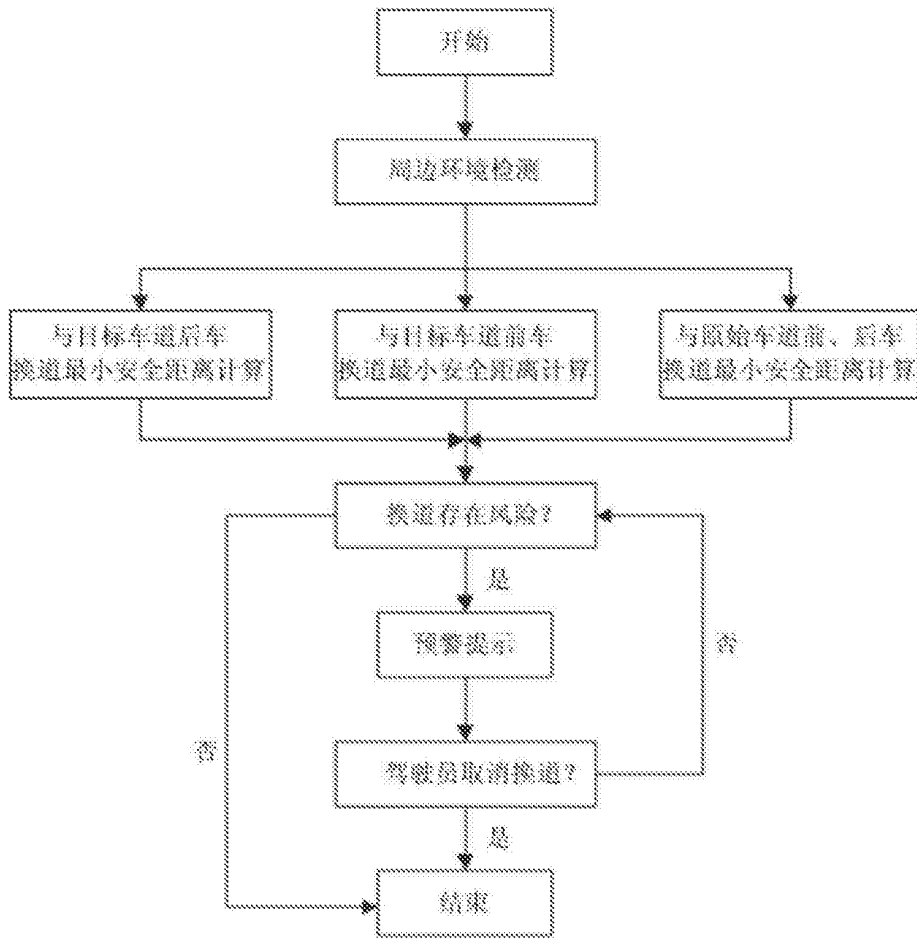


图3

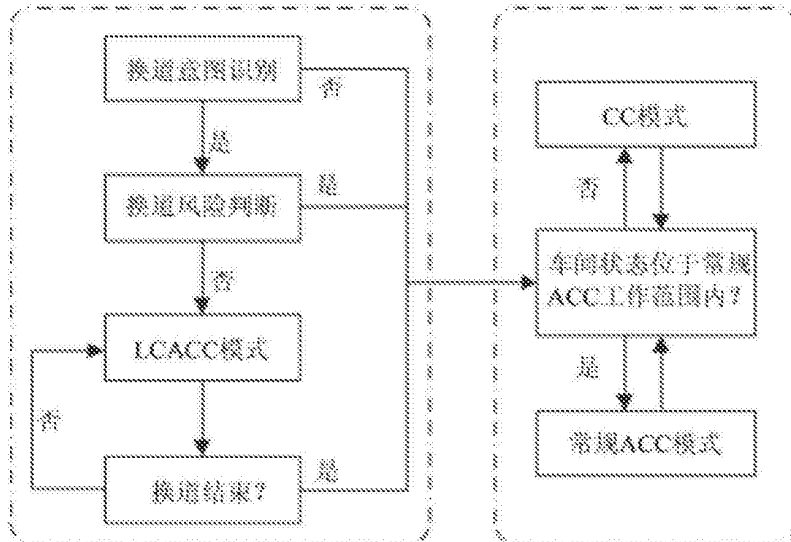


图4

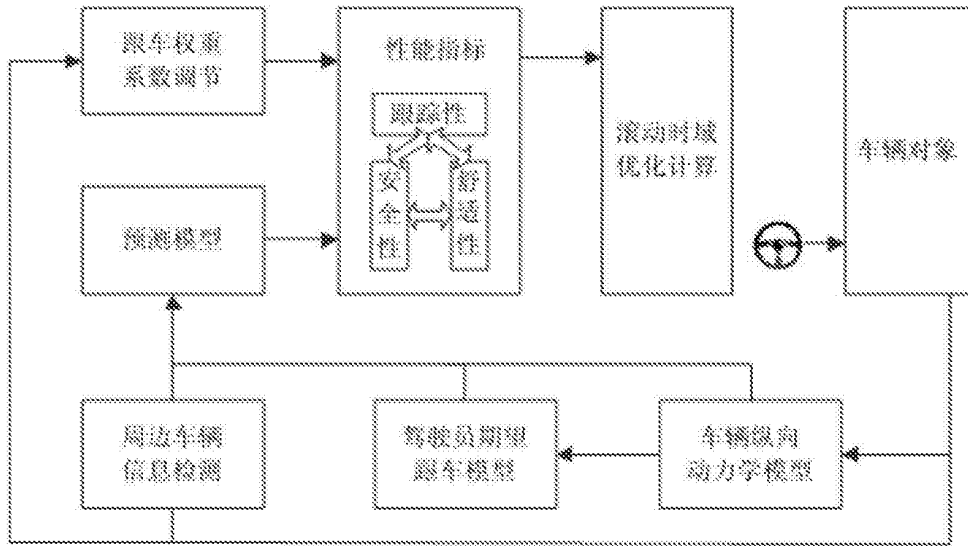


图5