

汽车 ACC 系统纵向控制六模式切换策略仿真研究^{*}

王楠¹ 刘卫国² 张君媛¹ 童宝锋¹

(1. 吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室 长春 130022;

2. 浙江省汽车安全技术研究重点实验室 杭州 310000)

摘要 为了增强现有六模式汽车自适应巡航(ACC)系统全工况下的适应性,文中综合考虑了2车相对速度、相对距离和本车速度等参数对ACC系统控制策略的影响,提出了1种六模式ACC系统控制模式的划分方法,并定量地确定了控制模式划分的边界条件。为了使ACC系统能够根据车辆行驶工况做出合理的响应,分别设计了各控制模式的加速度算法。将模式划分方法及控制策略建立相应的Simulink模型,考虑到PreScan具有场景建立便利性和可视化等优点,采用PreScan仿真场景并通过CarSim车辆动态模型,对所设计的六模式ACC系统进行了仿真试验。仿真结果表明:提出的六模式ACC系统,在全工况特别是前车切入等复杂工况下,较现有的六模式ACC系统表现出更好的适应性。

关键词 汽车安全;控制策略;仿真试验;ACC系统;模式划分

中图分类号:U461.91 文献标志码:A doi:10.3963/j.issn.1674-4861.2014.04.026

Simulation Test of a New Six-mode Switching Controller for Enhanced Adapt Cruise Control

WANG Nan¹ LIU Weiguo² ZHANG Junyuan¹ TONG Baofeng¹

(1. State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control, Jilin University, Changchun 130022, China;

2. Geely Automobile Institute Safety Technology Development Division, Hangzhou 310000, China)

Abstract: In order to enhance the adaptability of existing six-mode Adapt Cruise Control (ACC) system under all conditions, this paper considers the effects of several vehicle operation parameters, such as relative velocity, relative distance and velocity, on the ACC system controlling strategy, and then proposes a new six-mode ACC system. The proposed controller has a new classification scheme, where the classification boundary of each mode is quantified. In order to ensure the ACC system to respond reasonably according to the vehicle operation status, the control algorithm of acceleration rate of each mode is designed. Finally, the Simulink models for the proposed classification scheme and control method are developed. In addition, the vehicle dynamic models are developed in CarSim simulation scenarios are created in PreScan in order to visually study the effectiveness of the proposed controller. The simulation results show that the proposed six-mode ACC system is able to respond correctly in all conditions especially under complicated traffic scenarios.

Key words: automobile safety; controlling strategy; simulation test; ACC system; mode dividing

0 引言

汽车自适应巡航(ACC)系统具有定速巡航、跟随前车、紧急制动等功能,在应用时要根据不同的行驶工况对车辆进行不同的控制,而模式划分

是实现不同控制的1种方法。合理的控制模式划分方法与切换策略对ACC系统功能的实现具有重要作用。

目前国内、外大多数ACC系统根据行驶工况将系统划分成3~4个工作模式,再针对每个模

收稿日期:2014-03-11 修回日期:2014-06-21

^{*} 霍英东教育基金会项目(批准号:111080)、浙江省汽车安全技术研究重点实验室开放基金项目(批准号:LHY1109J0565)资助

第一作者简介:王楠(1990—),硕士研究生,研究方向:汽车被动安全性。E-mail:wn_jldx@163.com

式设计相应的 ACC 算法^[1-5]。意大利都灵大学的 Canale 等^[6]将自动跟车过程分为启步、巡航、跟随和停车 4 个阶段,对驾驶员每个阶段特性进行分析,并设计了相应的 ACC 算法。随着汽车主动安全和驾乘舒适要求的提高,同时考虑到四模式的 ACC 系统模式之间过渡不平顺,影响乘员舒适性,并且复杂工况下四模式 ACC 系统适应性下降问题,北京理工大学的裴晓飞等^[7]提出了 1 种多模式 ACC 系统,将 ACC 控制模式分为定速巡航、稳态跟随、接近前车、强加速、强减速和避撞等 6 种模式,并对六模式 ACC 系统进行实车试验,验证结果表明,其模式之间过渡的平顺性、车辆的动态跟踪特性以及系统的适应性较四模式 ACC 系统均有了较大的提高。

但是,现有的六模式 ACC 系统仍然无法在前车切入等复杂工况下进行合理的模式切换。为了增强六模式 ACC 系统在复杂工况下的适应性,笔者通过理论分析和仿真实验,对汽车纵向安全控制系统进行了研究,选取两车相对速度、相对距离和本车速度作为模式划分的基本参数,提出了 1 种新的六模式 ACC 系统的模式划分方法,并对各个模式的加速度算法进行研究,制定各个模式的控制策略。最后通过仿真试验对所设计的六模式 ACC 系统的划分方法及控制算法的合理性进行验证。

1 六模式 ACC 系统划分方法研究

1.1 模式划分方法

参照文献^[7],笔者也将车辆纵向行驶工况定性地划分成 6 类。为实现各工况的合理控制,需对每 1 种工况设计相应的 ACC 控制模式。模式划分参数的选用对模式划分方法的合理性具有重要的影响。目前普遍采用的用来表征车间运动状态的参数包括:本车速度、前车速度、2 车相对速度、2 车相对距离、跟车时距和避撞时间。一般来说,选用的参数太少不足以表示 2 车运动状态,选用的参数过多或算法较复杂均会导致执行时间过长。因此,笔者选取本车速度、2 车相对速度和 2 车相对距离等 3 个参数作为基本参数,提出了如图 1 所示的模式划分方法。

图 1 中, V_b 为本车速度; V_r 为相对速度(前车速度减去本车速度); R 为 2 车相对距离; R_{w1} 、 R_{w2} 分别为 $V_r > 0$ 和 $V_r < 0$ 时的减速安全距离; R_{b1} 、 R_{b2} 分别为 $V_r > 0$ 和 $V_r < 0$ 时的避撞安全距

离; R_j 为加速安全距离。这里, R_{w1} 、 R_{w2} 、 R_j 、 R_{b1} 、 R_{b2} 均为本车速度 V_b 与 2 车相对速度 V_r 的函数,将其统称为模式划分的边界条件。

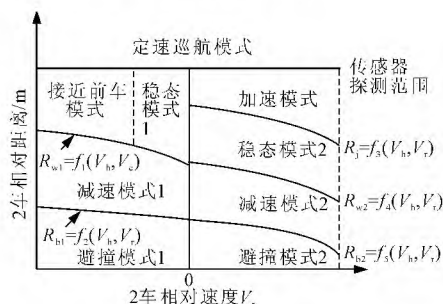


图 1 模式划分示意图

Fig. 1 Mode dividing

在笔者的模式划分方法中,当前车超出传感器有效探测距离时本车启用定速巡航模式;当前车进入传感器测试范围时,根据 2 车相对速度的关系将行驶工况大致分为 2 部分:

一部分为 $V_r < 0$ (图 1 的左半部分)时的情况。此时,若 $R \geq R_{w1}$,且 $|V_r| \geq k$,则 ACC 系统切换至接近前车模式,本车进行适当制动以向稳态模式 1 过渡;若 $R \geq R_{w1}$,且 $|V_r| < k$,则 ACC 系统切换至稳态跟随模式(1),本车进行油门/制动的微调以稳态跟随前车;若 $R_{b1} < R < R_{w1}$,则 ACC 系统切换至减速模式 1,本车进行适当制动;若 $R \leq R_{b1}$,则 ACC 系统切换至避撞模式 1,本车进行强制动。

另一部分为 $V_r > 0$ (图 1 的右半部分)时的情况。此时,若 $R \geq R_j$,则 ACC 系统切换至加速模式,本车进行适当加速;若 $R_{w2} \leq R < R_j$,则 ACC 系统切换至稳态跟随模式 2,本车进行油门/制动的微调以稳态跟随前车;若 $R_{b2} < R < R_{w2}$,则 ACC 系统切换至减速模式 2,本车进行适当制动;若 $R \leq R_{b2}$,则 ACC 系统切换至避撞模式(2),本车进行强制动。

1.2 模式划分的边界条件

ACC 系统随着汽车行驶工况的变化在不同控制模式间进行切换^[6-7]。本文 ACC 系统在本车速度与前车速度的大小关系确定的情况下,模式切换的时机取决于 1.1 定义的模式划分边界条件,各边界条件(R_{w1} 、 R_{w2} 、 R_j 、 R_{b1} 、 R_{b2})定义如下。

根据图 1 所示的模式划分方法,当 2 车相对距离刚好等于减速安全距离 R_{w1} 时,本车处于临界工况,要保证本车经过反应时间 t_1 后以 a 的减速度制动到与前车速度相等后 2 车相对距离能够

恰好达到安全车距 R_x 。因此, R_{w1} 的定义式为

$$R_{w1} = \frac{V_h^2}{2a} + t_1 V_a + R_x \quad (1)$$

式中: 驾驶员反应时间 t_1 根据文献[8]的统计研究取为 1.1 s。减速度 a 根据汽车行驶工况的统计结果^[9]取为 1 m/s^2 ; R_x 为高速公路安全距离标准^[10]规定的 2 车速度相同时应该保持的安全车距, 见表 1。

表 1 高速公路安全距离标准
Tab. 1 Highway safety standards

速度/(km·h ⁻¹)	≥120	100	80	60
安全距离/m	200	150	100	70

将表 1 中数据进行拟合, 得到图 2 所示的车速-距离分段关系曲线, 由此得到任意车速下 R_x 的计算式: 当 $V_h < 80 \text{ km/h}$, $R_x = 1.25V_h$; 当 $V_h > 80 \text{ km/h}$, $R_x = 2.5V_h - 100$ 。

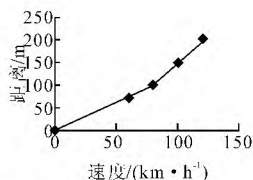


图 2 高速公路安全距离标准拟合曲线
Fig. 2 Fitting curve of highway safety standards

由图 1 可知, 当 2 车相对距离刚好等于减速安全距离 R_{b1} 时, 本车处于避撞模式临界工况, 必须保证, 若前车以最大制动减速度 a_p 制动, 本车经过反应时间 t_1 后, 以最大制动减速度 a_h 进行制动, 2 车均完全停止后能够相距 R_0 。因此, R_{b1} 的定义式为

$$R_{b1} = \frac{V_h^2}{2a_h} + V_h t_1 - \frac{(V_h + V_r)^2}{2a_p} + R_0 \quad (2)$$

这里, 考虑到避撞模式下前车制动减速度大于本车制动减速度时所需的制动安全距离更大, 因此保守起见, 取 $a_p > a_h$, 使得避撞安全距离算法更加安全。文中根据标准 ISO 15622:2002, 取 2 车静止时保持的最小距离 R_0 为 4 m。

在避撞模式(1)下, $V_r < 0$, 且本车制动减速度小于前车制动减速度, 并且本车还有制动滞后, 所以可以确定前车先停, 因此, 避撞安全距离 R_{b1} 的定义式为式(2)。但是在避撞模式 2 下, 虽然 $V_r > 0$, 但是本车有制动滞后, 所以要判断哪辆车先停, 再确定 R_{b2} 的定义式。本车制动至完全停止所需要的时间为 t_h : $t_h = V_h/a_h + t_1$ 。前车制动到完全停止所需要的时间为 t_p : $t_p = (V_h + V_r)/a_p$ 。当 $t_h > t_p$, 前车会先停, 此时 R_{b2} 定义式为式(3);

当 $t_h < t_p$, 本车会先停, 此时 R_{b2} 定义式为式(4)。

$$R_{b2} = \frac{V_h^2}{2a_h} + V_h t_1 - \frac{(V_h + V_r)^2}{2a_p} + R_0 \quad (3)$$

$$R_{b2} = V_h t_1 + \frac{V_h^2}{2a_h} + R_0 - \left[(V_h + V_r) \left(t_1 + \frac{V_h}{a_h} \right) + \frac{1}{2} a_p \left(t_1 + \frac{V_h}{a_h} \right)^2 \right] \quad (4)$$

由图 1 可知, 减速安全距离 R_{w2} 为稳态模式 2 和减速模式 2 的划分边界条件, 即 R_{w2} 为 $V_r > 0$ 时本车进行制动的时机。根据前文提到的高速公路安全距离标准^[10]可知, 即使前车速度比本车速度快, 一旦 2 车相对距离小于 R_x , 本车就要进行适当制动, 因此本文将 R_x 作为稳态模式 2 与减速模式 2 的临界条件, 得到 R_{w2} 的定义式。

$$R_{w2} = 1.25V_h \quad V_h < 80 \text{ km/h}$$

$$R_{w2} = 2.5V_h - 100 \quad V_h \geq 80 \text{ km/h} \quad (5)$$

经验总结, 当前车速度大于本车速度时, 本车要在 1 个合理的距离开始加速。如果加速过早, 若遇到前车突然制动, 本车就会缺少足够的距离减速, 这种情况是十分危险的; 如果加速过晚, 2 车距离会逐渐拉大, 前车可能超出测试范围, 而无法达到跟车的目的。笔者经过大量仿真实验, 最后确定加速安全距离 R_j 的经验公式

$$R_j = \frac{V_r}{18} \times 90 + \frac{V_h}{21} \times 90 + (V_h + V_r) + \frac{18 - V_r}{V_r + 2} \times 8 - \frac{V_r^2}{2a_h} \quad (6)$$

2 六模式 ACC 系统加速度算法研究

在不同的 ACC 控制模式下, 下位控制算法大体相似, 但上位控制算法有所差异, 因此笔者只对上位控制算法进行研究。根据韩国首尔大学的 Moon 等^[11]的统计数据, 驾驶员行车的纵向加速度 98% 集中于 $-2.17 \sim 1.77 \text{ m/s}^2$, 并且减速度达到 $-3 \sim -4 \text{ m/s}^2$ 时会引起人体的不适。笔者将该统计数据作为参考, 分别针对 6 种模式的加速度算法进行研究。

通常, 在定速巡航模式下, 驾驶员往往希望实际车速与设定车速尽可能接近。为此, 将该模式下的加速度算法分为 2 部分: 当实际车速小于设定车速时, 取本车加速度为 1 m/s^2 ; 当实际车速达到设定车速(误差在 $\pm 1 \text{ km/h}$ 范围内), 本车加速度 a 的计算式为

$$a = k_1 V_r \quad (7)$$

式中: k_1 为比例系数, 取 k_1 值为 1。

如前所述,接近前车模式下 2 车速度差值较大,且本车比前车速度快,同时相对距离 R 大于减速安全 R_{w1} ,因此需要制动本车保证安全性。为了符合驾驶员的均匀减速特性^[12-13],最终过渡到稳态跟随模式,根据运动学关系,加速度 a 的计算式为

$$a = \frac{V_r^2}{2(R - R_{w1})} \quad (8)$$

本文稳态跟随模式 1 下,2 车车速较接近,但相对速度小于零,若本车保持当前车速不变,相对距离会减小,可能减小到小于减速安全距离 R_{w1} ,进入到减速模式,而无法达到稳态跟随前车的目的,因此本车要进行微小的制动,根据运动学关系得到该模式下加速度 a 的计算式为

$$a = k_2 \frac{V_r^2}{2(R - R_{w1})} \quad (9)$$

式中: k_2 为比例系数。经大量仿真实验发现,当本车处于稳态模式 1,式(9)的加速度值在 $-0.08 \sim -0.12 \text{ m/s}^2$ 内,变化范围很小,因此取该模式下加速度 a 为 -0.1 m/s^2 。

本文稳态跟随模式 2 下,2 车车速较接近,但相对速度大于零,若本车保持当前车速不变,相对距离会增大,可能增大到大于加速安全距离,进入到加速模式,而无法达到稳态跟随前车的目的,因此本车要有 1 个微小的加速度,综合考虑乘员舒适性与驾驶需求后将该模式下本车加速度 a 取为 0.4 m/s^2 。

特别地,当本车处于稳态跟随模式 1 或稳态跟随模式 2,若此时 2 车速度特别接近,本车可能在稳态模式与减速模式之间频繁切换,而造成加速度较大地波动,进而导致油门开度和制动压力不稳。为此,将 2 车速度特别接近时本车加速度 a 的计算式设定为

$$a = k_3 V_r \quad (10)$$

式中: k_3 为比例系数,通过对控制模型进行大量仿真试验,得出 k_3 取 0.02 时较为合理。

在笔者的模式划分方法中,减速模式 1 为稳态模式 1 与避撞模式 1 的过渡区,而稳态模式 1 下本车减速度接近于 0、避撞模式 1 下本车减速度较大,因此减速模式 1 的加速度需要覆盖 $0 \sim -4 \text{ m/s}^2$ 的范围。为保证本车在所设计的模式之间切换时的平顺性,将图 1 中减速模式 1 部分分成 3 区域,如图 3 所示,区域 1 与 2 个稳态区域相邻,视为亚稳态区域;区域 2 与亚稳态区域和接

近模式区域相邻,视为弱减速区域;区域 3 与弱减速区域和避撞模式区域相邻,视为强减速区域。然后本文将得到的 3 个区域进一步细分成 8 部分,考虑到各部分工况的危险程度及均匀减速特性,本文将这 8 部分的加速度从右至左依次取为: $-0.5, -0.75, -1.25, -1.75, -2.25, -2.75, -3.25, -3.75 \text{ m/s}^2$ 。由于该模式下的加速度为 8 个离散值,在实际应用时可能会产生加速度的波动,为了解决这一问题,取当前算出的期望加速度以及在此之前 3 次算出的期望加速度的均值作为当前期望加速度。又由于减速模式 2 为稳态模式 2 与避撞模式 2 的过渡区,所以对减速模式 2 的控制与减速模式 1 相同,因此取本车在减速模式 2 下的加速度算法与减速模式 1 的加速度算法相同。

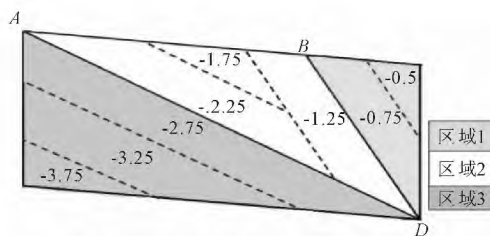


图 3 减速模式加速度划分图

Fig. 3 Acceleration dividing of deceleration mode

当 ACC 系统处于避撞模式时,本车行驶工况非常危险,为确保行车的安全性,本文牺牲乘员舒适性取该模式下本车的加速度为车辆所能达到的最大制动减速度。

在加速模式下,前车车速大于本车车速,同时两车相对距离较大,因此本车可以进行适当加速。笔者综合考虑乘员舒适性与驾驶需要等要求,参照汽车行驶工况统计结果,取该模式下本车加速度 a 为 1 m/s^2 。

3 仿真实验

笔者将提出的模式划分方法和控制算法建立相应的 Simulink 模型。考虑到 PreScan 建立的场景具有可视、快速、方便、易修改等优点,笔者采用 PreScan 建立的仿真场景(见图 4),并将 Car-Sim 动态模型与 PreScan 中的仿真车辆相结合,对所提出的 ACC 系统的模式划分方法和控制算法在典型工况以及前车切入等复杂工况下的适应性进行了验证。所建立的相应的 Simulink/PreScan/Carsim 联合仿真的示意图见图 5。

考虑到现有 ACC 控制算法在前车紧急切入

工况下的不合理控制甚至是失效,笔者特别针对这一复杂工况进行仿真,来验证所提出的控制算法的合理性,具体仿真过程如下。



图 4 PreScan 仿真场景图

Fig. 4 Simulation scenario in PreScan

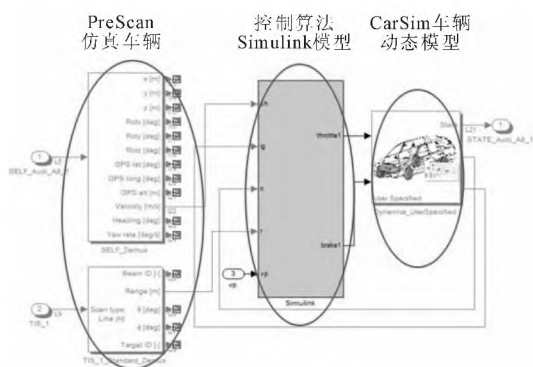


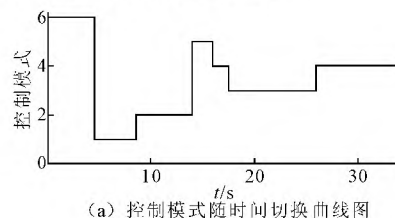
图 5 Simulink/Prescan/Carsim 联合仿真的示意图

Fig. 5 The joint simulation diagram of Simulink/Prescan/Carsim

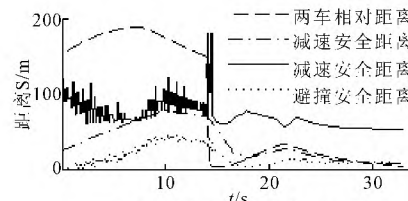
首先设定本车定速巡航模式的既定车速为 70 km/h、传感器测试范围为 180 m。然后设定车辆运动状态:前车以 54 km/h 的初速度与本车在同一车道匀速行驶,2 车初始距离为 150 m。6 s 后前车以 6 m/s^2 的减速度进行制动,当前车车速减至 36 km/h 时保持匀速行驶。14 s 时,位于相邻车道的第 3 辆车以 36 km/h 的车速,变换车道插入本车与前车之间。其仿真验证结果如图 6 所示。这里,控制模式的代号(1~6)的定义分别为:定速巡航模式;接近前车模式;稳态跟随模式;减速模式;避撞模式;加速模式。

由图 6(b)可以看出,在 0~4 s 的过程中 $R > R_j$,因此 ACC 系统处于加速模式,并以 1 m/s^2 的加速度行驶以满足驾驶需求;在 4~8 s 过程中,前车超出传感器测试范围,因此 ACC 系统切换至定速巡航模式,而由图 6(c)可以看出,此时 $V_h < 70 \text{ km/h}$,所以本车以 1 m/s^2 的加速度行驶;8 s 时, $R > R_{w1}$ 且 2 车相对速度较大,因此 ACC 系统切换至接近前车模式,进行适当制动;14 s 时,

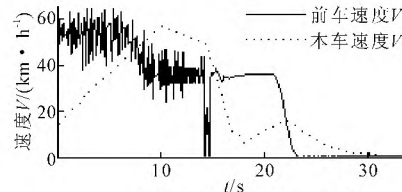
第 3 辆车以与前车相同的速度插入本车与前车之间,此时相对速度不变但相对距离减小至小于于避撞安全距离,因此 ACC 系统切换至避撞模式,所以本车进行强制制动以躲避危险工况;16 s 时,有 $R_{b1} < R < R_{w1}$,因此 ACC 系统切换至减速模式;18 s 时,有 $R > R_{w1}$ 且两车相对速度较大,因此 ACC 系统切换至接近前车模式;26 s 时,有 $R_{b1} < R < R_{w1}$,因此 ACC 系统切换至减速模式,所以本车以适当减速度制动至停止。



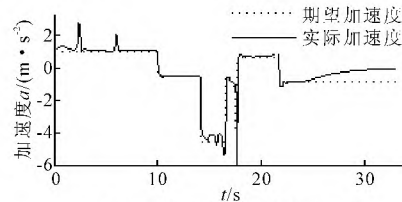
(a) 控制模式随时间切换曲线图



(b) 距离随时间变化曲线图



(c) 速度随时间变化曲线图



(d) 加速度随时间变化曲线图

图 6 仿真验证结果

Fig. 6 Simulation results

可以看出,在整个仿真过程中,所提出的 ACC 系统能够根据前方无车、前车减速和前车紧急制动等典型工况及前车切入等复杂工况进行合理的模式切换,并能根据所处模式使车辆进行适当地制动/加速,以保证行车安全和驾驶需求。

4 结束语

为了增强六模式 ACC 系统在全工况下的适应性,笔者通过理论分析和仿真实验,对汽车纵向安全控制系统进行了研究。选用 2 车相对距离、

相对速度以及本车速度作为基本参数,重新定义了模式划分方法;并研究了 ACC 系统的 6 种加速度模式,分析了模式应用的工况特点,基于驾驶员特性和汽车行驶工况统计结果,提出了相应的控制算法;最后对该 ACC 系统进行了仿真验证,验证结果表明:本文提出的六模式 ACC 系统,在全工况特别是前车切入等复杂工况下,较现有的六模式 ACC 系统表现出更好的适应性。

笔者仅在仿真环境中对所提出的六模式 ACC 系统的适应性进行了验证。虽然仿真研究可以使前期的 ACC 系统开发节约时间和成本,但是,仿真环境没有考虑到硬件、实车与路面等影响因素。若要投入使用,还需要进行硬件设计、硬件在环试验以及实车道路试验。

参考文献

- [1] CANALE M, MALAN S, MURDOCCO V. Personalization of ACC stop and go task based on human driver behavior analysis[C]// IFAC, the 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain; IFAC, 2002:1126-1131.
- [2] PERSSON M, BOLTING F, HESSLOW E, et al. Stop & go controller for adaptive cruise control[C]// Proceedings of the IEEE international conference on control application, Hawai' i, USA, : IEEE, 1999:1692-1698.
- [3] Ioannou P, Xu Z. Throttle and brake control systems for automatic vehicle following[J]. California PATH Research Paper, 1994,1(4):345-377.
- [4] Schiehlen J, Schwertberger W. Adaptive cruise control for coaches[C]// AVEC'96 International Symposium on Advanced Vehicle Control. Aachen University of Technology, Germany, : Aachen University of Technology, 1996.
- [5] K Yi, D Han. A vehicle stop and go control strategy based on human drivers driving characteristic [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2005,19(4):993-1000.
- [6] 张德兆,王建强,刘佳熙,等. 加速度连续型自适应巡航控制模式切换策略[J]. 清华大学学报, 2010, 50(8):1277-1281.
- Zhang Dezhaoh, Wang Jianqiang, Liu Jiayi, et al. Continuous adaptive cruise control mode switching strategy of acceleration [J]. Journal of Tsinghua University, 2010,50(8):1277-1281.
- [7] 裴晓飞,刘昭度,马国成,等. 汽车自适应巡航的多模式切换控制[J]. 机械工程学报, 2012, 48(10): 3901-10.
- Pei Xiaofei, Liu Zhaodu, Ma Guocheng, et al. Multi-mode switching control of automotive adaptive cruise[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012,48(10):3901-10.
- [8] McLaughlin B, Hankey M, Dingus A, et al. Automotive collision avoidance system field operational test[R]. Alexandria: NHTSA Technical Report, 2005.
- [9] 张开斌,阮廷勇. 中国六城市汽车行驶工况的测试统计分析[J]. 汽车研究与开发, 2005(12)33-36.
- Zhang Kaibin, Ruan Tingyong. Statistical analysis of Chinese six city car driving cycle test[J]. Automotive research and development, 2005(12)33-36.
- [10] 于立萍. 基于车距雷达的汽车安全辅助驾驶技术研究[D]. 北京:清华大学, 2004.
- Yu Liping. Automotive safety driving assistant research based on vehicle distance radar[D]. Beijing: Tsinghua University, 2004.
- [11] Moon S, Yi K. Human-centered design of a vehicle adaptive cruise control algorithm[J]. Vehicle System Dynamics, 2008,46(8):661-690.
- [12] 张磊. 基于驾驶员特性自学习方法的车辆纵向驾驶员辅助系统[D]. 北京:清华大学, 2009.
- Zhang Lei. Longitudinal Vehicle Driver Assistance Systems based on the driver characteristics self-learning method[D]. Beijing: Tsinghua University, 2009.
- [13] 童宝锋,刘卫国,张君媛,等. 基于目标速度的汽车 ACC 系统油门控制策略研究[J]. 交通信息与安全, 2012,30(4):1674-4861.
- Tong Baofeng, Liu Weiguo, Zhang Junyuan, et al. ACC system's throttle control strategy based on target speed[J]. Journal of Transportation Information and Safety, 2012,30(4):39-43.