

车辆自适应巡航控制系统有效目标辨识算法

焦新龙^{1,2},米雪玉³,王 畅²,黄国潮⁴,刘雪莲¹

(1. 宁波市港口城市发展与环境研究中心,浙江 宁波 315211; 2. 长安大学 汽车学院,
陕西 西安 710064; 3. 河北联合大学 建筑工程学院,河北 唐山 063009;
4. 浙江交通职业技术学院 汽车学院,浙江 杭州 311112)

摘 要:针对现有汽车自适应巡航控制系统(adaptive cruise control, ACC)在弯道上经常出现的追踪目标丢失问题,利用微波雷达、三轴陀螺仪、车道线识别系统等传感器构建了自然驾驶行为试验车。在高速公路、国道等道路下进行了多位驾驶人的实际道路自然驾驶试验,提取了自然跟车过程中的自车运动状态数据以及道路交通环境数据。采用车速与车身横摆角速度,基于非线性三自由度车辆动力学模型建立了横摆角速度的卡尔曼滤波器,实现了对道路曲率的在线实时估算。在此基础上,以前方目标车辆的后侧中心是否处于本车车道为判断依据,建立了 ACC 系统有效目标辨识模型。研究结果表明:建立的模型能够快速识别 ACC 系统的有效目标,对多个目标的区分能力较强;尽管该道路曲率估算误差较大,但模型依然能够准确辨识得到 ACC 系统的有效目标。

关键词:汽车工程;自适应巡航;目标辨识;曲率估算;卡尔曼滤波

中图分类号:U461

文献标志码:A

Valid target distinguish method of vehicle adaptive cruise control system

JIAO Xin-long^{1,2}, MI Xue-yu³, WANG Chang², HUANG Guo-chao⁴, LIU Xue-lian¹

(1. Research Center of Ningbo Port Urban and Environment, Ningbo 315211, Zhejiang, China; 2. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. School of Civil and Architectural Engineering, Hebei United University, Tangshan 063009, Hebei, China; 4. School of Automobile, Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 311112, Zhejiang, China)

Abstract: In order to establish valid target distinguish method of adaptive cruise control (ACC), microwave radar, 3-axis gyroscope, lane mark detect system and other sensors were used to set up natural driving behavior test vehicle. Real road natural driving test was carried out on expressway and national road, and vehicle running state data and road traffic condition data during following process were extracted. Based on nonlinear three degrees of freedom vehicle model, Kalman filter was established for filtering yaw rate. Vehicle speed and yaw rate after filtering were used to carry out road curvature online real-time estimation. On this basis, ACC valid target distinguish model was set up on the foundation whether the center of target vehicle was in the own vehicle's lane. The results show that this model can recognize the valid target of ACC quickly, and it can distinguish many objects quite well. Although the curvature estimation errors are

收稿日期:2013-04-26

基金项目:国家自然科学基金项目(51178053,61374196);宁波市自然科学基金项目(2012A610153);
中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013G1221024,2013G1221025)

作者简介:焦新龙(1975-),男,山西五寨人,副教授,工学博士, E-mail:jxlchina001@163.com。

large, this model can still recognize the ACC system's valid target accurately. 1 tab, 13 figs, 16 refs.

Key words: automotive engineering; adaptive cruise control; target distinguish; curvature estimation; Kalman filter

0 引言

自适应巡航系统(adaptive cruise control, ACC)采用雷达技术对前方车辆进行探测,自动调节自身车辆与自车道前方车辆的纵向距离,巡航过程中驾驶人只需要对方向盘进行操作,从而降低了驾驶人的负荷,尤其是在长途驾驶过程中效果更为突出^[1-2]。目前,ACC 系统在中高端车型上已经有一定程度的应用,提高了这些车型避免追尾的能力。但实际的使用过程表明,目前现有的 ACC 系统在弯道上使用时容易出现目标丢失或者目标混乱情况,从而导致车辆出现非正常的加速或者减速,严重威胁到了车辆的行驶安全。从 ACC 系统工作原理出发,可以将前方道路的其他车辆分为 2 类:有效目标和无效目标。所谓有效目标是指该车辆与自车处于同一车道,而无效目标则是指该车辆与自车不处于同一车道^[3]。现有 ACC 系统通过对道路曲率进行估计,然后判断前方车辆与自车的横向间距是否满足有效目标的关系,进而对发动机进行控制。

道路前方通常会存在多个车辆,如何从多个车辆中辨识出自车车道前方的车辆,即如何挑选有效目标是 ACC 系统的核心问题。从车辆在道路上运行的过程而言,有效目标的确定应该是基于车道标线而实现。当自车在车道内的位置发生波动,而前方车辆也相应的发生波动时,如果不依靠车道线为参考标准则要准确辨识有效目标较为困难,尤其在弯道路段。分析原因,目前 ACC 系统还无法获取车道线位置的信息,从而导致系统在弯道路段经常出现目标丢失或者目标混乱的现象。

对于 ACC 有效目标的辨识问题,研究人员从雷达技术与机器视觉技术出发进行了广泛研究。Zomotor 等率先提出了车辆目标和道路几何综合跟踪的概念,用于分析车间相对运动关系,他们认为前方车辆总是会保持自己的车道行驶,因而在低能见度情况下,基于视觉系统的车道标识线识别效果产生衰减时,可以使用前方车辆的横向位移对道路几何变化情况进行估计^[4];Eidehall 等研究了车辆周围的车道几何曲率和其他车辆位置的估计问题,并

将该问题归结为非线性估计问题^[5];Barber 等认为可以通过车辆的横摆角速度和车速对道路曲率进行估计,进而对道路的轨迹进行估计,这对于确定自车前方或相邻车道是否有障碍物有着重要的意义^[6];Mobus 等提出在弯道上自适应巡航系统需要识别道路曲率,用于追踪前方目标车辆,并基于车道线识别系统建立了车辆目标识别算法^[7];部分研究人员采用机器视觉技术对前方车辆和车道线进行识别,用于辨识其他车辆所处的车道^[8-11]。

总结上述研究可知,采用机器视觉技术从理论上可准确辨识出前方车辆所处的车道,实现对 ACC 有效目标的挑选,但目前机器视觉技术对前方车辆的识别能力还不完善,且识别距离与识别鲁棒性有限,短期内还无法普及使用。另一方面,基于雷达技术的目标识别方法无法辨识其他车辆所处的车道,在非直线道路上这个问题更加突出。基于此,本文结合雷达技术和机器视觉技术的优点,从实际应用出发,以车道线为参考对象,提出一种 ACC 系统有效目标辨识算法,实现对 ACC 系统有效目标的实时辨识。

1 有效目标辨识方法

1.1 辨识模型

ACC 系统工作时的理论参考对象为车道线,因此判断前方其他车辆是否与本车处于同一车道的最终依据是前方其他车辆相对于车道线的距离。由于道路的线形复杂多变,大部分研究人员分别对直道路段和弯道路段的车辆间动态位置关系进行分析。本文中不再区分直道路段和弯道路段,原因在于车辆在道路上的运行过程是一个动态运动过程,通过将直道路段曲率半径设置成为无限大即可与弯道路段进行统一处理。从此角度出发,以向右转弯路段为例,建立 ACC 系统前方有效目标的辨识模型。车辆间相对位置关系如下页图 1 所示。

图 1 中,自车处于左侧车道, d_L 为自车左侧边沿到左侧车道线的距离; d_R 为自车右侧边沿到右侧车道线的距离;前方目标车处于右侧车道,其后保险杠中点 B 与自车前保险杠中点 A 的连线长度为 r ;

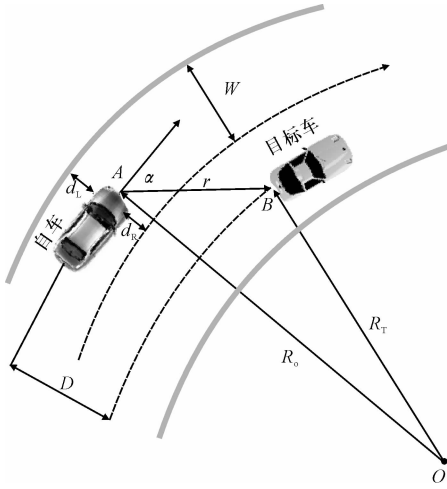


图1 车辆间相对位置关系

Fig. 1 Relative position between vehicles

AB点之间的连线与自车中轴线的夹角为 α ; R_0 为自车行驶轨迹的曲率半径; R_T 为目标车行驶轨迹的曲率半径; D 为自车和目标车在垂直于车道线方向上的横向位移差; W 为车道宽度。

图1中, d_L 、 d_R 由车道线监测传感器测量, α 、 r 由微波雷达所测量。设定自车行驶轨迹的半径 R_0 已知, 则图1中参数满足以下规律, 即

$$R_T^2 = R_0^2 + r^2 - 2R_0r\cos(90^\circ - \alpha) \quad (1)$$

式中: $\alpha = 0$ 表示目标车中点B处于自车中轴线的延长线上; $\alpha < 0$ 表示目标车中点B处于自车中轴线的左侧区域(沿自车行驶方向); $\alpha > 0$ 表示目标车中点B处于自车中轴线的右侧区域(沿自车行驶方向)。由式(1)即可计算得到 R_T 值, 则

$$D = R_T - R_0 \quad (2)$$

参数 D 反映目标车与自车在垂直于车道线方向上的位移差, 根据几何关系, 可以得到判断目标车与自车处于同一车道的条件为

$$|D| \leq d_R + \frac{1}{2}H + \frac{1}{2}W \quad D < 0 \quad (3)$$

$$D \leq d_L + \frac{1}{2}H + \frac{1}{2}W \quad D \geq 0 \quad (4)$$

式中: H 为自车的宽度。

使用上述模型进行有效目标辨识时的参考依据是前方车辆的后保险杠中点是否处于自车所行驶的车道内, 原因在于雷达传感器测量返回的数据是以前方车辆的后保险杠中央为参考点实现的。由此可知, 对于自车前方的其他目标车辆, 利用雷达传感器测量返回的数据, 基于上述模型即可判断出前方目标是否与自车处于同一车道。如果处于同一车道, 则根据ACC巡航控制算法对车速进行控制, 如果

前方所有车辆都与自车不处于同一车道, 则ACC系统根据预设车速保持固定车速行驶。

采用上述方法, 可以得到向左转弯时的有效目标辨识模型为

$$|D| \leq d_L + \frac{1}{2}H + \frac{1}{2}W \quad D < 0 \quad (5)$$

$$D \leq d_R + \frac{1}{2}H + \frac{1}{2}W \quad D \geq 0 \quad (6)$$

实际使用上述模型时, 自车行驶轨迹的半径 R_0 无法直接获取。目前, 对于车辆行驶轨迹曲率的实时在线测量, 即道路曲率的实时在线测量属于比较复杂的技术难题, 主要原因在于车辆的行驶过程是一个复杂多变的过程, 目前通过车轮转速差、方向盘转角、车身横摆角速度等参数可以对车辆行驶估计曲率进行测量, 但测量精度较低。从ACC系统有效目标辨识算法的需求出发, 本文建立以下道路曲率估算模型。

1.2 道路曲率估算模型

车辆在弯道上行驶时, 安装于车身上的惯性传感器会实时输出横摆角速度数据, 而横摆角速度值由道路的曲率和车速同时决定, 在理想状态下, 车辆如果按照稳定的圆弧状态行驶, 则有以下关系

$$C = \frac{\omega}{v} = \frac{1}{R} \quad (7)$$

式中: C 为道路曲率($^\circ/\text{m}$); ω 为横摆角速度(rad/s); v 为车速(m/s); R 为道路曲率半径(m)。

由式(7)可知, 利用横摆角速度和车速值可以得到自车行驶轨迹的曲率半径值, 但车辆在道路上的行驶通常不会严格按照圆弧进行, 且驾驶人对方向盘进行的持续微调和道路不平都会使得车身横摆角速度处于持续不断的波动中, 因此, 直接利用式(7)对车辆行驶轨迹曲率进行测量会存在较大误差。针对此情况, 本文采用卡尔曼滤波对车身横摆角速度进行处理, 提高式(7)所示道路曲率估算模型的精度。卡尔曼滤波器是基于状态空间模型的线性最优滤波, 主要由状态转移过程和观测过程组成。在线性二自由度车辆模型的基础上, 结合车辆纵向速度建立车辆的三自由度动力学模型, 基于该模型, 建立卡尔曼滤波器的状态方程与量测方程如下^[12-14]。

$$\begin{cases} \omega = \frac{a^2 k_1 + b^2 k_2}{I_x v} \omega + \frac{a k_1 - b k_2}{I_z} \beta - \frac{a k_1}{I_z} \delta \\ \beta = \left(\frac{a k_1 - b k_2}{m v^2} - 1 \right) \omega + \frac{k_1 + k_2}{m v} \beta - \frac{k_1}{m v} \delta \\ v_x = \omega \beta v + a_x \end{cases} \quad (8)$$

$$a_y = \frac{ak_1 - bk_2}{mv_x} \omega + \frac{k_1 + k_2}{m} \beta - \frac{k_1}{m} \delta \tag{9}$$

式中： β 为质心侧偏角(rad)； a 为质心到前轴的距离； b 为质心到后轴的距离； m 为汽车质量； I_x 为绕车身 x 轴的转动惯量； k_1 为前轴等效侧偏刚度； k_2 为后轴等效侧偏刚度； I_z 为绕车身 z 轴的转动惯量； δ 为前轮转角(rad)； a_x 为纵向加速度(m/s^2)； a_y 为侧向加速度(m/s^2)。

利用非线性三自由度车辆动力学模型，基于卡尔曼滤波器建立横摆角速度的滤波模型，对测量得到的横摆角速度进行滤波处理，并使用滤波得到的横摆角速度，结合式(7)所示的曲率估算模型对自行车行驶轨迹的曲率半径进行实时在线估算，用于实现对ACC系统有效目标的辨识^[15-16]。

2 模型辨识结果

2.1 辨识数据来源

采用小型试验车对多名驾驶人进行实际道路自然驾驶试验，同步记录试验过程中自行车的行驶速度、方向盘转角、车身横摆角速度、自行车与前方其他车辆的相对距离与相对角度、自行车与车道线的距离等参数。数据采集频率设置为10 Hz。主要使用的传感器如下。

(1)陀螺仪。采用IMU02型陀螺仪实时测量车身横摆角速度和加速度信息，利用CAN 2.0B(兼容2.0A)方式输出测量数据，其主要技术参数为：①横摆角速度范围 $\pm 150^\circ/\text{s}$ ；②横摆角速度分辨率 $0.1^\circ/\text{s}$ ；③加速度范围 $\pm 1.7g$ ；④加速度分辨率1 mg；⑤输出频率最大100 Hz。

(2)微波雷达。将ESR微波雷达安装于试验车的前保险杠中央，用于实时追踪前方的其他车辆，所返回的数据是以前方车辆的后保险杠中央为参考点而实现。微波雷达的技术参数为：①追踪目标数量为64；②距离范围0.5~200 m；③水平测量角度 $\pm 45^\circ$ ；④角度分辨率 0.5° 。

(3)车道线监测系统。AWS车道线监测系统安装于风挡玻璃上侧中央，实时测量自行车与车道线的距离。技术参数为：①测量精度5 cm；②测量范围0~635 cm。

(4)车速传感器。车速数据来源于车载OBD接口，采用CAN总线数据采集卡对车速数据进行采集，技术参数为：①车速测量精度0.01 km/h；②最大输出频率100 Hz；③自然驾驶试验过程中的路线

包括国道、高速公路等，并利用视频监控系统同步监测试验过程中的前方道路视频，用于验证模型的有效性。

2.2 曲率估算结果

采用本文提出的曲率估算模型，利用2条已知曲率半径的半圆形曲线路段对模型的有效性进行验证分析，分别记为路段1和路段2。其中，路段1设计行车速度80 km/h，路段2设计行车速度110 km/h。相应的曲率估算结果见表1。

表1 曲率半径估算结果

Tab. 1 Results of estimated curvature radii

路段	真实半径/m	估算半径/m	估算最大值/m	最大值对应误差/%	估算最小值/m	最小值对应误差/%
路段1	405.2	394.8	418.7	10.2	363.6	3.3
路段2	1 371.2	1 340.2	1 573.1	14.7	1 187.1	13.4

表1中，路段1的曲率半径估算结果的平均值为394.8 m，与真实半径值的误差仅为10.4 m，但所有估算结果中，估算最大值对应的相对误差达到了10.2%，最小值对应的相对误差为3.3%。相应的，路段2曲率半径估算结果的平均值为1 340.2，与真实半径值的误差为31 m，估算最大值对应的相对误差达到了14.7%，最小值对应的相对误差也达到了13.4%。这表明，本文提出的道路曲率估算模型从平均估算精度而言具有较好的精度，但对于每一次的估算过程，结果具有较大的不确定性。大量的曲率估算结果表明，曲率估算出现10%以上的相对误差较为常见，部分数据的相对误差接近20%。从估算精度而言，本文的模型效果不是很好，但由于在本文所提出的辨识模型中，道路曲率半径只是一个计算的中间参数，曲率半径的估算误差通过计算过程传递到其他参数中，从而在后续建模过程中该误差的影响有可能得到抑制，具体的验证过程如下。

2.3 模型辨识结果

利用视频监控采集到的视频数据，挑选自行车前方存在其他车辆的场景，以下页图2为例。

图2中，自行车行驶于向左转弯的路段，自行车前方存在1辆小型货车，记为目标1。此时刻，目标1与自行车处于相同车道，因此，对于图2所示的场景而言，ACC系统应该将目标1辨识为有效目标。但图2也表明，该时刻目标1并非处于自行车的正前方，因而只依靠雷达传感器所返回的角度信息进行ACC



图 2 向左转弯路段的有效目标辨识

Fig. 2 Valid target distinguish while turning left

系统有效目标辨识将存在较大误差。以下部分将采用本文所建立的 ACC 有效目标辨识模型对目标 1 与自车的车道关系进行辨识,以验证模型的有效性。

针对图 2 所示的时刻,选取该时刻前后各接近 1 s 的时间段,选择该时间段内由雷达所测量返回的相对角度和相对距离数据,结果如图 3、图 4 所示。

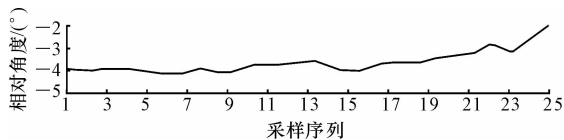


图 3 相对角度

Fig. 3 Relative angle

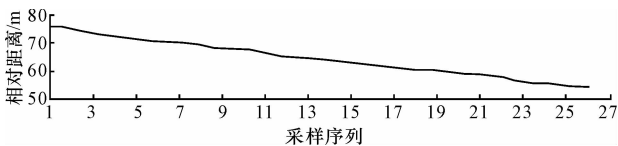


图 4 相对距离

Fig. 4 Relative distance

图 3 和图 4 中,横坐标为采样序列,系统中采样频率设置为 10 Hz,因而图 3 和图 4 所示的过程约 2.6 s。此过程中,相对角度数据总体稳定但存在一定波动,而相对距离数据则不断减小,这表明,自车在不断接近目标 1。此过程中,读取 IMU02 陀螺仪所采集得到的车身横摆角速度以及车速数据。为真实反映此过程中的车身横摆角速度数据,同时为卡尔曼滤波器提供真实数据,以图 2 时刻为中心,共挑选了约 6.0 s 长度的车身横摆角速度原始数据,并利用卡尔曼滤波器对车身横摆角速度进行滤波,结果如图 5 所示。

图 5 表明,测量得到的车身横摆角速度值存在较大波动,原因在于车辆的动态行驶过程受到道路

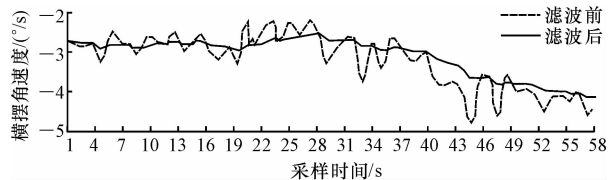


图 5 滤波前后横摆角速度变化

Fig. 5 Original and filter yawrate after filtering

不平、道路超高、驾驶人操作等因素的影响,因而直接采用横摆角速度进行 ACC 有效目标辨识会引起较大误差。图 5 中,实线为经卡尔曼滤波后的横摆角速度值,经滤波后的横摆角速度数据整体平滑。

图 2 对应的时刻,自车运行速度 $v=75.18$ km/h,经滤波后的横摆角速度 $\omega_r=-2.84^\circ/\text{s}$,根据道路曲率计算模型计算得到自车行驶轨迹的曲率半径 $R_0=421.3$ m。该时刻同步采集的数据 $d_L=40$ cm, $d_R=145$ cm;通过目标的相对角度和相对距离变化图可知,目标参数 $r=67.7$ m, $\alpha=-4^\circ$;根据式(1)、式(2)计算前方目标车辆与自车在横向方向上的距离差为

$$D=\sqrt{R_0^2+r^2-2R_0r\cos(90^\circ+\alpha)}-R_0=10.04\text{ cm}$$

此外,试验车的宽度 $H=174$ cm,车道线宽度 W 取为 15 cm,则有

$$d_R+\frac{1}{2}H+\frac{1}{2}W=180+\frac{1}{2}\times 174+\frac{1}{2}\times 15=274.5\text{ cm}$$

$$\text{即 } D>0, \text{ 且 } D< d_R+\frac{1}{2}H+\frac{1}{2}W=274.5\text{ cm},$$

满足式(6)所示情况,因此可以得出该时刻目标 1 与自车处于相同车道,即目标 1 在该时刻为 ACC 系统的有效目标,这与图 2 所示的场景相一致。

此外,选择不同速度、不同交通场景情况下的数据进行验证。结果表明,本文的辨识模型能够有效区分出前方的其他车辆是否与自车处于相同车道,辨识结果可靠。

2.4 动态多目标追踪检验

利用试验过程中所采集记录的视频数据,选择某个时间段内自车前方同时存在多个其他目标车辆的场景,如下页图 6、图 7 所示。

图 6 到图 7 过程中,自车行驶于右侧车道,此时在左侧车道前方存在 1 辆行驶中的小型轿车,以目标 1 表示。同时右侧车道前方也存在 1 辆行驶中的小型轿车,以目标 2 表示。从图 6 时刻开始,目标 1 和目标 2 在自身车道保持稳定行驶,直到图 7 所示时刻。图 7 时刻以后,目标 2 发生换道。因此,从原始采集数据挑选自车与目标 1、目标 2 的相对运动



图 6 场景开始时刻
Fig. 6 Start time of scene



图 7 场景结束时刻
Fig. 7 Ending time of scene

状态参数,结果图 8、图 9 所示。

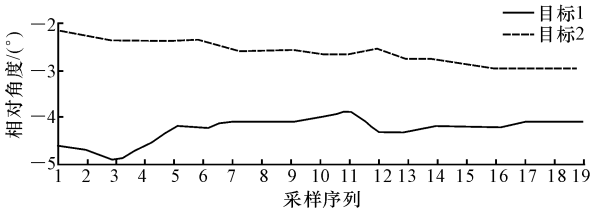


图 8 自车与目标的相对角度
Fig. 8 Relative angle between own vehicle and target

图 8 和图 9 中表征了此过程中目标 1 和目标 2 与自车的相对位置关系,由这 2 个图无法直接得到目标 1、目标 2 与自车的车道关系,因而无法准确辨识出 ACC 系统的有效目标。根据本文所建立的模型,ACC 系统辨识有效目标还需要从原始数据中挑选出车速、车身横摆角速度、车辆与车道线距离参数,结果如图 10、图 11 所示。

图 10 中横摆角速度为经过卡尔曼滤波后的自

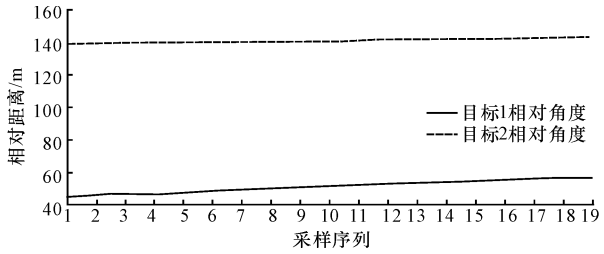


图 9 自车与目标的相对距离
Fig. 9 Relative distance between own vehicle and target

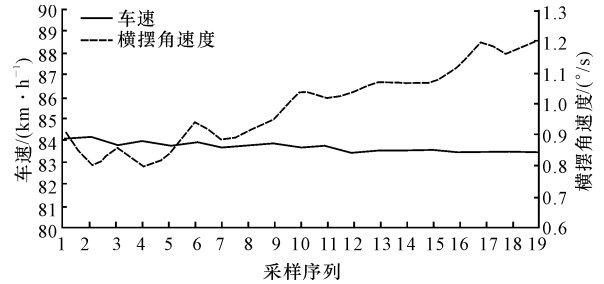


图 10 车速与滤波后的横摆角速度
Fig. 10 Vehicle speed and yawrate after filtering

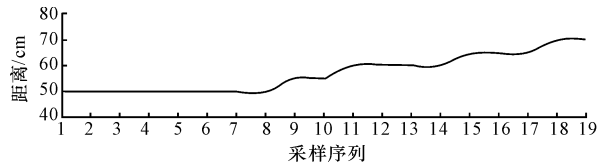


图 11 自车与左侧车道线距离
Fig. 11 Distance between own vehicle and left lane mark

车横摆角速度,图中曲线表明,经过滤波后的横摆角速度依然呈现出一定的波动状态。车身横摆角速度的波动将直接引发自车行驶轨迹曲率半径的估计值发生波动,从而可能会对 ACC 系统有效目标辨识算法产生影响,但具体影响程度还未知。利用式(5)、式(6)所示模型,结合图 11 中的车辆与车道线距离数据,车身宽度 $H=174\text{ cm}$,车道线宽度 $W=15\text{ cm}$,对目标 1 和目标 2 分别进行有效目标验证,结果如图 12、下页图 13 所示。

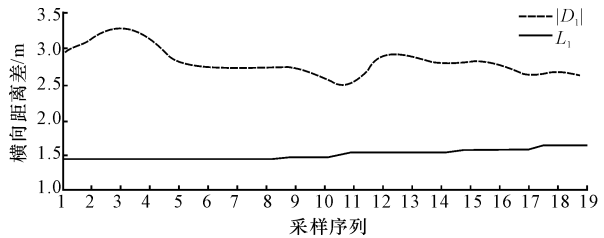


图 12 目标 1 辨识结果
Fig. 12 Distinguish result of target 1

图 12、图 13 中, $|D_1|$ 、 D_2 分别为目标 1、目标 2 与自车在垂直于车道线方向上的位移差,参数 L 为

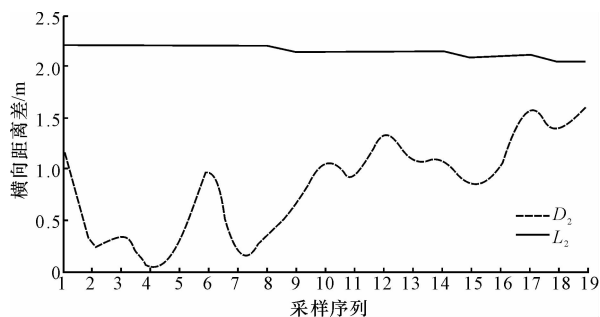


图13 目标2辨识结果

Fig. 13 Distinguish result of target 2

自车所在车道的左、右车道线,其中

$$L_1 = d_L + \frac{1}{2}H + \frac{1}{2}W$$

$$L_2 = d_R + \frac{1}{2}H + \frac{1}{2}W$$

由图12可知,目标1处于自车车道之外,即有 $|D_1| > L_1$,由式(5)可知,对于目标1而言,其不满足ACC系统有效目标的条件。

由图13可知,目标2处于自车车道之内,即有 $D_2 < L_2$,由式(6)可知,对于目标2而言,其满足ACC系统有效目标的条件。图6到图7所示过程中,目标2为ACC系统的有效目标,这与图6和图7中情况相符合。分析图12和图13可知,尽管图中的曲线 $|D_1|$ 和 D_2 均发生了一定范围的波动,但曲线的波动没有影响到ACC系统有效目标的辨识结果。从模型推导计算过程而言,曲线 $|D_1|$ 和曲线 D_2 发生波动的原因在于横摆角速度的估计值存在较大波动,但利用横摆角速度数据进行ACC系统有效目标辨识的结果却能保持较高的准确性。

从曲率估算精度而言,本文所采用的曲率估算模型误差较大,但估算过程实时性良好。另一方面,尽管曲率半径估算值存在较大误差,但本文所建立的ACC系统有效目标辨识模型中只是将曲率半径值当成中间量处理,曲率半径的估算误差通过计算过程传递到其他参数中,然后将其他参数与曲率半径相减的方法,在很大程度上消除了曲率半径误差所带来的影响。总体而言,虽然本文所建立的辨识模型中曲率半径估算误差较大,但ACC系统有效目标的辨识结果却较为可靠,此外模型框架简单,适合于在实车上进行实时处理分析。

3 结 语

(1)采用自车与前方其他车辆的相对角度、相对距离,同时结合自车的车速、车身横摆角速度,以及

自车与车道线的距离数据,基于几何分析方法建立了ACC系统有效目标的辨识模型,验证试验表明,模型辨识准确,连续追逐辨识能力较强。

(2)自车行驶轨迹曲率半径估算方法较简单,尽管使用了卡尔曼滤波器对曲率半径进行滤波,但曲率半径估算结果波动仍然较为明显。验证试验表明,ACC系统有效目标辨识算法只是将曲率半径值作为中间变量,辨识结果受曲率估算误差影响较小,辨识结果可靠。

(3)建立的辨识模型的作用是识别前方目标是否属于ACC系统的有效目标,尽管模型中相关参数的测量精确度不高,例如车道线监测系统测量精度、道路曲率半径估算结果精度都偏低,但ACC系统中有效目标辨识模型的结果是一种状态,而不是某种精确的参数。一系列验证数据表明,本文所建立的模型对于这类参数的波动不敏感,具有良好的鲁棒性。

(4)建立的ACC有效目标辨识模型结构简单,同时适合于直道路段和弯道路段,但对自车与前方目标车处于明显不同曲率半径路段情况的辨识能力存在一定欠缺,例如自车处于直道而前方车辆进入弯道等。对于这类情况,需要建立相对应的追逐算法进行识别,这也是后续需要进一步完善的工作。

参考文献:

References:

- [1] 党睿娜,李升波,王建强,等. 兼顾节能与安全的电动车ACC系统[J]. 汽车工程,2012,34(5):379-393.
DANG Rui-na, LI Sheng-bo, WANG Jian-qiang, et al. Adaptive cruise control system of electric vehicles considering both economy and safety[J]. Automotive Engineering, 2012, 34(5): 379-393. (in Chinese)
- [2] 罗莉华,龚李龙,李平,等. 考虑驾驶员行驶特性的双模式自适应巡航控制设计[J]. 浙江大学学报:工学版,2011,45(12):2073-2077.
LUO Li-hua, GONG Li-long, LI Ping, et al. Two-mode adaptive cruise control design with humans driving habits consideration[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2011, 45(12): 2073-2077. (in Chinese)
- [3] 裴晓飞,刘昭度,马国成,等. 汽车自适应巡航系统的多模式切换控制[J]. 机械工程学报,2012,48(5):96-102.
PEI Xiao-fei, LIU Zhao-du, MA Guo-cheng, et al.

- Multi-mode switching controller for vehicle adaptive cruise control system[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2012, 10(5): 96-102.
- [4] Zomotor Z, Franke U. Sensor fusion for improved vision based lane recognition and object tracking with range-finders[C]//IEEE. *Proceedings of the IEEE conference on intelligent transportation systems*. Boston: IEEE, 1997: 595-600.
- [5] Eidehall A, Pohl J, Gustafsson F. Joint road geometry estimation and vehicle tracking [J]. *Control Engineering Practice*, 2007, 15(12): 1484-1494.
- [6] Barber P A, King P, Richardson M. Road lane trajectory estimation using yaw rate gyroscopes for intelligent vehicle control [J]. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 1998, 20: 59-66.
- [7] Mobus R, Baotic M, Morari M. Multi-object adaptive cruise control [M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2003.
- [8] Weiss K, Kaempchen N, Kirchner A. Multiple-Model tracking for the detection of lane change maneuvers [C]//IEEE. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Parma: IEEE, 2004: 937-942.
- [9] Kiefer R, LeBlanc D, Palmer M, et al. Development and validation of functional definitions and evaluation procedures for collision warning/avoidance systems [R]. Washington D C: TRB, 1999.
- [10] Huang S J, Chao S T. A new lateral impact warning system with grey prediction[J]. *Journal of Automobile Engineering*, 2010, 224(3): 3285-297.
- [11] Mar J, Lin H T. The car-following and lane-changing collision prevention system based on the cascaded fuzzy inference system [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2005, 54(3): 910-924.
- [12] 宗长富, 胡 丹, 杨 肖, 等. 基于扩展 Kalman 滤波的汽车行驶状态估计[J]. *吉林大学学报: 工学版*, 2009, 39(1): 7-11.
- ZONG Chang-fu, HU Dan, YANG Xiao, et al. Vehicle driving state estimation based on extended kalman filter[J]. *Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition*, 2009, 39(1): 7-11. (in Chinese)
- [13] 李 进, 陈无畏, 李碧春, 等. 自动导引车视觉导航的路径识别和跟踪控制[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(2): 20-24.
- LI Jin, CHEN Wu-wei, LI Bi-chun, et al. Road recognition and tracking control of an vision guided AGV [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(2): 20-24.
- [14] 刘佳熙, 李升波, 王建强, 等. 车辆智能巡航控制纵向动力学参数快速辨识方法[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(10): 6-10.
- LIU Jia-xi, LI Sheng-bo, WANG Jian-qiang, et al. A Fast identification method of vehicle longitudinal dynamic parameters for intelligent cruise control [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(10): 6-10.
- [15] Li L, Song J, Wang H Y, et al. Fast estimation and compensation of the tire force in real time control for vehicle dynamic stability control system[J]. *International Journal of Vehicle Design*, 2008, 46 (3/4): 208-229.
- [16] Li B, Wang R B. Modeling of steering system of high speed intelligent vehicle by system identification [C]//IEEE. *Proceedings of the IEEE International Vehicle Electronics Conference*. Changchun: IEEE, 1999: 243-246.

