

车辆智能巡航控制纵向动力学参数快速辨识方法^{*}

刘佳熙 李升波 王建强 李克强
(清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

【摘要】 为快速、低成本地获取用于智能巡航控制(ICC)的车辆纵向动力学参数,提出了一种基于车辆纵向动力学模型的参数实验辨识方法。设计了车辆静止、空挡滑行、带挡滑行、稳态行车和空挡制动5种工况的道路实验以采集数据,设计卡尔曼滤波器对实验数据进行预处理,基于最小二乘方法辨识车辆纵向动力学参数:滚动阻力因数、风阻因数、节气门制动切换曲线、制动增益和发动机速度特性。使用由该方法辨识出的参数标定车辆纵向动力学模型,模型输出结果与实验结果吻合良好,验证了该辨识方法的有效性。

关键词: 车辆 智能巡航控制系统 纵向动力学参数 实验辨识
中图分类号: U467.1⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)10-0006-05

A Fast Identification Method of Vehicle Longitudinal Dynamic Parameters for Intelligent Cruise Control

Liu Jiayi Li Shengbo Wang Jianqiang Li Keqiang
(State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract

In order to obtain vehicle longitudinal dynamic parameters for intelligent cruise control (ICC) fast and at a low cost, a parameter identification method based on vehicle longitudinal dynamic model was proposed. Five kinds of road experiments, including standing still, coasting in neutral gear, coasting with engaged gear, driving with constant speed and braking, were designed for data collection. A Kalman filter was designed for data preprocessing. Such vehicle longitudinal dynamic parameters as rolling friction coefficient, aerodynamic coefficient, switching line between throttle and brake control, brake efficiency factor and engine speed characteristics were identified by using least square method. A vehicle longitudinal dynamic model was calibrated by the acquired parameters; the validity of the proposed identification method was demonstrated by the perfect coincidence of experiment data and model output.

Key words Vehicle, Intelligent cruise control, Longitudinal dynamic parameters, Identification

引言

智能巡航控制(intelligent cruise control, 简称ICC)具有提高行驶安全性和舒适性的作用,因此受到高度重视。车辆纵向动力学特性的建模是该系统控制器设计的关键。一方面,控制器采用的逆模型须依托车辆建模^[1],另一方面,车辆模型是系统性

能评价测试的基础。在建模过程中,车辆纵向动力学参数的精度是保证模型准确性的关键^[2~3]。受实验测量成本或者汽车企业保密的限制,部分车辆参数难以测量甚至无法获知。另外,汽车使用过程中,因部件老化、磨损等原因,部分参数也会发生变化。因此,在ICC系统的开发中,仍需对车辆纵向动力学参数进行实验辨识,对ICC系统进行匹配设计。

收稿日期: 2009-10-20 修回日期: 2009-12-09
^{*} 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2007AA11Z232)和教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-08-0324)
作者简介: 刘佳熙, 硕士生, 主要从事驾驶辅助系统研究, E-mail: liu-jx06@mails.tsinghua.edu.cn
通讯作者: 李克强, 教授, 博士生导师, 主要从事汽车动力学与控制研究, E-mail: likq@tsinghua.edu.cn

车辆纵向动力学特性的关键参数包括: 发动机速度特性数据、风阻因数、滚动阻力因数、节气门制动切换曲线和制动增益。已有方法中, 发动机速度特性主要采用发动机台架实验测量^[4], 滚动阻力因数主要采用轮胎转鼓台架实验测量^[4], 制动增益可通过制动系台架实验测量^[4], 这些方法可以对车辆纵向动力学参数进行准确标定, 但需要大型的专门实验设备, 耗时长, 费用高。

本文以 ICC 系统的原型样车为平台, 提出一种基于道路实验的车辆纵向动力学参数快速辨识方法, 并实现其应用。

1 车辆纵向动力学参数辨识原理

1.1 车辆纵向动力学模型

车辆纵向动力学参数实验辨识依赖于汽车纵向动力学模型。考虑 ICC 系统多应用于高速公路行驶环境, 路面附着状况较好, 车速较高, 加减速强度较小, 对模型进行如下假设和简化^[1,5]: 忽略汽车的侧倾和俯仰; 忽略前后及左右载荷转移; 忽略轮胎的滑移和传动轴、半轴的变形; 制动压力到车轮制动力矩间的关系为固定增益, 忽略其动态特性; 对于自动机械式变速器和双离合自动变速器, 忽略离合器滑动过程, 对于带液力变矩器的自动变速器, 认为液力变矩器处于锁止状态。汽车纵向动力学方程为

$$T_e = \text{MAP}(\omega_e, \alpha_{thr}) \quad (1)$$

$$T_d = \eta_T T_e i_0 i_{gi} \quad (2)$$

$$T_b = K_b p_{brk} \quad (3)$$

$$\delta M \dot{v}_f = \frac{T_d}{r_w} - \frac{T_b}{r_w} - F_i - F_a - F_f \quad (4)$$

$$\begin{cases} F_i = Mg \sin \theta \\ F_a = \frac{1}{2} C_D A_c \rho v_f^2 \\ F_f = Mg f \cos \theta \end{cases} \quad (5)$$

式中 T_e ——发动机转矩 ω_e ——发动机转速
 T_d ——驱动轴驱动力矩
 α_{thr} ——节气门开度
 η_T ——传动系机械效率 i_0 ——主减速比
 i_{gi} ——变速器 i 挡传动比
 T_b ——车轮制动力矩 K_b ——制动增益
 p_{brk} ——制动压力 v_f ——车速
 M ——汽车总质量 r_w ——轮胎滚动半径
 F_i ——坡度阻力 θ ——道路坡度
 F_a ——空气阻力 C_D ——风阻因数
 A_c ——迎风面积 ρ ——空气密度
 F_f ——滚动阻力 f ——滚动阻力因数
 $\text{MAP}()$ ——发动机速度特性函数

δ ——汽车旋转质量换算系数

1.2 特定行驶工况的车辆模型简化

上述参数中, 风阻因数、滚动阻力因数、发动机速度特性数据、制动增益因部件磨损老化易发生变化, 需重新实验辨识。其余参数均可通过汽车企业公布信息获知。为实验辨识待定参数, 需进行如下实验: 空挡滑行实验、带挡滑行实验、稳态行车实验和空挡制动实验。在各工况的实验中, 为提取需要辨识的参数, 忽略次要因素的影响, 需要对以上车辆纵向动力学模型做进一步简化。

空挡滑行实验主要用于辨识风阻因数和滚动阻力因数。实验的工况为: 在水平且附着状况良好的路面上将车辆加速到接近极速状态, 将挡位置于空挡, 完全放开加速及制动踏板, 使车辆在风阻和滚动阻力的作用下减速至 10 km/h。该工况下, 无驱动和制动力矩, 因为发动机与传动系断开, 可以继续忽略转动惯量, 车辆模型简化为

$$M \dot{v}_f = -Mgf - \frac{1}{2} C_D A_c \rho v_f^2 \quad (6)$$

带挡滑行实验主要用于辨识节气门、制动控制切换曲线。节气门、制动控制切换曲线定义为在某一给定车速下, 加速踏板完全放松时的车辆加速度。实验工况为: 在水平且附着状况良好的路面上将车辆加速到接近极速状态, 保持挡位为前进挡, 完全放开加速及制动踏板, 使车辆在发动机倒拖、风阻和滚动阻力的作用下减速至 10 km/h。该工况下无制动力, 车辆模型简化为

$$\begin{cases} \dot{v}_f = \left(\frac{T_e \eta_T i_{gi} i_0}{r_w} - \frac{1}{2} C_D A_c \rho v_f^2 - Mgf \right) \frac{1}{\delta M} \\ T_e = \text{MAP}(\omega_e, \alpha_{thr}) \end{cases} \quad (7)$$

稳态行车实验用于辨识发动机速度特性。实验工况为: 在水平且附着良好的路面上, 固定节气门在某一开度, 使车辆达到匀速并行驶一定时间。该工况下, 因为无制动力, 车辆模型简化为

$$T_e = \left(\delta M \dot{v}_f + \frac{1}{2} C_D A_c \rho v_f^2 + Mgf \right) \frac{r_w}{\eta_T i_{gi} i_0} \quad (8)$$

空挡制动实验主要用于辨识制动增益。实验工况为: 在水平且附着良好的路面上, 将车辆加速到 80 km/h 以上, 将挡位置于空挡, 踩下制动踏板进行制动, 将车辆减速到 10 km/h。因为发动机与传动系断开, 可将车辆模型简化为

$$K_b = - \left(M \dot{v}_f + Mgf + \frac{1}{2} C_D A_c \rho v_f^2 \right) r_w / p_{brk} \quad (9)$$

2 辨识实验工况和数据预处理

设计参数辨识实验的原则是: 实验过程尽量简

化、易于实施,尽量利用原车传感器和 ICC 系统的传感器采集车辆的状态信息,同时保证获得具有足够精度、可供 ICC 系统控制器使用的车辆纵向动力学参数。

实验车辆结构如图 1 所示,所有需要记录的数据均使用 CANOE 从 CAN 总线上采集,由计算机进行记录,测试设备 CAN 总线连接到原车 CAN 总线上。四轮转速、发动机转速、节气门开度、挡位从原车 CAN 总线数据中采集;信号采集 ECU 采集加速度传感器的加速度测量信号;制动压力从 ICC 系统的制动执行器中采集。

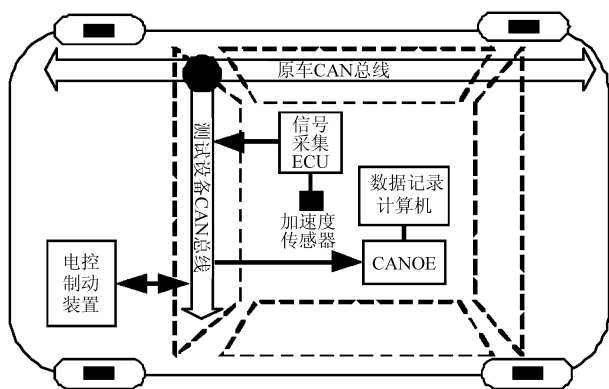


图 1 实验车辆硬件结构图

Fig.1 Hardware structure of test vehicle

2.1 实验工况设计与实施

设计若干道路实验辨识汽车纵向动力学参数,要求实验场地道路为长直线,实验路面为沥青或水泥铺装的干燥路面,环境风速小于 2 m/s。包括 5 种工况下的实验项目。

(1) 车辆静止实验:在车辆静止时,记录各传感器测量值,在所有实验前、后各进行一次。

(2) 空挡滑行实验:在车辆最高速时挂入空挡,滑行至车速为 10 km/h 止,实验路段两个方向各进行一次。

(3) 带挡滑行实验:从车辆最高速带挡滑行至车速为 10 km/h 止,实验路段两个方向各一次。

(4) 稳态行车实验:固定节气门开度,匀速行驶,从 5% 至 100% 节气门开度,每隔 5% 进行一次实验。

(5) 空挡制动实验:初始速度 80 km/h,空挡制动,至车速 10 km/h 止,不同制动强度做若干次。

2.2 实验数据预处理

实验车辆上安装的加速度传感器不可避免的会产生零点偏差;在使用过程中,由于车身震动和传感器自身原因,加速度信号有较大的噪声,因此需要对加速度信号进行偏差修正和滤波处理。出于节约成本的考虑,实验方法未采用第五轮仪精确测量车速,

因此需要依据车轮转速信号和加速度信号对真实车速进行估计。在文献[6]基础上,提出了一种带有滑移率估计的卡尔曼滤波方法,其结构如图 2 所示。

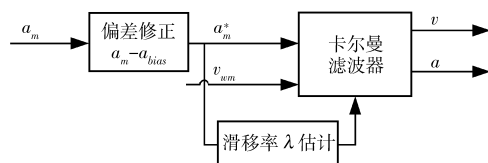


图 2 车速-加速度联合卡尔曼滤波器原理图

Fig.2 Combined Kalman filter of velocity and acceleration

滤波方程及滑移率估计方程为

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} v_f(k) \\ a(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tau \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_f(k) \\ a(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \tau \end{bmatrix} w_{at} \\ a_m^*(k) = a_m(k) - a_{bias} \\ \begin{bmatrix} v_{wm}(k) \\ a_m^*(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \lambda & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_f(k) \\ a(k) \end{bmatrix} + V \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \lambda = f(F_x/F_z) \\ F_x = \begin{cases} Mgf & (\text{非制动情况下}) \\ -aM\beta & (\text{制动情况下}) \end{cases} \\ F_z = (l_a g + Ha) M/L \end{cases} \quad (11)$$

式中 a 、 a_m ——车辆加速度、车辆加速度测量值

a_{bias} ——加速度零点偏差

v_{wm} ——从动轮转速测量值(转化为线速度,假设两从动轮转速相等)

w_{at} ——系统过程噪声,其方差为 Q

V ——2 维观测噪声,其方差矩阵为 R

τ ——计算步长 λ ——滑移率

F_x 、 F_z ——从动轴载荷、纵向力

L ——轴距 H ——质心高度

l_a ——车辆质心到前轴的距离

β ——车辆总制动力分配到后轴的比例

a_{bias} 的数值由车辆静止实验中一段时间内加速度传感器信号取平均值得到。经过偏差修正后的加速度 a_m^* 同 v_{wm} 一起作为卡尔曼滤波器的测量值。卡尔曼滤波器的观测矩阵随滑移率 λ 变化。 λ 由式(11)估计得出。式(11)中,滚动阻力因数 f 、制动力分配因数 β 、质心到前轴距离 l_a 等数据的准确数值是未知的,另外未经滤波的加速度存在噪声,但由于制动力因数-滑移率 ($F_x/F_z - \lambda$) 曲线在小滑移率范围的斜率很大,制动力因数 F_x/F_z 的少许误差对 λ 的估计造成的影响较小,所以式(11)中的未知参数可采用相似车辆参数的统计平均值,加速度可采用经过偏差修正的加速度信号。可用一般干燥路面上子午线轮胎典型 $F_x/F_z - \lambda$ 曲线关系,作为滑移率估计的依据。采用加速度、轮速联合卡尔曼滤波器的滤波效果如图 3 所示。

3 车辆纵向动力学参数辨识

3.1 风阻因数和滚动阻力因数辨识

由式(5)可知,车辆加速度与车速的平方呈线性关系,因此可用最小二乘法辨识滚动阻力因数 f 和风阻因数与车辆迎风面积的乘积 $C_D A_c$ 。在空挡滑行实验中,取符合实验原理要求的数据段,共 n 个数据点,按照最小二乘法可得法方程组

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{j=1}^n v_f^2(j) \\ \sum_{j=1}^n v_f^2(j) & \sum_{j=1}^n v_f^4(j) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -gf \\ -\frac{\rho}{2M} C_D A_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n \dot{v}_f(j) \\ \sum_{j=1}^n \dot{v}_f(j) v_f^2(j) \end{bmatrix} \quad (12)$$

以上“法方程组”中重力加速度 g 、空气密度 ρ 、车辆总质量 M 已知,代入测量点的车速和加速度即可以辨识出 f 及 $C_D A_c$ 。

3.2 油门制动切换曲线辨识

ICC 控制器控制车辆减速时,需要考虑风阻、滚动阻力、发动机倒拖的制动作用。带挡滑行实验用来辨识在各挡位下,加速踏板和制动踏板均未作用时,风阻、滚动阻力、发动机倒拖共同产生的加速度随车速的变化曲线^[7]。该曲线可用线性最小二乘法逼近

$$\dot{v}_{f,gi} = \begin{bmatrix} 1 & v_{f,gi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{gi} \\ b_{gi} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{j=1}^n v_{f,gi}(j) \\ \sum_{j=1}^n v_{f,gi}(j) & \sum_{j=1}^n v_{f,gi}^2(j) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{gi} \\ b_{gi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n \dot{v}_{f,gi}(j) \\ \sum_{j=1}^n \dot{v}_{f,gi}(j) v_{f,gi}(j) \end{bmatrix} \quad (14)$$

式中, n 为在某一挡位 gi 下选取的数据点数, a_{gi} 和 b_{gi} 为在挡位 gi 下得出的直线方程系数。

3.3 制动增益辨识

在车辆制动实验中,车辆的减速度由行驶阻力和制动力共同引起,可用最小二乘法辨识出制动增益 K_b ,即

$$\begin{cases} Y_j = -(M\dot{v}_f(j) + Mgf + C_D A_c \rho v_f^2(j)/2) r_w \\ Y_j = K_b p_{brk}(j) \end{cases} \quad (15)$$

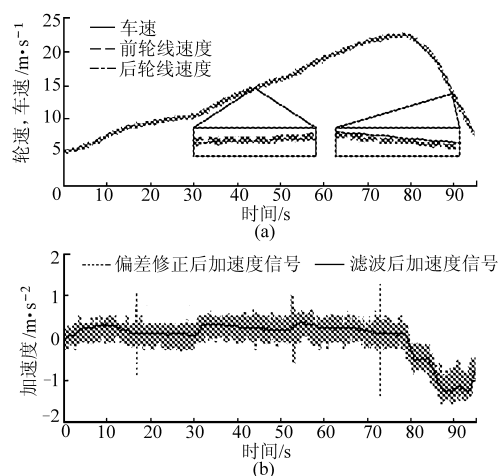


图 3 加速度、车速联合滤波结果

Fig. 3 Results of velocity and acceleration filtering

$$\sum_{j=1}^n p_{brk}^2(j) K_b = \sum_{j=1}^n Y(j) p_{brk}(j) \quad (16)$$

3.4 发动机速度特性辨识

发动机 MAP 图一般为汽车生产企业机密,其他单位难以获得。为解决这一问题,在实践的基础上,提出一种获得发动机近似 MAP 图的方法:以一种已知的发动机 MAP 图为基础,根据稳态行车实验中获得的发动机稳态工作点,对已知的发动机 MAP 图进行比例缩放,获得目标发动机的近似 MAP 图。

在某一节气门开度下的稳态行车实验中,选取一段车辆基本匀速运动的数据段,共 n 个数据点,根据

$$\begin{cases} T_e = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\delta M \dot{v}_f(j) + \frac{1}{2} C_D A_c \rho v_f^2(j) + \right. \\ \left. Mgf \right) \frac{r_w}{\eta_T i_{gi} i_0} \\ \omega_e = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \omega_w(j) i_{gi} i_0 \end{cases} \quad (17)$$

可辨识出发动机的一个稳态工作点,将已知发动机 MAP 图上该节气门开度下的速度特性曲线,向该工作点平移,即获得目标发动机 MAP 图的一条速度特性曲线。

使用不同节气门开度下辨识出的稳态工作点,对已知发动机 MAP 图进行平移修正后,即可获得目标发动机的近似速度特性曲线。

4 实车实验验证

为验证用以上方法辨识出的车辆参数的精度,设计了实车验证实验。验证分为两种:用于验证辨识出的节气门制动切换曲线的正确性;验证用辨识出的纵向动力学参数标定车辆模型的精确性。实验路面为良好的沥青路面,长度大于 1 000 m,最大坡度为 2%,最小弯道半径大于 500 m,风速小于

5 m/s。考虑实验车的乘员及加装的设备,实验车相当于整备质量。实验过程中,记录下实验车的输入信号和响应信号;仿真时,将实验中所记录的信号作为模型的输入,比较仿真输出值与实验测量值。

4.1 节气门制动切换曲线实验验证

在实验中记录节气门开度、制动压力及车辆加速度。将实验中采集的车辆加速度输入节气门制动切换曲线,将仿真得出的节气门或制动操作与实际节气门或制动操作比较,结果如图4所示。图4a中,纵坐标“0”表示处于怠速开度,“1”表示开度大于怠速开度;图4b中,“0”表示制动压力为零,“1”表示施加一定制动压力。可以得出结论:用以上方法辨识出的节气门制动切换曲线基本正确,与驾驶员操作相比,存在0.3~0.5 s的延时。

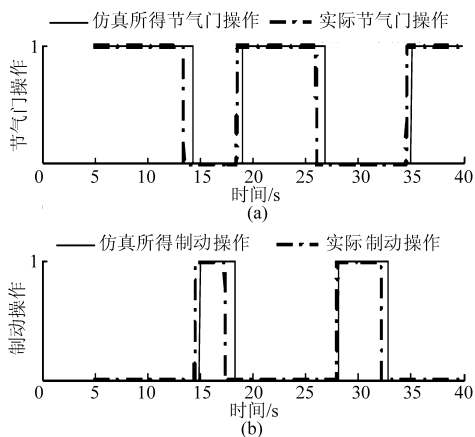


图4 节气门制动切换曲线验证结果

Fig. 4 Validation of throttle/brake switch threshold

(a) 节气门控制 (b) 制动控制

4.2 纵向动力学参数准确性实验验证

连续进行怠速工况、小节气门开度、中节气门开度和制动工况实验,实验过程中,记录驾驶员对节气门和制动的操作以及车辆的加速度、速度。仿真时,将实验中记录的驾驶员操作作为输入,输入到经辨识所得参数标定过的车辆纵向动力学模型中,通过对比实验与仿真中车辆速度、加速度数据来验证车辆参数的准确性,如图5所示。

由图5可知,怠速工况、小节气门开度、中节气门开度和制动工况下,车辆纵向动力学模型输出的车速、加速度与实验结果基本一致。而且,各工况切换过程,模型输出与实验结果也基本一致。这说明,用以上方法辨识出的车辆纵向动力学参数是准确的。

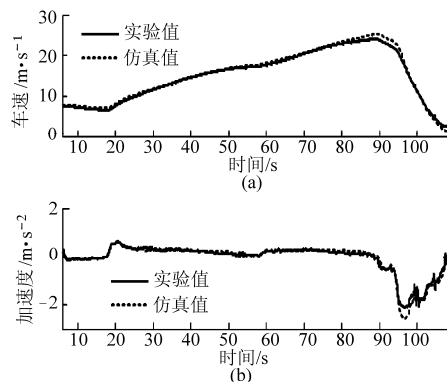


图5 纵向动力学参数准确性验证结果

Fig. 5 Validation of accuracy of longitudinal parameters

5 结论

针对目前车辆参数辨识方法设备需求高、实验周期长等问题,提出了一种针对 ICC 系统研究的车辆纵向动力学参数辨识方法。以车辆纵向动力学模型为基础,设计了用于参数辨识的道路实验工况,提出了数据预处理方法,并利用最小二乘法从实验数据中辨识出车辆纵向动力学参数,最后通过实验对所设计的参数辨识方法进行了验证。得出如下结论:

(1) 所提出的车辆纵向动力学参数辨识方法所需设备简单,实验方便易行,投资少,适合于 ICC 系统设计等工程应用。

(2) 实验证明,用辨识出的车辆纵向动力学参数标定过的车辆纵向动力学模型,可以根据实验中记录的驾驶员操作计算出与实验采集数据基本一致的纵向加速度,因此,该方法辨识出的参数是准确的,可以用于 ICC 系统控制器设计。

参考文献

- 高峰, 李志强, 连小珉. 用于汽车纵向运动控制的传动系统模型简化与分析[J]. 汽车工程, 2005, 27(3): 326~329.
Gao Feng, Li Keqiang, Lian Xiaomin. Simplification and analysis of powertrain model for vehicle longitudinal motion control [J]. Automotive Engineering, 2005, 27(3): 326~329. (in Chinese)
- Hunt K J, Kalkkuhl J C, Fritz H, et al. Construction empirical modelling of longitudinal vehicle dynamics using local model networks[J]. Control Eng. Practice, 1996, 4(2): 167~178.
- 王国青. 汽车纵向动力学特性的识别方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
Wang Guoqing. Research of the identification method for vehicle longitudinal dynamics characteristic[D]. Changchun: Jilin University, 2007. (in Chinese)

侧偏角和纵、侧向速度的测量。图 3e 和 3f 给出了同组试验的测量曲线(右前轮)。

可见,基于 GPS 测量位置等信息进行汽车质心侧偏角测试方法可行,测试系统能够满足 VSC 开发侧偏角及相关参数的测试要求。

4 结束语

根据汽车动力学稳定性控制系统 VSC 产业化

开发的需要,设计了“1 + 2”GPS 测试方案,并搭建了道路试验系统。通过系统的道路试验和数据处理,验证了该系统的可靠性和工程实用性,能够满足高频率的精确定位、测速和侧偏角测量的要求,兼顾车身和车轮位置姿态的测量,为 VSC 开发中的侧偏角算法验证和性能评价提供准确的试验依据。

参 考 文 献

- 1 Van Zanten A T. Bosch ESP systems; 5 years of experience[C]. SAE Paper 2000-01-1633, 2000.
- 2 Shibahata Y, Shimada K, Tomari T. Improvement of vehicle maneuverability by direct yaw moment control[J]. Vehicle System Dynamics, 1993, 22(5~6): 465~481.
- 3 Li Liang, Song Jian, Wang Huiyi, 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.
- 4 Li Liang, Song Jian, Yang Cai, et al. Prediction control algorithm based on dynamic stability matrix method for DSC[C]. SAE Paper 2007-01-0848, 2007.
- 5 李亮, 宋健, 于良耀, 等. 低附路面汽车动力学稳定性控制系统控制策略[J]. 机械工程学报, 2008, 44(11):229~235.
Li Liang, Song Jian, Yu Liangyao, et al. Control strategy of vehicle dynamic stability control system on low tire-road friction condition[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(11): 229~235. (in Chinese)
- 6 郑智忠, 李亮, 杨财, 等. 基于扩展卡尔曼滤波的汽车质心侧向速度观测器[J]. 农业机械学报, 2008, 39(5): 1~5, 9.
Zheng Zhizhong, Li Liang, Yang Cai, et al. Vehicle lateral velocity observer using extended Kalman filter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 1~5, 9. (in Chinese)
- 7 张小龙, 吴敏, 宋健, 等. 基于 GPS 的汽车横摆角速度和侧偏角工程测试方法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(2):27~31.
Zhang Xiaolong, Wu Min, Song Jian, et al. Engineering test method for motor vehicle yaw rate and sideslip angle based on GPS technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(2): 27~31. (in Chinese)
- 8 张小龙, 宋健, 冯能莲, 等. 汽车道路试验测试方法研究进展[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4):38~44.
Zhang Xiaolong, Song Jian, Feng Nenglian, et al. Research progress of measurement method for vehicle road way test [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 38~44. (in Chinese)
- 9 Hahn J, Rajamani R, Alexander L. GPS-based real-time identification of tire-road friction coefficient[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2002, 10(3): 331~343.
- 10 Ryu J. State and parameter estimation for vehicle dynamics control using GPS[D]. Stanford, CA: Stanford University, 2004.

(上接第 10 页)

- 4 《汽车工程手册》编辑委员会. 汽车工程手册:试验篇[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.
- 5 高峰, 李克强, 王建强, 等. 车速控制系统自适应油门控制器设计[J]. 汽车工程, 2005, 27(4): 418~422.
Gao Feng, Li Keqiang, Wang Jianqiang, et al. The design of adaptive throttle controller for speed control[J]. Automotive Engineering, 2005, 27(4): 418~422. (in Chinese)
- 6 Kobayashi K, Cheok K C, Watanabe K. Estimation of absolute vehicle speed using fuzzy logic rule-based Kalman filter[C]// Proc. of the American Control Conf., Seattle, USA, 1995: 3 086~3 090.
- 7 Kyongsu Yi, Ilki Moon. A driver-adaptive stop-and-go cruise control strategy [C] // Proceedings of the 2004 IEEE, International Conference on Networking, Sensing & Control, Taipei, 2004: 601~606.