

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.005

基于车轮力传感器信息的全轮驱动车辆状态估计^{*}

高博麟 陈 慧

(同济大学新能源汽车工程中心, 上海 200092)

【摘要】 提出一种基于车轮侧向力和纵向力传感器信息的车辆状态观测器。建立3自由度车辆动力学模型,并构建扩展卡尔曼滤波器,结合纵向加速度传感器和横摆角速度传感器的校正信息,实时估计车辆的纵向车速和质心侧偏角。在复杂附着条件下,该车辆状态观测器对车轮滑移和路面附着条件有很好的鲁棒性。通过veDYNA车辆动力学仿真软件,对该观测器进行了仿真实验验证。在分离附着系数路面条件下的仿真结果显示,传统的基于2自由度和非线性轮胎模型估计方法的纵向车速最大估计误差为25 km/h,质心侧偏角最大估计误差为3°,相同工况下,提出的基于车轮力传感器信息的全轮驱动车辆状态观测器对车辆的纵向车速和质心侧偏角估计结果具有更好的精确度,最大估计误差分别不超过0.6 km/h和0.2°,对车轮滑移和复杂路面附着条件具有更强的自适应能力。

关键词: 全轮驱动车辆 状态估计 车轮力传感器 扩展卡尔曼滤波器

中图分类号: U462.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)12-0022-06

State Estimation for 4WD Vehicle Based on Information of Tyre Force Sensor

Gao Bolin Chen Hui

(Clean Energy Automotive Engineering Center, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract

A state estimation method for 4WD vehicle was demonstrated by measuring lateral tire forces and longitudinal tire forces. Based on 3-DOF vehicle model, a state observer was realized using extended Kalman filter technique. The observer provided several advantages that the vehicle velocity and sideslip angle estimates could be robust with variance of wheel slip ratio and road friction under extreme adherence condition, such as split friction road. The paper demonstrated the appropriateness of this observer by slalom simulation test using veDYNA software. Simulation results were compared with traditional nonlinear state observer. The comparisons indicated that the longitudinal velocity and sideslip angle estimates of proposed observer both approached the true value very well. The maximum errors were no more 0.6 km/h and 0.2°, comparing to 25 km/h and 3° of the maximum errors of traditional nonlinear state observer. The proposed estimation method was an effective self-adaptation approach to wheel slip ratio and road friction condition.

Key words 4WD vehicle, State estimation, Tyre force sensor, Extended Kalman filter

引言

近年来,越来越多的车辆开始装备电子稳定程序(ESP)、直接横摆力矩控制(DYC)和主动前轮转向系统(AFS)等车辆电子稳定系统。这些系统的目

的是将车辆的横摆角速度和质心侧偏角控制在理想的数值范围内^[1~2]。因此,车辆实际纵向车速、横摆角速度和质心侧偏角等行驶状态就必须时刻可知。

目前,车辆的纵向车速主要是基于轮速法获得的^[3]。轮速法的优点是,车轮轮速可以通过轮速传

收稿日期: 2012-06-10 修回日期: 2012-07-25
^{*} 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2011CB711200)
作者简介: 高博麟,博士生,主要从事车辆状态估计和操纵稳定性评价研究,E-mail: goblin1021@gmail.com
通讯作者: 陈慧,教授,博士生导师,主要从事底盘电子控制和无人驾驶智能电动车辆研究,E-mail: hui-chen@mail.tongji.edu.cn

传感器准确获得,算法简单易行,估计结果不受时间尺度的影响,对车身参数不敏感等。但是,当车轮出现严重的侧向或纵向滑移时,应用轮速法估计的车速与实际纵向车速会出现较大偏差。部分学者通过添加纵向加速度传感器,来纠正车轮滑移时纵向车速的估计偏差。但必须考虑到,低加速度情况下传感器的信噪比不高、容易出现偏置,长时间积分运算时计算结果的累积误差无法控制,道路坡道和车身俯仰角对传感器造成的偏置难以消除等^[4]。

目前质心侧偏角估计分为运动学估计方法和动力学估计方法。运动学估计质心侧偏角的方法,主要依赖加速度传感器,因此同样存在积分法的诸多缺点。传统的动力学估计质心侧偏角的方法,采用非线性轮胎侧偏模型,因此必须对路面附着条件进行自适应估计^[5]。同时,非线性的轮胎模型,大大增加了观测器算法的复杂性,处理器的计算负担更大,计算耗时更长^[6]。

文献[7]引入可以通过光学传感器感知轮胎力的智能轮胎,使得车轮侧向力可以作为质心侧偏角估计的校正信息,提高了复杂路面附着条件下的质心侧偏角估计能力。文献[8]采用集成能测量轮胎侧向力的智能轮毂轴承,基于轮胎侧向力传感器信息,对车辆质心侧偏角进行了估计。然而,文献[7]和[8]的工作均是在假设纵向车速和各车轮纵向力已经准确获得的前提下进行的,但对于全轮驱动车辆而言,在极端工况下,纵向车速和各车轮纵向力无法准确估计。

本文提出一种基于侧向力和纵向力传感器信息的车辆状态观测器。首先,建立 3 自由度车辆动力学模型;并基于该模型构建扩展卡尔曼滤波器,结合横摆角速度和纵向加速度传感器的校正信息,实时在线估计车辆的纵向车速和质心侧偏角;最后通过仿真方法,与传统的基于 2 自由度模型的估计方法进行对比验证。

1 估计用动力学建模

选用平面 3 自由度车辆动力学模型,包括纵向运动、侧向运动和横摆运动 3 个自由度,如图 1 所示。

建立动力学平衡方程为

$$\begin{cases} \sum F_y = ma_y \\ \sum F_x = ma_x + F_w \\ \sum M_z = I_z \dot{\gamma} \end{cases} \quad (1)$$

式中 m ——车辆质量
 I_z ——车辆绕 z 轴转动惯量

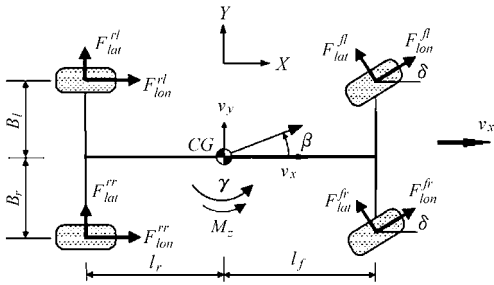


图 1 3 自由度车辆动力学模型
Fig. 1 Vehicle dynamics model with 3-DOF

$\sum F_y$ ——车辆所受侧向力
 $\sum F_x$ ——车辆所受纵向力
 $\sum M_z$ ——车辆所受横摆力矩
 F_w ——纵向空气阻力

且有

$$\begin{cases} \sum F_y = F_y^{rl} + F_y^{fr} + F_y^{rl} + F_y^{rr} \\ \sum F_x = F_x^{rl} + F_x^{fr} + F_x^{rl} + F_x^{rr} \\ \sum M_z = (F_y^{rl} + F_y^{fr})l_f - (F_y^{rl} + F_y^{rr})l_r + \\ (F_x^{fr} + F_x^{rr})B_r - (F_x^{rl} + F_x^{rl})B_l \end{cases} \quad (2)$$

其中

$$\begin{cases} F_y^{rl} = F_{lon}^{rl} \sin \delta + F_{lat}^{rl} \cos \delta \\ F_x^{rl} = F_{lon}^{rl} \cos \delta - F_{lat}^{rl} \sin \delta \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} F_y^{fr} = F_{lon}^{fr} \sin \delta + F_{lat}^{fr} \cos \delta \\ F_x^{fr} = F_{lon}^{fr} \cos \delta - F_{lat}^{fr} \sin \delta \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} F_y^{rl} = F_{lat}^{rl} \\ F_x^{rl} = F_{lon}^{rl} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} F_y^{rr} = F_{lat}^{rr} \\ F_x^{rr} = F_{lon}^{rr} \end{cases} \quad (6)$$

式中 l_f, l_r ——质心到前轴和后轴的距离
 B_f, B_r ——质心到左侧车轮和右侧车轮的距离
 F_x^{ij}, F_y^{ij} ——各车轮侧向合力和纵向合力, i 代表前轴或后轴, j 表示左侧或右侧
 δ ——前轮转向角
 $F_{lat}^{ij}, F_{lon}^{ij}$ ——各车轮力传感器采集到的垂直于车轮和平行于车轮的力传感器信息

车辆受到的纵向空气阻力为

$$F_w = \frac{C_d A_x v_x^2}{21.15}$$

式中 C_d ——空气阻力系数
 A_x ——车辆有效迎风面积
 v_x ——车辆纵向车速

车辆的侧向加速度、纵向加速度为

$$\begin{cases} a_y = \dot{v}_y + \gamma v_x \\ a_x = \dot{v}_x - \gamma v_y \end{cases} \quad (7)$$

式中 v_y ——车辆侧向车速
 γ ——横摆角速度

根据式(1)和式(7),可以得到

$$\begin{cases} \dot{v}_y = \frac{\sum F_y}{m} - \gamma v_x \\ \dot{v}_x = \frac{\sum F_x - F_w}{m} + \gamma v_y \\ \dot{\gamma} = \frac{\sum M_z}{I_z} \end{cases} \quad (8)$$

2 扩展卡尔曼滤波器

卡尔曼滤波器是一种线性最小方差估计,由于采用状态空间描述系统,并采用一系列递归数学公式进行计算,因此卡尔曼滤波器适用于线性、多维、非平稳的随机过程中的状态估计^[9]。但事实上,准确的车辆模型往往都是非线性的。因此通常采用扩展卡尔曼滤波器技术进行非线性的实时在线估计^[10]。

2.1 基于力传感器信息的状态观测器

对式(8)离散化,当运算步长 T 足够小时,有

$$\begin{cases} v_y(k) = v_y(k-1) + \\ T \left[\frac{\sum F_y(k-1)}{m} - \gamma(k-1)v_x(k-1) \right] \\ v_x(k) = v_x(k-1) + T\gamma(k-1)v_y(k-1) + \\ T \frac{\sum F_x(k-1) - F_w(k-1)}{m} \\ \gamma(k) = \gamma(k-1) + T \frac{\sum M_z(k-1)}{I_z} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} a_x(k) = \frac{\sum F_x(k) - F_w(k)}{m} \\ \dot{\gamma}(k) = \frac{\sum M_z(k)}{I_z} \end{cases} \quad (10)$$

基于式(9),非线性离散系统的状态空间为

$$\mathbf{X}(k) = f[\mathbf{X}(k-1), \mathbf{U}(k-1)] + \mathbf{w}(k-1) \quad (11)$$

其中 $\mathbf{X}(k) = [v_y(k) \quad v_x(k) \quad \gamma(k)]^T$

$$\mathbf{U}(k) = \left[\sum F_y(k) \quad \sum F_x(k) \quad \sum M_z(k) \right]^T$$

式中 $\mathbf{X}(k)$ ——状态变量 $\mathbf{U}(k)$ ——输入变量
 $\mathbf{w}(k)$ ——过程噪声

状态方程 $f[\mathbf{X}(k-1), \mathbf{U}(k-1)]$ 在 $k-1$ 时刻,对状态变量 $\mathbf{X}(k)$ 求偏导数得到雅可比矩阵

$$\mathbf{A}_k = \frac{\partial f[\mathbf{X}(k-1), \mathbf{U}(k-1)]}{\partial \mathbf{X}} \Big|_{\mathbf{x}=\hat{\mathbf{x}}_{k-1}}$$

基于式(10),非线性离散系统的测量方程为

$$\mathbf{Y}(k) = h[\mathbf{X}(k), \mathbf{U}(k)] + \mathbf{v}(k) \quad (12)$$

其中 $\mathbf{Y}(k) = [a_x(k) \quad \gamma(k)]^T$

式中 $\mathbf{Y}(k)$ ——测量变量 $\mathbf{v}(k)$ ——测量噪声

测量方程 $h[\mathbf{X}(k), \mathbf{U}(k)]$ 在 k 时刻,对状态变量 $\mathbf{X}(k)$ 求偏导数得到雅可比矩阵为

$$\mathbf{H}_k = \frac{\partial h[\mathbf{X}(k), \mathbf{U}(k)]}{\partial \mathbf{X}} \Big|_{\mathbf{X}=\hat{\mathbf{x}}_{k/k-1}}$$

基于式(11)和式(12),构建扩展卡尔曼滤波器,状态估计过程可参照文献[9]。

利用侧向车速 $v_y(k)$ 和纵向车速 $v_x(k)$ 的估计结果,计算车辆的质心侧偏角为

$$\beta(k) = \arctan \left(\frac{v_y(k)}{v_x(k)} \right) \quad (v_x(k) \neq 0) \quad (13)$$

2.2 传统纵向车速和质心侧偏角观测器

为了验证基于四轮力传感器信息的车辆状态观测器在负载路面附着环境下的自适应优势,构建了传统车辆状态观测器进行对比。传统车辆状态观测器采用四轮平均轮速法估计车辆纵向车速,同时基于 2 自由度单轨模型建立质心侧偏角观测器。

纵向车速 $v_x(k)$ 由最大轮速法和最小轮速法计算得到

$$v_x(k) = \begin{cases} \max[w_r^l(k), w_r^r(k), w_r^l(k), w_r^r(k)]R & \text{(减速工况)} \\ \min[w_r^l(k), w_r^r(k), w_r^l(k), w_r^r(k)]R & \text{(加速工况)} \end{cases}$$

式中 $w_r^{ij}(k)$ —— k 时刻各车轮的轮速

R ——车轮滚动半径

基于传统 2 自由度车辆动力学模型,构建质心侧偏角观测器的具体过程可参照文献[11]。

3 仿真实验

3.1 仿真工况说明

在 veDYNA 仿真软件环境下,针对复杂路面附着条件下的极端行驶工况,将基于力传感器信息的状态观测器和传统纵向车速和质心侧偏角观测器进行了仿真实验对比试验。

veDYNA 模型由高精度的车辆模型、三维路面模型、操纵控制行为模型以及虚拟驾驶员模型组成,在仿真时能够对模型变量进行跟踪和记录,因此,便于对比车辆状态变量真实值和观测器估计值之间的误差。

将基于力传感器信息的状态观测器称为观测器 A,将应用传统车辆状态估计方法的观测器称为观测器 B。

仿真中的车辆为不带稳定性控制程序的车辆。仿真车辆的部分参数如表 1 所示。

表 1 仿真车辆的部分参数
Tab. 1 Simulation vehicle parameters

参数	数值
整车质量 m/kg	1 296
整车横摆转动惯量 $I_z/\text{kg}\cdot\text{m}^2$	1 750
轴距 L/m	2.57
质心距前轴距离 l_f/m	1.25
质心距后轴距离 l_r/m	1.32
转向传动比 i	20.495 6

仿真工况选择分离附着系数的路面条件,进行蛇形绕桩试验。仿真工况如图 2 所示,在蛇形绕桩试验中,车辆在最短时间内,从静止加速到60 km/h并稳定车速,依次绕过 7 个桩柱。在分离附着系数路面上,左边道路为低附路面,峰值附着系数为 0.4,右边道路为高附路面,峰值附着系数为 1。

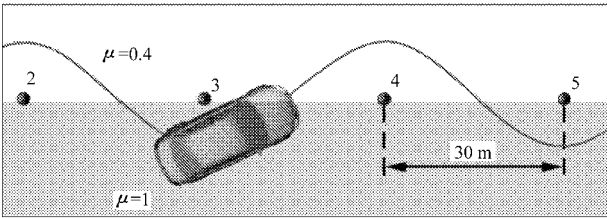


图 2 蛇形绕桩仿真工况示意图
Fig. 2 Slalom simulation of split friction road

选择在分离附着系数的路面条件下进行蛇形绕桩仿真,原因是:①车辆加速过程中,处于低附路面的车轮会出现剧烈打滑,仿真可验证该工况下 2 种观测器是否能够准确估计出当前车辆的纵向车速。②驱动过程中,由于左、右车轮的地面附着力不相等,因此地面对轮胎的切向作用力会对车辆形成横摆力矩,驾驶员必须反打方向盘以纠正车辆的横摆运动。仿真可验证该工况下,2 种观测器是否能够准确估计出当前车辆质心侧偏角。③车辆作绕桩运动过程中,路面附着条件快速交替变化,车辆操纵特性相应地会快速交替变化,质心侧偏角对车辆操纵的响应特性亦会有较大变化,仿真可验证此工况下,2 种观测器是否仍能准确估计出当前车辆的质心侧偏角。

为了提高仿真的真实性,由 veDYNA 仿真模型实时提供仿真车辆的纵向加速度信息、横摆角速度信息和车辆各车轮的受力信息,再根据实际传感器特性,分别加入不同强度的白噪声信号,合成估计算法所需的传感器信号,然后分别用于 A 和 B 两种状态观测器。

在进行仿真时,转向盘转角、纵向加速度、横摆角速度、各车轮侧向力、纵向力和轮速的仿真信号如图 3~8 所示。

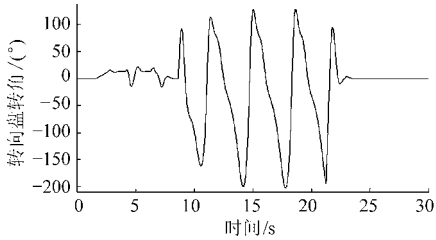


图 3 转向盘转角仿真信号
Fig. 3 Simulation signal of steering wheel angle

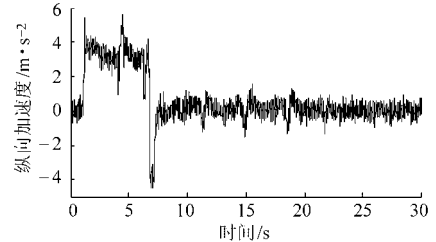


图 4 纵向加速度仿真信号
Fig. 4 Simulation signal of longitudinal accelerometer

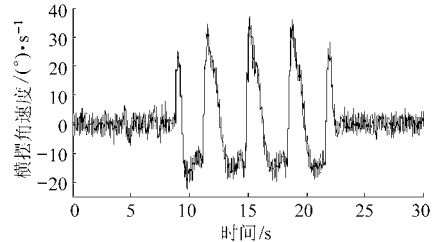


图 5 横摆角速度仿真信号
Fig. 5 Simulation signal of yaw rate

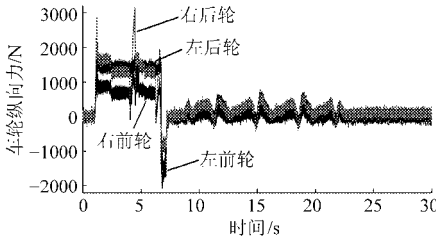


图 6 各车轮纵向力的仿真信号
Fig. 6 Simulation signal of longitudinal tire force of each tire

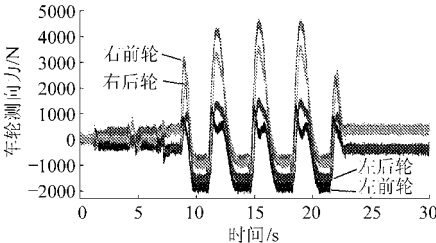


图 7 各车轮侧向力的仿真信号
Fig. 7 Simulation signal of lateral tire force of each tire

3.2 仿真结果说明

仿真的状态估计结果如图 9 和图 10 所示。

图 8 中可以看出,车辆加速过程中(1~7 s),由于低附路面一侧的轮胎打滑非常严重,状态观测器 B 在加速阶段使用最小轮速法,在减速阶段使用最

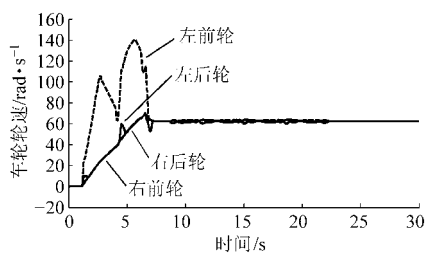


图8 各车轮轮速的仿真信号

Fig. 8 Simulation signal of wheel speed of each tire

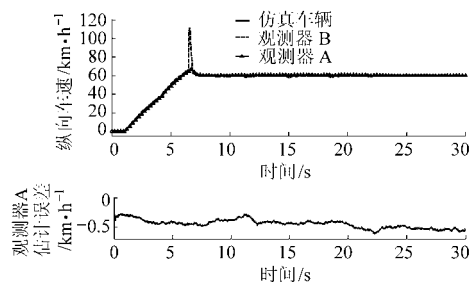


图9 车速估计结果对比

Fig. 9 Simulation signal of vehicle speed

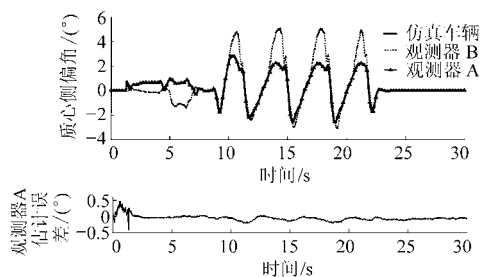


图10 质心侧偏角估计结果对比

Fig. 10 Simulation signal of steering wheel angle

大轮速法,依靠观测器 B 得到的车速估计结果与实际车速的仿真结果严重不符,状态观测器 B 最大车速估计误差达到了 45 km/h。图 9 所示,应用状态观测器 A 在车辆紧急加速工况下得到的车速估计结果与仿真车辆的实际车速非常接近,对低附路面上车轮的纵向滑移有很好的鲁棒性,整个仿真中,最大估计误差仅为 0.6 km/h。

图 10 为质心侧偏角的估计结果及其误差的对比图。结合图 3 可以看出,由于分离路面两侧路面能提供的附着力不同,车辆加速过程中(1~7 s),因左、右车轮驱动力不同而引成一个横摆力矩,导致车

辆发生驱动跑偏,驾驶员通过反向调整转向盘校正使得车辆继续沿直线行驶,但观测器 B 在此工况下,根据驾驶员的方向盘转角和纵向车速,对质心侧偏角进行了错误估计,质心侧偏角估计结果的方向与实际情况恰好相反,误差大约为 2°。在绕桩过程中(8~23 s),车辆在高附路面一侧,观测器 B 的质心侧偏角的估计结果与实际仿真结果差距最大为 1°,相当于 50% 的相对误差;在低附路面一侧,由于观测器 B 无法及时准确估计出当前低附路面的峰值附着系数,导致无法准确实时估计车轮的侧向力,因此,质心侧偏角的估计误差急剧增大,最大误差超过了 3°,相当于 136% 的相对误差。

与之相对比,观测器 A 的质心侧偏角的估计误差始终未超过 0.2°,原因在于,观测器 A 的输入变量是各车轮受到的侧、纵向力。如图 6 和图 7 所示,各车轮在高附路面一侧受到的侧向力和纵向力明显大于低附路面一侧,这直接导致了车辆行驶姿态和操纵特性的变化,由于力传感器能够及时准确地反映各个车轮上作用力的变化信息,从而避免了估计轮胎和地面之间的作用力和路面附着系数这些不确定环节,因此,观测器 A 能够实时准确地估计车辆质心侧偏角,其估计结果的准确性和对复杂路面附着环境的鲁棒性都要明显优于观测器 B。

4 结论

(1) 提出了一种基于轮胎横纵向力传感器信息的车辆状态观测器,基于 3 自由度动力学模型建立观测器的状态空间,构建扩展卡尔曼滤波器,对纵向车速和质心侧偏角进行实时估计。

(2) 通过仿真对比传统纵向车速和质心侧偏角观测方法。对比结果表明,基于力传感器信息的车辆状态观测器,可以显著提高在极端制动工况下,纵向车速和质心侧偏角的估计结果精度;在变路面附着条件工况下,可以明显提高对质心侧偏角估计结果精度,加强了质心侧偏角估计结果对路面附着条件的自适应能力。

参考文献

- van Zanten A T, Erhardt R, Pfaff G, et al. Control aspects of the Bosch-VDC[C] // International Symposium on Advanced Vehicle Control, Aachen, Germany, 1996:573 ~ 608.
- van Zanten A T. Bosch ESP system; 5 year of experience [C]. SAE Paper 2000-01-1633, 2000.
- 王仁广,刘昭度,齐志权,等. 基于自适应卡尔曼滤波算法确定汽车参考车速[J]. 农业机械学报,2006,37(4):9 ~ 11,41.
Wang Renguang, Liu Zhaodu, Qi Zhiquan, et al. Vehicle reference speed determination using adaptive Kalman filter algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(4): 9 ~ 11,41. (in Chinese)
- Chul K, Uchanski M, Hedrick J. Vehicle speed estimation using accelerometer and wheel speed measurements [C]. SAE Paper 2002-01-2229, 2002.

- 5 杨福广,李贻斌,阮久宏,等. 基于扩张状态观测器的路面附着系数实时估计[J]. 农业机械学报,2010,41(8):6~9,15.
Yang Fuguang, Li Yibin, Ruan Jiuhong, et al. Real-time estimation of tire road friction coefficient based on extend state[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(8):6~9,15. (in Chinese)
- 6 余卓平,高晓杰. 车辆行驶过程中的状态估计问题综述[J]. 机械工程学报,2009,45(5):20~33.
- 7 Tuononen A J. Vehicle lateral state estimation based on measured tyre forces [J]. Sensors, 2009,9(11): 8 761~8 775.
- 8 Nam Kanghyun, Oh Sehoon, Fujimoto Hiroshi, et al. Vehicle state estimation for advanced vehicle motion control using novel lateral tire force sensors[C]//2011 American Control Conference, 2011:4 853~4 858.
- 9 秦永元,张洪钺,汪叔华. 卡尔曼滤波与组合导航原理[M]. 西安:西北工业大学出版社,1998.
- 10 胡丹. 基于双扩展卡尔曼滤波的汽车状态及路面附着系数估计算法研究[D]. 长春:吉林大学,2009.
- 11 Gao Bolin, Chen Hui. State estimation for active safety control of 4WD in-wheel motor electric vehicle [C]// First International Symposium on Future Active Safety Technology Toward Zero-Traffic-Accident, 2011.

(上接第 15 页)

- 7 魏建华,杜恒,方向. 基于 ADAMS/Simulink/AMESim 的油气悬架道路友好性分析[J]. 农业机械学报,2010,41(10):11~17.
Wei Jianhua, Du Heng, Fang Xiang. Road friendliness of interconnected hydro-pneumatic suspension based on ADAMS/Simulink/AMESim[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(10):11~17. (in Chinese)
- 8 隋树林,于镭,邵巍. 基于 Matlab 的仿真与实时控制/校验系统的设计[J]. 仿真技术,2006,22(12):203~205.
- 9 Agrawal O P, Shabana A A. Application of deformable-body mean axis to flexible multibody system dynamics [J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering,1986,56(2):217~245.
- 10 Goncalves F D. Dynamic analysis of semi-active control techniques for vehicle applications [D]. Burrus Hall Blacksbury, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University,2001.
- 11 喻凡. 车辆动力学及其控制[M]. 北京:机械工业出版社,2010.

欢迎投稿、订阅 2013 年度《排灌机械工程学报》杂志

《排灌机械工程学报》原刊名《排灌机械》,创刊于 1982 年,由中国农业机械学会排灌机械分会主管,中国农业机械学会排灌机械分会和江苏大学流体机械工程技术研究中心(具有国家级重点学科)共同主办,是农业工程类全国中文核心期刊。2009 年以来所发论文全部被 EI 收录。在 2009 年度、2010 年度教育部“科技论文在线优秀期刊”评比中荣获二等奖,2010 年荣获第三届中国高校特色科技期刊奖。

《排灌机械工程学报》坚持社会主义办刊方针,宣传党和国家有关排灌机械行业的方针政策,全面系统地反映专业发展水平,及时、准确地报道新理论、新技术、新方法、新成果和国内外最新研究进展,促进学术交流与合作,推动排灌事业的发展。读者面向国内外专家学者、高校教师和研究生、科研院所研究人员,国内知名院校(包括港、澳、台地区的 30 多个高校和公共图书馆),中央及各省、市水利管理部门、水利科研设计院所,全国大、中型泵类产品生产企业、泵站建设工程等处都能见到本刊。此外,本刊还发行到北美、西欧、澳洲以及东南亚的日本、泰国、新加坡等几十个国家。本刊邀请了来自美、英、德、法、荷、意、澳、日、韩、泰等 10 国的国际流体机械知名专家担任顾问和编委,进一步提升了本刊的国际影响力。

《排灌机械工程学报》主要栏目:综述、泵理论与技术、水利水电工程、流体工程、农业水土工程等。

《排灌机械工程学报》采用国际标准大 16 开版本,全彩印刷,96 页码,月刊,每月 28 日出版,定价:18 元/期。国内订阅:全国各地邮局,邮发代号:28-82;国外订阅:中国国际图书贸易总公司报刊科(北京 399 信箱),邮发代号:BM5945。

地址:江苏省镇江市梦溪园巷 30 号 江苏大学杂志社《排灌机械工程学报》编辑部

邮编:212003 电话:0511-84493098 网址:<http://zjs. ujs. edu. cn/pgjx> E-mail:pgjx@ ujs. edu. cn

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告