

四轮驱动汽车牵引力控制算法*

李 静 李幼德 赵 健 宋大凤

(吉林大学汽车工程学院 长春 130025)

摘要：提出了实用的四轮驱动汽车牵引力控制算法。在确定控制系统结构的基础上，设计了车速估算算法、油门位置 PI 控制器和制动门限控制算法。为实现牵引力控制算法的快速开发，建立由传感器、执行器、工控机、采集卡和输入输出电路组成的车载快速开发平台。硬件在环试验和道路试验表明：传感器能准确检测输入信号，控制算法能根据输入信号生成控制指令，执行器能快速、准确产生动作以消除驱动轮过度滑转。

关键词：车辆工程 四轮驱动 牵引力控制系统 硬件在环 道路试验

中图分类号：U463.54

0 前言

牵引力控制系统通过控制驱动轮滑转率改善汽车的驱动性能^[1-2]，四轮驱动汽车因此装备牵引力控制系统^[3-7]。牵引力控制系统开发的关键在于控制算法和系统硬件的匹配。为完成汽车电控系统的快速开发，硬件在环快速开发试验技术得到了应用^[8-9]。

在完成四轮驱动汽车牵引力控制算法设计的基础上，建立了由牵引力控制系统软、硬件组成的车载硬件在环开发平台，利用该平台完成了牵引力控制算法的快速开发。

1 四轮驱动汽车牵引力控制算法

1.1 控制系统结构

如图 1 所示，控制系统包括检测轮速、纵向加速度、油门位置和制动信号的传感器、电控油门执行器、制动电磁阀和牵引力控制算法原型等。采用 MATLAB 编写控制算法原型。控制算法根据传感器信号生成控制指令，驱动执行器完成动作。采用油门控制和驱动轮制动控制两种方式实现牵引力控制。

1.2 车速估算算法

四驱汽车不存在非驱动轮，应根据轮速和纵向加速度确定参考车速以替代实际车速。图 2 为参考车速算法框图，

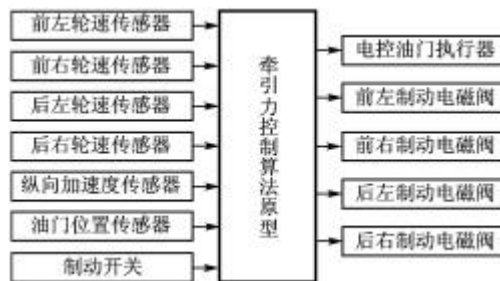


图 1 控制系统结构

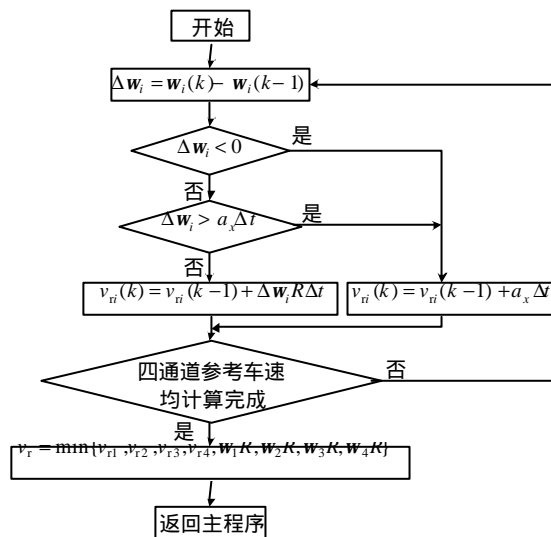


图 2 参考车速算法框图

w_i —— 第 i 通道的角速度， $i=1, 2, 3, 4$ 分别代表前左、前右、后左和后右车轮

$k, k-1$ —— 第 k 和 $k-1$ 次控制循环

Δw_i —— 第 i 通道的角速度增量

a_x —— 汽车的纵向加速度

Δt —— 控制循环时间间隔

v_{ri} —— 第 i 通道的参考车速

R —— 车轮半径

v_r —— 参考车速

* 中国人民解放军总装“十五”预研基金资助项目(2001-C1-0102)。20050204 收到初稿，20050808 收到修改稿

1.3 油门位置控制器

油门位置控制器根据轮速和参考车速采用 PI 控制方法确定油门位置增量控制指令。

输入误差

$$e = v_r / (1 - s_{0e}) - [(?_1 + ?_2 + ?_3 + ?_4)R] / 4 \quad (1)$$

式中 s_{0e} ——油门控制器的目标滑转率

输入误差增量

$$? e = e(k) - e(k-1) \quad (2)$$

油门位置增量

$$? k_d = K_p e + K_i ? e \quad (3)$$

式中 K_p, K_i ——控制器的比例和积分因子

1.4 制动门限控制算法

制动门限控制算法根据驱动轮相对滑转率 s_{Ri} 和角速度增量 $??$ 确定制动控制指令。下表给出制动门限控制算法。当车速高于 30 km/h 后, 制动控制将不再发挥作用。

表 制动门限控制算法($v_r < 30$ km/h)

当前状态	判断条件	制动控制指令
大步长增压	$s_{Ri} > s_{0b}$ 且 $?? > 0$	大步长增压
	$s_{Ri} < s_{0b}$	大步长减压
大步长减压	$s_{Ri} > s_{0b}$ 且 $?? < 0$	大步长减压
	$s_{Ri} < s_{0b}$ 且 $?? > 0$	大步长增压
小步长减压	$s_{Ri} > s_{0b}$ 且 $?? < 0$	小步长减压
	$s_{Ri} < s_{0b}$ 且 $?? > 0$	小步长增压

注: s_{Ri} 为相对滑转率, 按式(4)确定; s_{0b} 为制动控制目标滑转率。

第 i 通道驱动轮的相对滑转率

$$s_{Ri} = (w_i - w_{i_0}) / w_i \quad (4)$$

式中 w_{i_0} ——与第 i 通道同驱动桥的车轮角速度

制动控制指令分为大步长增压、小步长减压和 大步长减压, 通过增压、保压和减压三个基本状态 实现。例如: 阶梯增压通过“增压—保压”获得较 大增压梯度, 而小步长减压可通过“减压—保压— 保压—保压”获得较小减压梯度。

2 车载快速开发平台

为加快控制算法与硬件的匹配研究, 建立图 3 所示的车载快速开发平台, 可实现硬件在环试验和 道路试验的数据实时显示、存储和调试。该车载试 验平台包括内容如下。

- (1) 牵引力控制系统的传感器和执行器。
- (2) 用于开发的制动压力传感器和五轮车速传 感器。
- (3) 输入输出电路。进行输入信号处理和执行 器驱动。

(4) 数据采集卡。存储有传感器信号处理、执 行器驱动及轮速脉冲发出等程序。其中轮速脉冲发 出程序用于硬件在环试验模拟发出轮速脉冲信号。

(5) 工控机主机, 存储有采用 MATLAB 编写的 牵引力控制算法原型和驱动仿真模型软件。

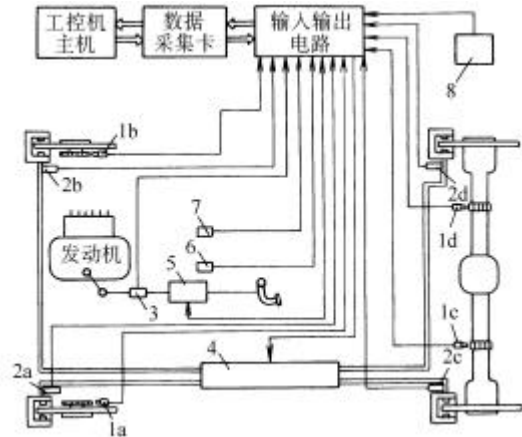


图 3 牵引力控制系统车载快速开发平台

- 1a,1b,1c,1d. 前左、前右、后左、后右轮速传感器
 2a,2b,2c,2d. 前左、前右、后左、后右制动缸压力传感器
 3. 油门位置传感器 4. 制动电磁阀 5. 电控油门
 6. 纵向加速度传感器 7. 制动开关 8. 车速传感器

3 牵引力控制系统试验

为检验控制效果、调试控制系统硬件以及进行 控制算法与硬件的匹配研究, 完成了四驱牵引力控 制系统硬件在环试验和道路试验。

3.1 硬件在环试验

图 4 和图 5 为冰面上有、无牵引力控制驱动的 硬件在环试验结果, 试验条件为: 变速器三挡, 初 始车速 3 m/s, 路面峰值附着系数为 0.1。图 6 和图 7 为分离路面上有、无牵引力控制驱动硬件在环试 验结果, 试验条件为: 变速器三挡, 初始车速 3 m/s, 路面峰值附着系数分别为 0.1 和 0.7。

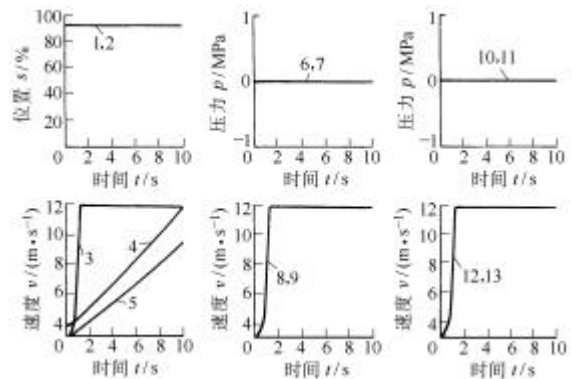


图 4 冰面无牵引力控制硬件在环试验

1. 加速踏板位置 2. 油门位置 3. 驱动轮速均值 4. 目标车速
 5. 车速 6,7. 前左、前右驱动轮速 8,9. 前左、前右轮制动压力
 10,11. 后左、后右驱动轮速 12,13. 后左、后右轮制动压力

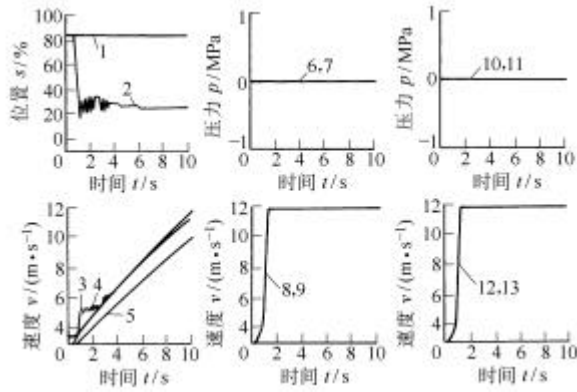


图5 冰面上牵引力控制硬件在环试验(数字含义同图4)

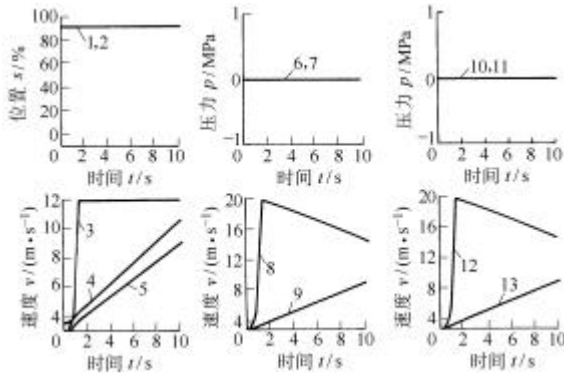


图6 分离路无牵引力控制硬件在环试验(数字含义同图4)

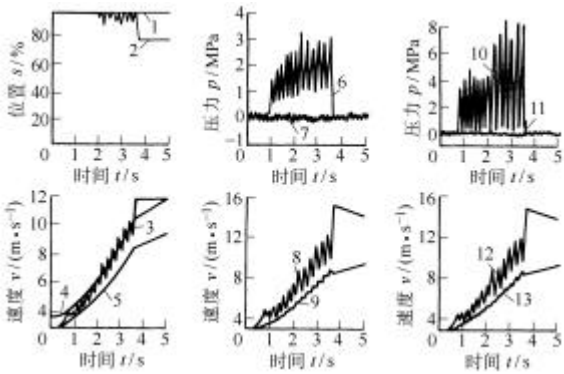


图7 分离路面有牵引力控制硬件在环试验(数字含义同图4)

上述硬件在环试验结果表明：传感器能准确检测信号，数据采集卡内的轮速脉冲发出程序能准确发出脉冲，牵引力控制算法能计算出正确的控制指令，电控油门执行器和制动电磁阀能快速、准确地产生动作从而消除了驱动轮的过度滑转。但上述试验结果仅反映了传感器、控制算法和执行器特性对控制效果的影响，未反映试验车辆、轮速传感器和加速度传感器等性能的影响。为此，进行了道路试验。

3.2 道路试验

2004年1月，在平坦柏油路上浇成长60m、宽4m的冰面，得到冰路面和分离路面。

图8为冰面上变速器二挡、分动器高档有牵引力控制原地起步驱动道路试验结果；图9为分离路面上变速器一档、分动器高档原地起步驱动道路试验结果。由此可见：驱动轮速均值超过目标车速而发生过度滑转，油门执行器迅速减小油门位置、消除了过度滑转；同时，各驱动轮的载荷、气压、胎面花纹及路面附着不可能完全相同，因此冰面上有某一驱动轮滑转程度超过其他驱动轮，所以后右轮制动压力增加，从而消除了过度滑转。此外，参考车速与实际车速误差很小，能满足控制需要。

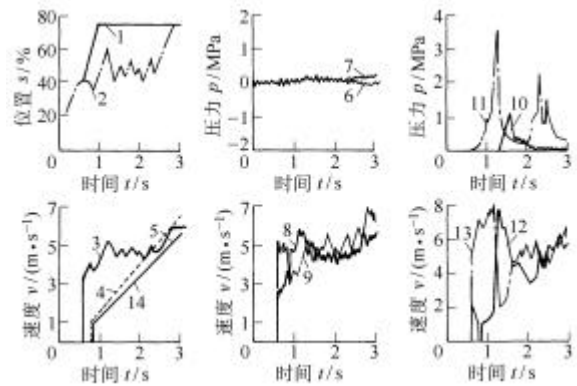


图8 冰面上有牵引力控制驱动道路试验

14. 参考车速(其他数字含义同图4)

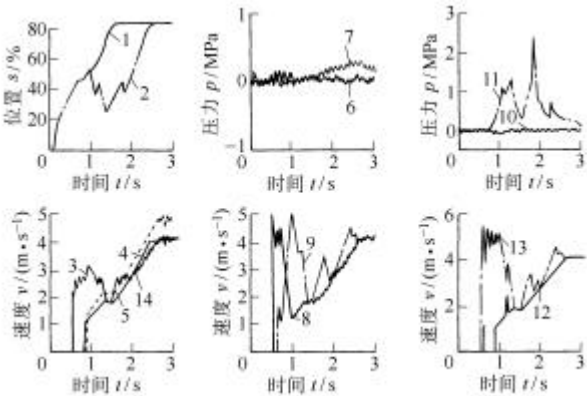


图9 分离路面有牵引力控制道路试验(数字意义同图8)

图10为冰面上变速器一档、分动器高档有牵引力控制原地起步驱动的轮速、车速、参考车速以及纵向加速度的试验曲线。由图10可见，提出的根据轮速和纵向加速度估算车速的算法能获得准确的参考车速。

4 结论

(1) 在提出四驱汽车车速估算算法的基础上，设计了性价比高、实用的牵引力控制算法。试验表明：车速估算算法可靠、牵引力控制算法有效。

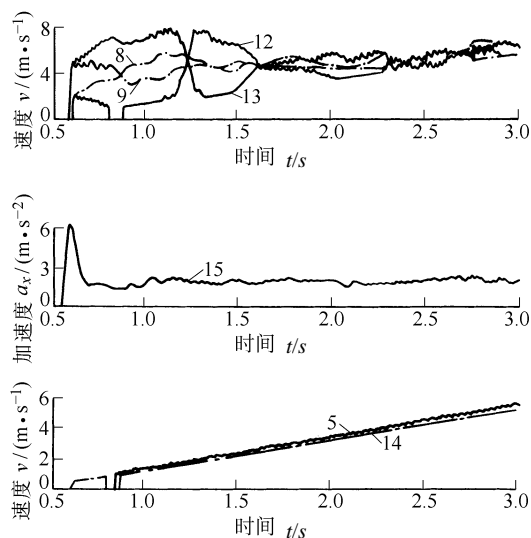


图 10 分离路面车速估算
15.纵向加速度(其他数字含义同图 8)

(2) 牵引力控制系统的控制效果取决于控制系统软、硬件性能匹配, 尤其决定于执行器能否快速、准确动作。通过硬件在环和道路试验, 完成了控制系统软、硬件匹配。试验表明: 执行器能快速、准确消除驱动轮过度滑转。

参 考 文 献

- [1] BADIH J, NABIL H, SASA C, et al. Traction control applications in engine control[G]. SAE Paper 2000-01-3464.
- [2] 李静, 李幼德, 赵健, 等. 车辆牵引力控制系统控制算法仿真研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(6): 30-33.
- [3] KAZUSHI H, AKIRA N, SHINSUKE Y, et al. Development of active-traction control system[G]. SAE Paper 2000-01-1636.
- [4] BRAD A M, MARK A M, PHILIP M H. Improved army vehicle brakes/safety through partnering[G]. SAE Paper 1999-01-0607.
- [5] 李静. 4×4 越野汽车牵引力控制策略与控制算法研究: [D]. 长春: 吉林大学, 2003.
- [6] HALL T J, PERKINS R S. Traction control system for use with four wheel drive vehicles having on-demand transfer cases: United States Patent 5927426[P]. 1999-07-27.
- [7] TAKESHI K, KOSAKA H. Driving force controlling ap-

paratus and method for four-wheel drive vehicle: United States Patent 6580994[P]. 2003-06-23.

- [8] YAN Q Z, JOAN M W, LI J. Chassis control system development using simulation software in the loop, rapid prototyping, and hardware in the loop[G]. SAE Paper 2002-01-1565.
- [9] LI J, FENG J Z, YU F, et al. The rapid development of vehicle electronic control system by hardware-in-the-loop simulation[G]. SAE Paper 2002-01-0568.

TRACTION CONTROL ALGORITHM FOR FOUR WHEEL DRIVE VEHICLE

LI Jing LI Youde ZHAO Jian SONG Dafeng
(College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130025)

Abstract: A traction control algorithm for four wheel drive is presented. Based on the configuration of hardware for traction control system, an algorithm for calculating reference vehicle speed, a controller for engine throttle with PI method, and an algorithm for brake with logic threshold method are devised. At the same time, a development test bench for prototyping is established to develop traction control system. It consists of sensors, actuators, computer, I/O interface cards, conventional components of vehicle, etc. To validate the above-mentioned algorithm, hardware-in-the-loop tests and road tests on icy road and splitted road are made. The results indicate that traction control system is able to receive signals exactly, create control command and drive actuators to eliminate excess slip of driving wheel.

Key words: Vehicle engineering Four wheel drive

Traction control system Hardware-in-the-loop
Road test

作者简介: 李静, 男, 1974 年出生, 博士, 副教授。主要从事汽车牵引力与制动力控制、悬架控制、轮胎控制及电控系统开发技术等研究, 承担国家、部、省级科研项目 10 项, 发表论文 16 篇。

E-mail: liye1129@163.com