

文章编号:1673-9469(2008)02-0055-03

基于最优控制的重型车主动侧倾控制研究

朱天军,郑红艳,侯红娟

(河北工程大学 机电工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:针对重型半挂车的侧倾稳定性问题,建立了重型半挂车的动力学模型,并提出了一种基于回路传输恢复技术的LQG主动侧倾控制算法。设计各个车速下LQG控制器,并进行了阶跃转向工况下车辆的仿真。仿真结果表明:LQG主动侧倾控制算法有效提高了重型半挂车的侧倾稳定性。

关键词:重型半挂车;侧倾稳定性;主动侧倾控制

中图分类号: U463.4

文献标识码: A

Research on active roll control of heavy vehicle based on the optimal control

ZHU Tian-jun, ZHENG Hong-yan, HOU Hong-juan

(College of the Mechanical and Electric Engineering, Hebei engineering University, Handan 056038, China)

Abstract: The research sets up a heavy tractor semi-trailer dynamic model and puts forward an active roll control algorithm based on optimal control for the vehicle roll stability control. It also establishes LQG controller in various speeds and simulates roll stability of the vehicle with steering step input. The simulation results show that the active roll control algorithm is very effective in the active roll control for the vehicle.

Key words: heavy tractor semi-trailers; roll stability; active roll control

重型半挂车具有重量和尺寸大、质心高的特点,与其它公路车辆相比,其侧翻稳定极限比较低。由于驾驶员位于车辆前部,经常意识不到发生在车尾的不稳定,因此在侧翻事故发生时,几乎所有的驾驶员都没能警觉到侧翻的发生。所以,提高重型半挂车的侧倾稳定性是提高公路运输安全、减少交通事故的重要手段。

目前,人们对如何提高重型半挂车侧倾稳定性的问题进行了深入研究,如差动制动系统控制^[1],在汽车运动过程中给各个车轮单独施加制动力以改变车辆的运动姿态,保证车辆稳定,防止侧翻发生;主动悬架系统控制^[2],通过分别调整左右侧悬架的作用力,减少两侧车轮与地面正压力的差别,从而避免发生侧倾;主动横向稳定器控制^[3],车辆转向行驶时,精确控制横向稳定器产生侧倾阻力矩,降低侧倾的程度,保证车辆的侧倾稳定性。

对于实际控制,通常控制规律需要得到系统的状态变量,而状态变量不能直接得到,需通过测量装置测量,但测量装置中一般存在随机干扰,故观测信号中夹杂有随机噪声。线性二次高斯LQG最优控制方法是基于状态观测器的线性最优控制方法,用以处理有附加噪声影响或状态不能直接测量的线性系统控制问题。

本文建立了某款重型半挂车的Matlab/Simulink动力学仿真模型,应用主动横向稳定器控制方法,提出了一种基于回路传输恢复技术的LQG主动侧倾控制算法,并设计各个车速下LQG控制器,进行了阶跃转向工况下车辆的仿真。

1 Matlab/Simulink 仿真模型建立

1.1 Matlab/simulink 车辆动力学模型

在Matlab/simulink中建立重型半挂车的动力

收稿日期:2007-11-14

基金项目:国家863计划(2006AA110104);国家自然科学基金资助项目(50775096) 特约专稿

作者简介:朱天军(1977-),男,河北邢台人,博士,讲师,从事汽车动态仿真与控制的研究。

学模型^[4-7],如图1所示。

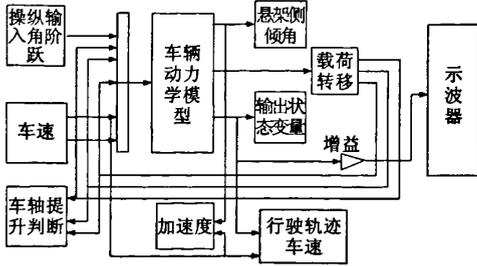


图1 重型半挂车Matlab动力学仿真模型
Fig.1 Matlab/Simulink model of heavy tractor-semitrailer

1.2 主动侧倾控制算法

图2为主动侧倾控制算法框图:给车辆动力学模型一个前轮转角输入,车辆动力学模型输出控制状态变量,如牵引车各轴、半挂车集中车轴的悬架侧倾角、横向载荷转移、车身侧倾角速度、横摆角速度等这些变量输入到主动侧倾控制器。主动侧倾控制器输出各车轴所需的侧倾力矩值给主动侧倾控制系统,由其具体分配簧载质量和非簧载质量之间的侧倾力矩的精确值,再反馈给车辆动力学模型,构成闭环控制。

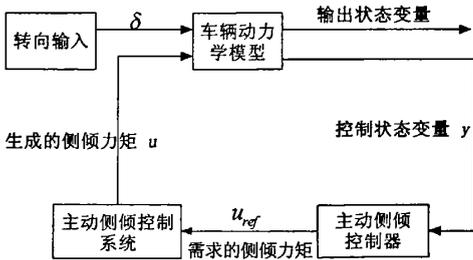


图2 重型半挂车主动侧倾控制算法图
Fig.2 Active roll control algorithm of heavy tractor-semitrailer

1.3 LQG 主动侧倾控制器设计

设LTI系统中含有系统随机输入噪声和随机测量噪声,即系统为

$$\dot{x} = Ax + B_0u + B_1w, y = C_0x + v \quad (1)$$

其中, w 和 v 分别代表随机输入噪声和随机测量噪声。 w 是由驾驶员转向输入产生的,另外, w 可以代表一定程度的未建模部分的动态存在;随机测量噪声 v 是由传感器的精度误差和电磁干扰产生。 w 和 v 均为零均值的 Gauss 白噪声, w 和 v 两噪声均过程平稳且互不相关,且有

$$E\{w(t)w(\tau)^T\} = W\delta(t - \tau) \quad (2)$$

$$E\{v(t)v(\tau)^T\} = V\delta(t - \tau), \quad (3)$$

$$E\{w(t)v(\tau)^T\} = 0, \quad (4)$$

$$E\{v(t)w(\tau)^T\} = 0 \quad (5)$$

其中, $E\{\cdot\}$ 为数学期望,“ T ”代表转置, W 为系统随机输入噪声的协方差矩阵, V 为随机测量噪声的协方差矩阵; $\delta(t - \tau)$ 代表狄拉克函数。

则 LQG 最优控制问题就是设计控制输入 $u(t)$,使二次性能指标函数最小^[5,6]。

$$J(u(\cdot)) = E\left\{\int_0^{\infty} (z^TQz + u^TRu)dt\right\} \quad (6)$$

Kalman 滤波器的动态方程为

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + B_0u + H(y - C_0\hat{x}) \quad (7)$$

滤波器增益矩阵 H 为

$$H = SC_0^T V^{-1} \quad (8)$$

其中 S 是下面 Riccati 方程的唯一解:

$$SA^T + AS - SC_0^T V^{-1} C_0 S + B_1 W B_1^T = 0,$$

$$S = S^T \geq 0 \quad (9)$$

2 仿真结果及分析

定义标准横向载荷转移

$$\Delta f = \frac{F_1 - F_2}{F_1 + F_2} \quad (10)$$

其中, F_1 和 F_2 是左右车轮上的垂直载荷。当 $\Delta f = \pm 1$ 时,表明有一侧的车轮开始离开地面。经过研究发现牵引车驱动轴为最先离地的车轴,为危险车轴,故以牵引车驱动轴的标准横向载荷转移是否达到 1,来判断车轴是否存在侧翻危险。

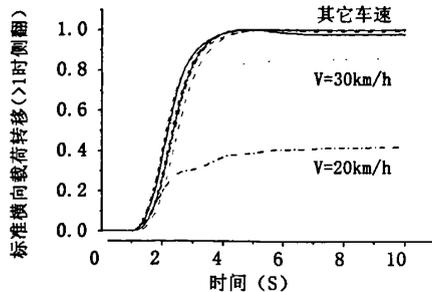


图3 牵引车(被动)驱动轴的横向载荷转移
Fig.3 Lateral load transfer of tractor drive axle (no control)

如图3所示,被动半挂车在 $V \geq 40km/h$ 时,牵引车驱动轴的横向载荷转移达到 1,即车辆发生侧翻。

如图4-5所示,重型半挂车在车速 $V \geq 40km/h$ 时,牵引车驱动轴、半挂车集中车轴的横

向载荷转移均为 0.7 以下,约为 0.65。与被动式车辆相比,主动侧倾控制系统可以使车辆的侧倾稳定性提高 30% 以上。

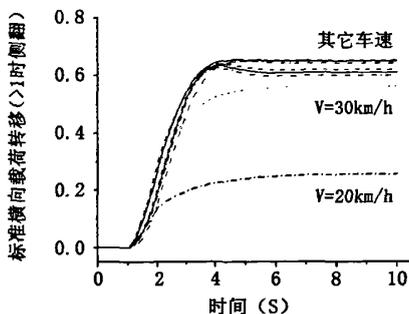


图4 牵引车驱动轴的横向载荷转移(主动控制)

Fig.4 Lateral load transfer of tractor drive axle(active control)

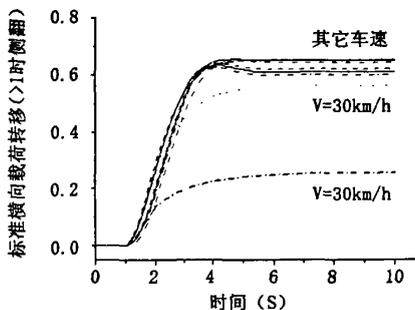


图5 半挂车集中车轴的横铅载荷转移

Fig.5 Lateral load transfer of trailer axle (active control)

3 结论

通过对重型半挂车侧倾稳定性问题的研究,

建立重型半挂车的动力学模型,在回路传输恢复技术 LQG/LTR 主动侧倾控制算法基础上,设计了变车速下 LQG/LTR 局部状态反馈控制器,并进行变车速阶跃转向工况下的车辆仿真和分析。仿真结果表明:(1)发现牵引车驱动轴为最先离地的车轴,为危险车轴,故以牵引车驱动轴的标准横向载荷转移是否达到 1,来判断车轴是否存在侧翻危险。(2)与被动车辆相比,主动侧倾控制系统可以使牵引车驱动轴(危险车轴)的横向载荷转移峰值减小 30% 以上,因此,LQG/LTR 主动侧倾控制算法有效提高了重型半挂车的侧倾稳定性。

参考文献:

- [1] DUNWOODY A B, FROESE S. Active roll control of a semi-trailer [J]. SAE Transactions, 1993, (SAE 0148 - 7191):999 - 1004.
- [2] PALKOVICS, M EL GINDY. Design of an active unilateral brake control strategy for a tractor - semitrailer based on sensitivity analysis[J]. Vehicle System Dynamics, 1995, (ISSN 0042 - 3114): 234 - 245.
- [3] SAMPSON D, CEBON D. Active roll control of articulated heavy vehicle[J]. Technical Report CUED/C - Mech/TR, 2002, (ISSN 0209 - 7420):55 - 90.
- [4] 郭孔辉. 汽车操纵动力学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社,1991.
- [5] 冯向敏. 半挂汽车列车的主动侧倾控制[D]. 长春: 吉林大学,2005.
- [6] 高志国. 半挂汽车列车的主动侧倾控制的优化设计[D]. 长春: 吉林大学,2006.
- [7] 朱天军. 重型半挂车的 ADAMS 建模及稳定性分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2007,24(2):62 - 64.

(责任编辑 闫纯有)