

文章编号:1671-8879(2006)05-0099-03

横摆角速度反馈对车辆操纵稳定性的影响

陈 燕¹, 刘晶郁², 陈少华¹, 田忠民¹

(1. 鲁东大学 交通学院, 山东 烟台 264025; 2. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:为了改善装有电子助力转向系统(EPS)的车辆操纵稳定性,分析研究了 EPS 中引入横摆角速度负反馈对车辆操纵稳定性的影响,建立了包含 EPS 的人-车系统数学模型,并利用 SIMULINK 工具箱进行了仿真分析。结果表明:该模型在 EPS 中引入横摆角速度负反馈,可以显著改善前轮角阶跃输入下车辆的横摆角速度的瞬态响应;EPS 助力矩响应曲线上升平稳缓慢,有利于汽车在低附着系数路面高速转向行驶的操纵,从而提高了汽车的行驶安全性。

关键词:汽车工程; EPS; 横摆角速度反馈; 操纵稳定性; 模型; 仿真

中图分类号:U461.6

文献标识码:A

Yaw rate feedback for vehicle stability with EPS

CHEN Yan¹, LIU Jing-yu², CHEN Shao-hua¹, TIAN Zhong-min¹

(1. School of Transportation, Ludong University, Yantai 264025, Shangdong, China;

2. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to improve the vehicle manipulating stability with electric power steering system(EPS), the effect of introducing yaw angle rate negative response into EPS is analysed, a man-vehicle mathematic model including EPS is built. The software toolbox of SIMULINK is used to simulation the model. It is shown that vehicle's yaw angle rate response is improved by introducing yaw angle rate negative feed into the model with front wheel's angle step input, the EPS powered torque response curve arises evenly and slowly, this is useful to vehicle's driving at high speed on low friction coefficient road, so the vehicle's driving safety can be improved. 1 tab, 4 figs, 8 refs.

Key words: automobile engineering; EPS; yaw rate feedback; vehicle stability; model; simulation

0 引 言

汽车在湿滑或结冰路面上高速转向行驶时,极易出现车辆失稳。引起车辆失稳的一个因素是转向系统提供给驾驶员的转向盘力反馈太小,驾驶员无法获得足够的路面附着信息。而转向盘力反馈的大小与回正力矩以及转向系统的力反馈特性有关。对

于采用电子助力转向系(EPS)的车辆,可以通过控制助力的大小来实时的调整转向系统的力反馈特性。如果能将汽车横向运动的信息反馈给 EPS 的控制单元(ECU),ECU 就能根据一定的控制算法,控制 EPS 输出合适的助力矩,帮助驾驶员控制车辆的稳定性。对于 EPS 的研究,中国目前还处于起步阶段,理论研究还不成熟,相对 EPS 系统本身的控

制研究较多,而将 EPS 融入整个汽车系统,研究车辆操纵稳定性的文献较少^[1-4]。为此,本文通过对包含横摆角速度负反馈传感器 EPS 的人-车系统操纵稳定性的仿真分析,说明 EPS 控制对汽车在低附着系数路面高速转向行驶时操纵稳定性的影响。

1 建立模型

1.1 人-车系统模型

考虑驾驶员的反馈作用,将驾驶员与车辆作为整体的人-车系统模型如图 1 所示。在人-车系统中,驾驶员通过操纵转向盘,把系统的输出参数反馈到输入控制中,驾驶员调节系统输出(横向速度和横摆角速度),使车辆在道路上正常行驶。

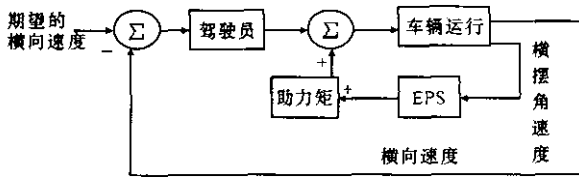


图 1 人-车系统模型

1.2 驾驶员的操纵行为模型

对于驾驶员的操纵行为采用 Hess R A 提出的模型^[5](图 2)。该模型认为驾驶员的反馈行为是基于车辆的横向速度,即驾驶员根据对外部环境条件的判断,形成期望的汽车瞬间横向速度。期望横向速度和当前车辆实际横向速度的差值,即是模型的输入,而驾驶员操纵转向盘的力矩是模型的输出。

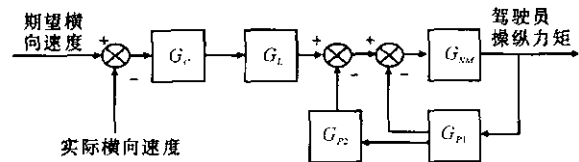


图 2 驾驶员操纵行为模型

图 2 中: G_{NM} 为驾驶员手臂神经肌肉系统的传递函数; G_{P1} 、 G_{P2} 为驾驶员肢体和肌肉运动的反馈环节; G_L 为驾驶员大脑处理信息的延迟; G_C 为考虑到低频驾驶操纵行为而设置的超前补偿器。各环节的表达式为

$$G_{NM} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}, \quad G_{P1} = \frac{K_1 s}{s + 1/T_1} \quad (1)$$

$$G_{P2} = \frac{K_2}{s + 1/T_2}, \quad G_L = \frac{1}{T_3 s + 1}$$

$$G_C = \frac{1 + \alpha T_C s}{1 + T_C s} \quad (2)$$

式中: ω_n 为无阻尼固有频率; ξ 为阻尼; K_1 、 K_2 分别为 G_{P1} 与 G_{P2} 的增益; T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_C 均为一阶系统特征参数; α 为系数。

1.3 车辆模型

对车辆的运动采用二自由度车辆模型^[5],根据汽车动力学分析可得下列方程

$$\frac{dv}{dt} = \frac{k_1 + k_2}{mu} v + (\frac{ak_1 - bk_2}{mu} - u)\omega_r - \frac{k_1}{m} \delta \quad (3)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{ak_1 - bk_2}{I_z u} v + \frac{a^2 k_1 + b^2 k_2}{I_z u} \omega_r - \frac{ak_1}{I_z} \delta \quad (4)$$

式中: k_1 、 k_2 分别为前后轮的侧偏刚度; u 为车速; m 、 I_z 分别为汽车质量和绕质心的转动惯量; a 、 b 分别为汽车质心到前后轴的距离; v 、 ω_r 分别为汽车的横向速度和横摆角速度; δ 为前轮转向角。

1.4 加入 EPS 后的前轮转向角 δ 动态模型

前轮转向角 δ 动态模型为

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_r \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{k_1 d}{I_s u} v - \frac{ak_1 d}{I_s u} \omega_r + \frac{k_1 d}{I_s} \delta - \frac{B_s}{I_s} \omega_r + T_H + T_A \quad (6)$$

式中: I_s 为转向系统转向销的等效转动惯量; B_s 为等效阻尼系数; T_H 为驾驶员操纵转向盘的力矩(等效到转向销); T_A 为 EPS 系统提供的助力矩(等效到转向销); d 为轮胎偏移距。

2 横摆角速度反馈

当汽车运行进入失稳状态时,驾驶员很容易做出过度转向(Over-steering)的操纵行为,使汽车出现危险状况。对于采用 EPS 的车辆,可在 EPS 中引入一个负反馈,以降低系统的助力矩,削弱驾驶员快速改变前轮转向角的能力。汽车失稳的显著特征是横摆角速度的急剧波动,引入与横摆角速度变化率成正比例的负反馈,则有

$$T_R = K_A T_H - C(s) K_R \dot{\omega}_r \quad (7)$$

$$C(s) = K_C (\frac{nTs + 1}{T_s + 1}) \quad (8)$$

式中: T_R 为前轮的回正力矩; $C(s)$ 为超前补偿器; K_A 为转向盘力矩增益; K_R 为负反馈增益; K_C 为超前补偿器增益。

3 仿真结果

采用驾驶员模型和车辆模型参数(表 1),利用 Matlab 的 SIMULINK 工具箱,对在 EPS 中引入一个负反馈和不加入负反馈的人-车系统在前轮阶跃输入下,车辆的横摆角速度的动态响应和 EPS 助力矩的动态响应进行仿真计算^[6-7]。

表 1 仿真计算所使用的驾驶员模型和转向系模型参数			
$\omega_n/(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	9.2	T_1/s	2.5
ξ	0.459	T_2/s	0.225
K_1	0.088	T_3/s	0.308
K_2	1.6	T_c/s	0.010 9
α	2.3	$I_S/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	11.4
$B_S/(\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s})$	120	d/m	0.1
K_C	15	T/s	0.01
n	3.4	K_R	2

图 3 给出了前轮阶跃输入下车辆的横摆角速度的动态响应曲线。由图 3 可以看出,对于不引入反馈的系统,瞬态响应曲线的振荡幅度很大,收敛较慢,稳定性较差。引入反馈后,系统的超调量显著降低,并很快的趋于稳态值,但反应时间较前者增加。

图 4 为 EPS 助力矩随时间变化的关系曲线。可以看出,引入反馈后(实线表示)系统在横摆角速度出现剧烈振荡的阶段($t<1\text{ s}$),提供远小于常规系统(虚线表示)的助力矩。这样转向系能提供给驾驶员更多的“路感”,同时也使转向系变得较“迟钝”,削弱了驾驶员快速控制前轮转向的能力,从而防止了因驾驶员(错误的)快速转向操纵而导致的系统不稳定。另外,带有反馈的系统提供的助力矩曲线很平滑,而不带反馈的系统却出现了一定的波动。抑制助力矩的波动不仅有利于保持车辆的稳定性,也有利于延长助力电机的寿命^[8]。

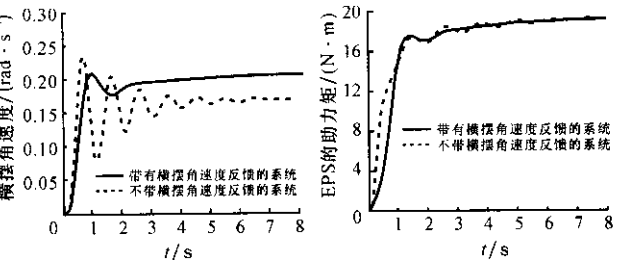


图 3 系统在阶跃输入下的横摆角速度动态响应曲线

图 4 系统在阶跃输入下 EPS 的助力矩动态响应曲线

4 结 语

- (1) 在 EPS 引入横摆角速度反馈,可以减少前轮阶跃输入车辆的横摆角速度瞬态响应的时间,显著降低超调量,可明显改善车辆的行驶稳定性,但会增加反应时间。
- (2) 为 EPS 引入横摆角速度反馈后, EPS 系统的助力矩上升较慢,但增长平稳,不出现明显的振荡,在汽车横摆角速度出现剧烈波动时的失稳状态下有利于汽车的操纵,提高了汽车的行驶安全性。

参考文献:
References:

[1] 余 强,马 建.半被动悬架系统对汽车侧翻稳定性的改善[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(4):73-76.
YU Qiang, MA Jian. Side tumbling stability of vehicle with semi-passive suspension system[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(4):73-76.

[2] 杨波涛,王庆丰,夏仲凯. 液压半主动悬架系统的自适应神经网络控制[J]. 中国公路学报,2003,16(1):104-107.
YANG Bo-tao, WANG Qing-feng, XIA Zhong-kai. Neural network control for semi-active hydraulic suspension[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003,16(1):104-107.

[3] 米奇克. 汽车动力学[M]. 陈荫三译. 北京:人民交通出版社,1992.
Mitschke M. Vehicle dynamics [M]. Translated by CHEN Yin-san. Beijing:China Communications Press, 1992.

[4] 余 强,陈荫三. 在主动悬架系统中作用力产生装置模型的建立及性能分析[J]. 西安公路交通大学学报,2001,21(1):103-105.
YU Qiang, CHEN Yin-san. The model establishment and feature analysis of apply force device in active suspension system[J]. Journal of Xi'an Highway University,2001,21(1):103-105.

[5] Modjtahedzadeh A, Hess R A. Model of driver steering control behavior for use in assessing vehicle handling qualities[J]. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control: Transactions of the ASME, 1993,115(3):456-464.

[6] 潘洪达,苏 建,林慧英. 汽车车轮侧滑检测与诊断专家系统[J]. 长安大学学报:自然科学版,2003,23(5):71-73.
PAN Hong-da, SU Jian, LIN Hui-ying. Detection and diagnosis expert system for side-slip of automobile wheel[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003,23(5):71-73.

[7] Zaremba A T, Davis R J. Dynamic analysis and stability of a power assist steering system[C]//Washington: Proc of the ACC,Seattle, 1995:4 253-4 257.

[8] Fujinami A. Relationship between steering characteristics and driver feeling[C]//Tokyo: Conference of the Society of Automotive Engineers of Japan, 1995:181-184.