

基于联合仿真的线控转向系统控制策略的研究

杨平¹, 唐玲²

(1. 四川理工学院, 四川 自贡 643000 2. 四川理工学院自动化与电子信息学院, 四川 自贡 643000)

摘要: 文章应用 ADAMS 软件建立了某型轿车 14 自由度的整车模型, 其次应用 Matlab 建立线控转向系统路感模拟的动力学模型和转向执行机构的动力学模型, 最后通过 ADAMS 和 Matlab 的联合仿真建立了线控转向系统的控制策略。通过机械式转向系统和线控转向系统在特定工况下转向特性联合仿真的比较和分析, 可见线控转向系统是基本符合转向特性要求的。

关键词: ADAMS Matlab 线控转向系统; 路感模拟; 控制策略

中图分类号: TH 22 TN 919. 6

文献标识码: A

引言

线控转向系统 (Steering-By-Wire) 由于其取消了转向盘和转向车轮之间的机械连接, 不仅使驾驶室的乘坐空间加大, 因此驾驶室的设计变得更加自由和灵活, 同时转向系统的转向传动比可以任意设计, 为进一步的汽车转向进行主动控制提供了可能^[1]。因而线控转向系统必将成为未来汽车转向系统的发展主要方向之一, 同时也是当今汽车工程领域研究的一个热点。

但由于线控转向系统的特性原因, 如转向盘与转向车轮之间刚性连接的取消, 也增大了进行线控转向系统研究的难度, 因此线控转向系统控制策略的研究具有一定的实际意义。

1 汽车线控转向系统的结构

汽车线控转向系统由转向盘总成、转向执行总成和电子控制单元三个主要部分以及故障自诊断系统、电源等辅助系统组成, 其结构如图 1 所示。转向盘总成包括: 方向盘、方向盘力矩传感器、方向盘转角传感器和转向盘回正力矩电机。

2 线控转向系统整车模型

图 2 为线控转向系统的整车模型。转向盘右边的圆柱是电机的简化模型, 和转向柱之间通过齿轮副相结合, 设置该运动副的传动比以实现减速增扭的作用。该

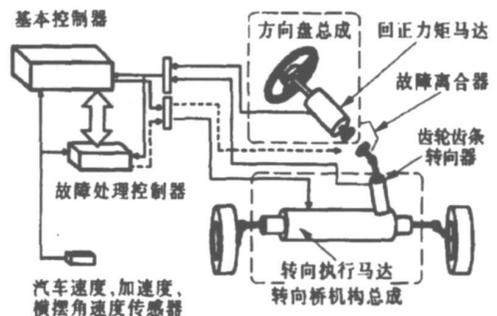


图 1 线控转向系统示意图

电机提供反馈路感转矩, 转矩的大小由控制器计算出的电流决定。断开的转向柱左侧部分的圆柱是模拟转向执行机构的驱动电机, 该圆柱和转向机构也通过齿轮副连接, 设置传动比以实现减速增扭的作用。该电机提供转矩的大小也是由控制器计算出的电流决定。

3 线控转向子系统动力学模型

3.1 路感电机的动力学模型

线控转向系统的转向盘路感模拟机构采用的是从断开的转向柱末端和路感电机通过减速机构连接的形式, 驾驶员转动方向盘时, 路感电机经过减速机构, 由控制器控制路感电机的电流以实现路感的模拟^[3]。转向盘和电机转向柱简化(忽略机械摩擦)后的线控转向系统的模型如图 3 所示:

设转向盘和转向柱的转动惯量、电机的转动惯量分

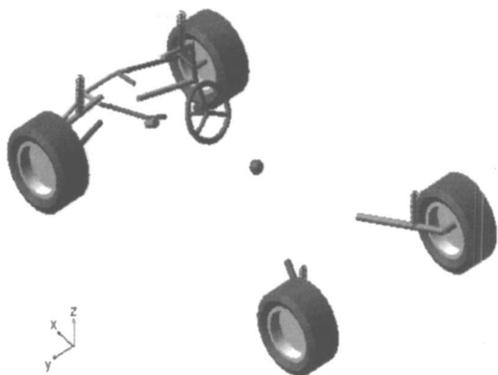


图2 线控转向系统的整车模型

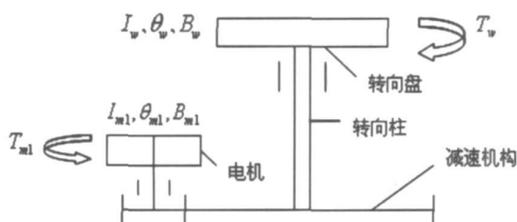


图3 线控转向系统路感模型图

别为 I_w 和 I_m , 电动机的电磁转矩、电动机作用到转向柱的力矩和转向盘上施加的力矩分别为 T_m , T_d , T_w , 转向盘和转向柱与支撑之间、电动机转轴与支撑之间的摩擦系数分别为 B_w 和 B_m , 转向盘转角和电动机的转角分别为 θ_w 和 θ_m , 电动机到转向柱的传动比为 n_1 。

按照图 3 所示简化的动力学模型, 使用牛顿运动学定理, 可以得到驾驶员转动转向盘时转向盘的动力学方程 (忽略了机械之间连接的摩擦):

$$I_w \frac{d^2 \theta_w}{dt^2} + B_w \frac{d\theta_w}{dt} = T_w - T_d \quad (1)$$

$$\frac{T_d}{n_1} = T_m - I_m \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} - B_m \frac{d\theta_m}{dt} \quad (2)$$

$$T_m = k_{m1} \cdot i_{m1} \quad (3)$$

其中: k_{m1} , i_{m1} 为电动机的电磁转矩常数和电流。

3.2 转向执行机构的动力学模型

线控转向系统的执行机构采用齿轮齿条转向器结构, 转向时, 转向执行电机接受从控制器传输过来的电流信号, 产生转向驱动力矩, 然后通过减速齿轮、小齿轮、齿条、转向拉杆、转向拉臂、以及转向节, 实现汽车的转向。简化模型如下图 4 所示:

其中: T_m , I_m , B_m , θ_m 为电机产生的电磁转矩、电机的转动惯量, 电机轴和支撑之间的摩擦系数, 电机的转角; T_q 为电动机作用到转向小齿轮上的力矩; θ_q 为小齿轮转角; I_z , B_z 为转向系统的前轮及转向机构到转向小齿轮的转动惯量和转向系统的前轮及转向机构到转向小齿轮的等效摩擦系数; n_2 为转向执行电机到小齿轮

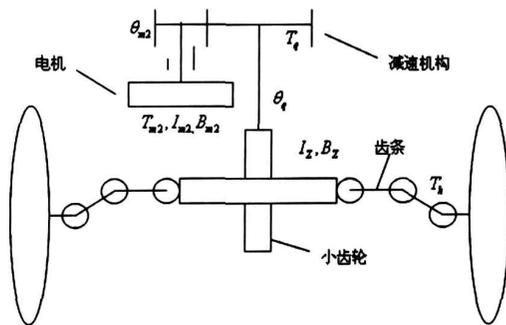


图4 线控转向系统执行机构模型

的减速比; n 为转向系的传动比; T_h 为回正力矩的大小。

从图 4 所示的动力学模型中, 应用牛顿定律, 可以得到转向盘转动时执行机构的动力学方程 (忽略机械连接之间的摩擦和转向

阻力矩) 如下:

$$T_m - I_m \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} - B_m \frac{d\theta_m}{dt} = \frac{T_q}{n_2} \quad (4)$$

$$I_z \frac{d^2 \theta_q}{dt^2} + B_z \frac{d\theta_q}{dt} + \frac{T_h}{n} = T_q \quad (5)$$

$$T_m = k_{m2} \cdot i_{m2} \quad (6)$$

$$T_h = k_1 \cdot d \cdot \left(\frac{v + a\omega_r}{u} - \delta \right) \quad (7)$$

其中 k_1 为前轮的侧偏刚度; d 为轮胎的托距; v 为汽车的侧向速度; a 为汽车质心到前轴的距离; ω_r 为汽车的横摆角速度; u 为车速; δ 为汽车前轮转角。 v 、 ω_r 、 u 、 δ 为在仿真时实时测出输出到 MATLAB 的变量。

4 路感电机电流的曲线拟合

本文的控制策略是根据机械式转向系统来模拟控制电流和车速、侧向加速度之间的关系, 机械式转向系统在方向盘处 (忽略机械连接之间的摩擦和转向阻力矩) 根据力矩平衡可得动力学方程为:

$$I_j \frac{d^2 \theta_j}{dt^2} + B_j \frac{d\theta_j}{dt} = T_j - T_h / n \quad (8)$$

其中: I_j 为转向前轮及转向机构等效到转向盘上的转动惯量; B_j 为转向盘和支撑之间的等效摩擦系数; θ_j , T_j 分别为转向盘转角和转向盘上的力矩。

而线控转向系统的动力学方程为 (1), (2), (3), 为了有效地得到路感信息, 在此使用 T_h / n 来模拟路感电机力矩的大小, 在使用 T_h / n 除以电机的电磁转矩常数而得到电流的大小。从而找到电机电流的大小和侧向加速度、车速之间的关系, 如图 5。

图 5 中的模拟仿真数据选取抛物线拟合, 其拟合曲线作为线控转向系统路感的控制策略。其拟合曲线如图 6 所示。

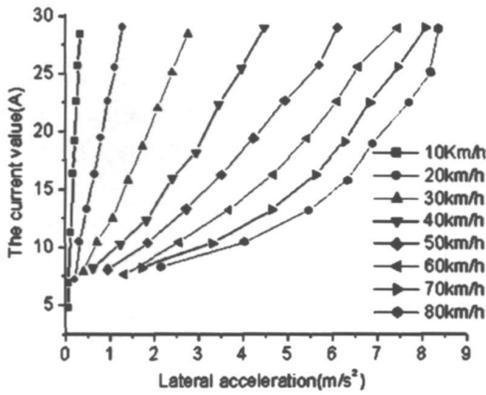


图 5 电流和侧向加速度及车速的关系

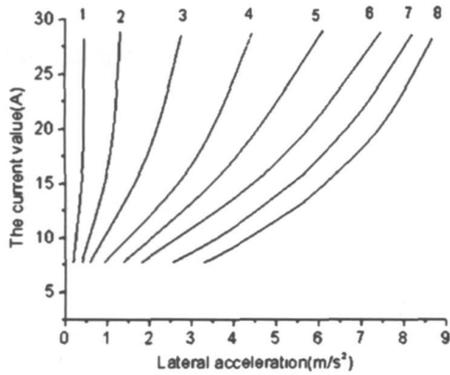


图 6 线控转向控制策略图

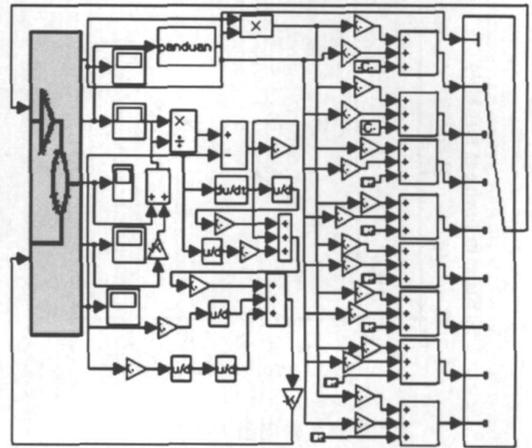


图 7 线控转向系统联合仿真图

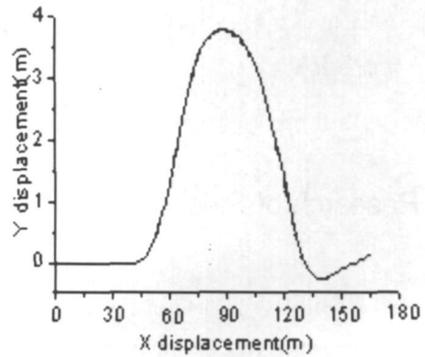


图 8 整车底盘轨迹

5 线控系统联合仿真控制框图

为了输出 ADAMS 被控对象到控制软件 MATLAB, 必须定义被控对象 ADAMS 的输出输入^[4]。在此定义转向盘路感电机电流的大小和转向驱动电机电流的大小为输入变量即从 Matlab 输入到 ADAMS 的变量; 定义汽车的侧向加速度、车速、转向盘转角、侧向速度和横摆角速度为输出变量, 即从 ADAMS 到 MATLAB 的变量。

根据式 (1) 式 (7) 及以上所得出的线控转向系统电流控制策略, 使用各种数学运算搭建控制框图 7 如下所示:

6 双移线试验联合仿真

ISO /TC22/TR3888 提出了汽车急促双移线的试验方法, 它是用以评价模拟计算真实性最有效的方法之一^[5]。

联合仿真如图 7, 仿真时间为 20 秒, 联合仿真后导出仿真数据, 汽车的运行轨迹, 侧向加速度、横摆角速度和转向盘力特性与机械式转向系统的比较如图 8- 图 11 所示:

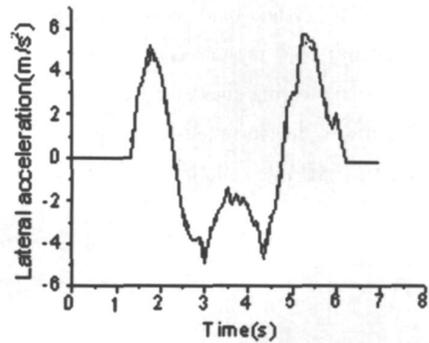


图 9 汽车侧向加速度

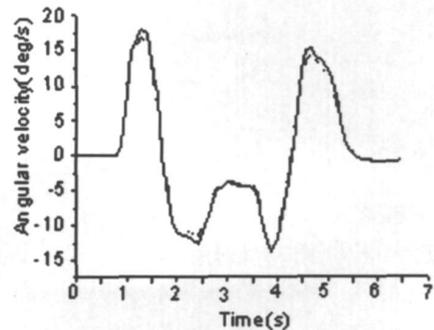


图 10 汽车横摆角速度

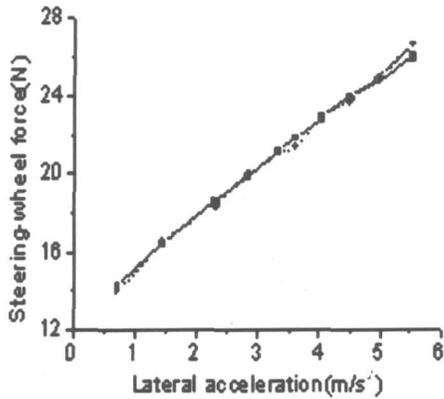


图 11 转向盘力特性

由图可见在转向盘转角输入相同的情况下, 汽车的运行轨迹基本完全重合, 质心的侧向偏移在试验标桩的范围之内, 符合汽车设计的要求和目的; 转向盘力特性基本与机械式转向系统接近。

7 结论

本文在 ADAMS 和 Matlab 联合仿真环境下, 建立了整车动力学模型、路感模型、转向机构模型, 通过双移线转向特性试验, 结果表明转向特性与机械特性吻合。

参考文献

- [1] 于蕾艳, 林逸, 李玉芳. 汽车线控转向系统综述 [J]. 农业装备与车辆工程, 2006(1): 32-35
- [2] 包凡彪. 基于线控转向的汽车转向系统技术研究 [J]. 山东交通科技, 2007(1): 80-84.
- [3] 杨胜兵. 线控转向系统控制策略的研究 [D]. 武汉理工大学, 2008
- [4] Mechanical Dynamics Ins., Using the ADAMS/View Function Builder, 2004
- [5] 汽车工程手册·试验篇 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

Research of Steer-by-wire System Control Strategy Based on Joint Simulation

YANG Ping¹, TANG Ling²

(1. Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

2. School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract The 14 degrees of freedom model is built in this paper by using ADAMS firstly, scendly dynamical models of steer-by-wire (SBW) system road condition simulation and the steering mechanisms are set up by applying MATLAB. In the end, steer-by-wire (SBW) system control strategy is built by joint simulation method using ADAMS and Matlab. Analyzing and comparison on steering character joint simulation of mechanical steering system and steer-by-wire (SBW) under a special condition. The result demonstrated that steer-by-wire (SBW) system accorded with the required steering character.

Keywords ADAMS; Matlab; Steer-By-Wire; road condition simulation; control strategy