

拖拉机电控液压力转向系统的研究

陈文良, 谢斌, 宋正河, 毛恩荣*

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 以铁牛 6541 拖拉机为实验平台设计了一种电控液压力转向系统, 提出了双通道 PD 控制方法, 利用目标转角和实际转角的偏差作为控制器输入, 控制器通过判断左右转向调整 PD 控制参数以补偿转向油缸的不对称性对转向系统造成的影响, 从而使左右转向获得相同的转向特性。台架试验结果表明: 该方法很好的解决了转向油缸不对称造成的左右转向不对称问题。提高了系统的稳定性, 控制精度和快速响应特性, 可以作为自动或辅助驾驶车辆的转向执行机构。

关键词: 拖拉机; 转向控制系统; PD 控制

中图分类号: S219.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2006)10-0122-04

陈文良, 谢斌, 宋正河, 等. 拖拉机电控液压力转向系统的研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 122-125.

Chen Wenliang, Xie Bin, Song Zhenghe, et al. Electro-hydraulic power steering system for tractors[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(10): 122-125. (in Chinese with English abstract)

0 引言

自动转向是智能车辆的一项关键技术, 它可以自动地调整智能车辆的横向位置, 实现自动驾驶车辆的横向控制, 是实现自动驾驶控制的基础。智能车辆使用最多的自动转向方式有两种^[1-4], 一种是电液控制转向系统, 如美国伊利诺斯州立大学通过对拖拉机转向系统进行改造, 设计了一种电液操控系统以实现转向控制, 系统主要由液压泵、三位四通电磁比例方向控制阀、PWM 电磁阀驱动器和转向油缸等组成^[5]。另一种是控制电动机带动方向盘转动实现转向操作, 如日本岩手大学研制的自动驾驶拖拉机, 采用步进电机通过链条传动带动方向盘转动实现转向操作^[6], 中国农业大学魏延富博士研制了一套转向控制系统, 由步进电机通过齿轮驱动方向盘实现转向^[7]。

本文介绍一种自行设计的可用于拖拉机自动驾驶的电控液压力转向系统。针对转向油缸的非对称性提出了双通道 PD 控制算法, 解决了转向不对称问题。该转向系统能够快速实现人工转向和自动转向模式之间切换, 且具有转向力矩大、控制精度高、响应速度快、节省能量等优点, 可以作为自动/辅助驾驶车辆的转向执行机构。

1 系统结构

根据拖拉机不同的驾驶需要, 转向系统应该具有自动转向和人工转向两种转向模式, 并且两种模式的切换应简单、快捷。为此, 所设计的转向控制系统在原有转向系统基础上, 通过加装全液压转向器、步进电机、步进电

机驱动器和电磁换向阀等设备, 设计了一种电控液压力转向系统 (Electric Hydraulic Power Steering—EHPS), 实现了拖拉机的自动转向功能。电控液压力转向系统由转向控制器 (ECU)、角位移传感器、步进电机、步进电机驱动器、全液压转向器、液压油路、机械转向机构和蓄电池 (未画出) 等组成, 系统结构示意图如图 1 所示^[8,9]。

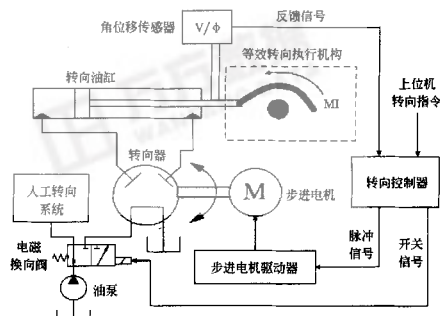


图1 自动转向控制系统结构示意图

Fig.1 Structure of the automatic steering control system

EHPS 控制系统根据各部分的功能不同可分为机械传动机构、液压系统和转向控制器系统。液压系统主要由油泵、电磁换向阀、全液压转向器和转向油缸等组成, 为 EHPS 提供转向动力, 电磁换向阀可以快速实现自动转向和人工转向两种模式之间的切换。转向控制器系统是 EHPS 控制系统的核心, 主要由转向控制器、角位移传感器、步进电机及其驱动器和 CAN 通讯系统等构成^[10], 其主要作用是: 采集传感器信号并把信号发送给需要该信号的其他控制器; 根据目标转角和实际转角的偏差值, 控制步进电机驱动全液压转向器完成转向操作; 实现上、下位机及下位机之间的数据传输^[11]。

收稿日期: 2005-10-09 修订日期: 2006-01-23

基金项目: 中国农业大学“211”工程建设项目

作者简介: 陈文良, 北京海淀区清华东路 17 号 中国农业大学工学院, 100083

*通讯作者: 毛恩荣, 教授, 博士研究生导师, 主要从事车辆工程、流体传动与控制以及人机工程的研究。北京海淀区清华东路 17 号 中国农业大学工学院, 100083。Email: gxy15@cau.edu.cn

2 EHPS 控制算法

2.1 转向控制参数的分析

自动驾驶拖拉机要实现准确、稳定的转向功能,自动转向系统要具备2个基本功能。一是正确的转向方向和转向角度控制;自动驾驶拖拉机需按照规划路径完成左、右转弯以及调头等转向操作,转向控制系统就必须根据上位机的转向信号控制转向轮向左、右转动一定的角度,实现拖拉机的左、右转向控制;二是准确的转向速度控制:为了满足不同的转向需要,如行驶速度相同时,小半径转向需要转向速度快,反之则需要转向速度慢;而相同半径转向,行驶速度不同,所需要的转向速度也不同。只有实现了转向方向、转向角度和转向速度的联合控制,才能正确、准确的实现转向操作的控制^[12]。

2.2 转向控制系统的工作原理

转向控制系统是一个闭环控制系统^[13],系统控制框图如图2所示。其工作原理是:微控制器通过CAN总线从上位机获得拖拉机的目标转角信号,通过A/D模数转化模块获取转向轮实际转角信号,即反馈信号,并将目标转角和实际转角相比较得出转向轮的偏差信号^[14,15];双通道PD控制算法根据偏差信号值计算得到控制步进电机转速的步进脉冲周期,由脉宽调制器(PWM)以计算得到的脉冲周期向步进电机驱动器发送PWM脉冲,控制步进电机的转速,驱动全液压转向器实现转向轮的转向速度控制;双通道PD控制算法通过判断偏差信号的正负得出步进电机转动的方向,由GPIO口输出高、低电平实现步进电机转向的控制;控制器通过控制转向轮转向和转速以减小偏差值^[16]。不断重复进行上述过程,从而使拖拉机转向轮快速的跟踪目标转角,实现准确转向控制。

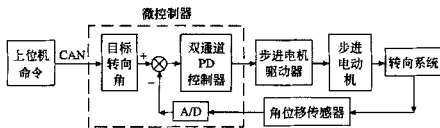


图2 EHPS 控制系统框图

Fig. 2 Schematic diagram of EHPS control system

2.3 双通道PD控制算法

系统采用双通道PD控制算法对左、右转向过程的速度不对称进行控制。由于转向油缸是单出杆油缸,两腔的有效作用面积不同,因此在供油量相同的情况下,左转向和右转向的速度不同。右转向时有杆腔进油,无杆腔回油,转向速度快;相反,左转向时,无杆腔进油,有杆腔回油,转向速度慢。由此现象带来的问题是,按照转向速度慢的过程设计PD参数,就会造成快转向过程的振荡,按照转向快的过程设计PD参数,就会造成慢转向过程的转向速度变得更慢,使系统的响应性能大大降低。鉴于此,在控制系统中设计了双通道PD控制器,它能够在输入偏差信号相同的情况下,通过判断是左转向

还是右转向,计算得出不同的步进脉冲周期,控制步进电机转速使左、右转向均工作在最佳状态。

双通道PD控制算法的数学表达式为

左转向步进脉冲频率

$$f(k) = K_P e(k) + K_D [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

右转向则步进脉冲的频率

$$f(k) = K \times f(k) \quad (2)$$

式中 $f(k)$ ——步进脉冲的频率,Hz; K_P ——比例系数,Hz/(°); K_D ——微分系数,Hz/(°); $e(k)$ ——第 k 次采样时目标转角和实际转角的差值^[17], (°); K ——频率变化系数,它的值在理论上为有杆腔活塞有效面积与无杆腔活塞有效面积的比值。

由公式(1)和(2)计算得到的只是步进脉冲频率,必须把它转化为周期信号才能实现步进电机转速的控制。由全液压转向器和步进电机的技术参数可以求得^[18],转向轮达到最快转向速度时步进脉冲频率 f 为2000 Hz,所以当双通道PD求出的 $f(k) > 2000$ Hz时,取 $f(k) = 2000$ Hz,即转向速度最快。通过周期公式 $T = 1/f$ 得到控制步进电机速度的步进脉冲周期,PWM模块以此周期输出PWM脉冲,控制步进电动机的转速,实现转速的控制。

2.4 双通道PD控制程序流程图

双通道PD控制程序的流程图如图3所示。

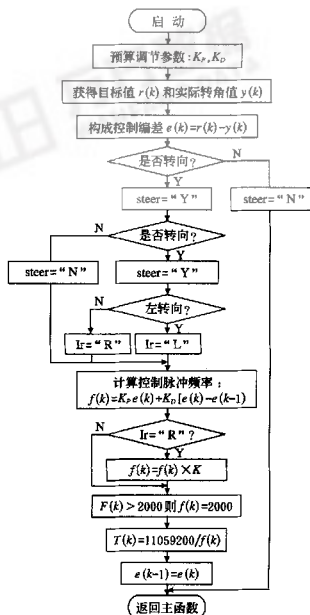


图3 双通道PD控制程序流程图

Fig. 3 Flow chart of the dual channel PD control program

3 EHPS 控制系统的台架试验

所研制的 EHPS 控制系统是基于铁牛 654L 拖拉机转向系统来实现的。试验时,把拖拉机的前轮支起,在理想的转向工况下进行试验。图 4 是 PD 控制算法控制自动转向系统跟踪正弦信号转向的一条曲线,控制过程中调节参数 $K_P = 50$, $K_D = 5$,由曲线可以看出左转向过程(上升曲线)平稳,右转向出现了严重的震荡现象。图 5 是双通道 PD 控制算法控制自动转向系统跟踪正弦信号转向的一条曲线,调节参数 $K_P = 80$, $K_D = 5$,频率变化系数 $K = 0.74$ 。该方法不仅消除了右转向过程的振荡,而且提高了系统的响应速度,把跟踪过程中的偏差由原来的 5.6° 降到了 3.2° 。试验证明,双通道 PD 控制算法能够弥补 PD 控制算法的不足,在小偏差信号跟踪过程中,偏差值相同时控制转向轮在左、右转向过程中以相同的速度跟踪目标转角,使左、右转向均工作在最佳状态。图 6 是双通道 PD 控制算法控制转向跟踪方波信号的曲线。试验中,转向轮的转向区间为 $39.0^\circ \sim 87.7^\circ$,右转向平均用时为 2.14 s ,左转向平均用时为 2.36 s ,转向最大稳态误差为 0.3° 。左右转向时间差是因为当偏差信号大到一定程度后(本系统为 3°),双通道 PD 控制算法不再起作用,右转向过程转向速度比左转向的转向速度快,所以造成了右转向需要的时间比左转向所需时间短。

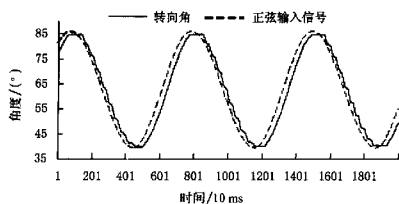


图 4 PD 控制算法正弦跟踪曲线
Fig. 4 Sine tracking curve controlled by PD control algorithm

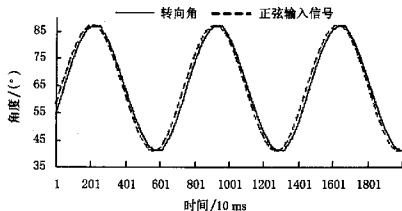


图 5 双通道 PD 控制算法正弦跟踪曲线
Fig. 5 Sine tracking curve controlled by dual channel PD control algorithm

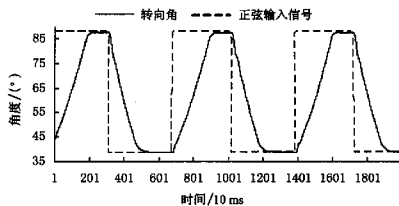


图 6 转向控制系统方波跟踪曲线
Fig. 6 Square wave tracking curve of steering control system

4 结论

本文对自行设计的电控液压力转向系统控制系统进行了研究,并提出了双通道 PD 控制算法,它既保证了转向系统较高的控制精度,同时也保证了转向系统较快的响应速度。该系统可作为拖拉机自动驾驶或辅助驾驶的自动转向控制系统,与拖拉机自动驾驶控制系统相连,实现拖拉机的自动转向功能,也可用于其它安装有全液压转向系统的车辆,作为辅助驾驶或自动驾驶车辆的自动转向控制系统。

[参考文献]

- [1] 张智刚,罗锡文,李俊岭. 轮式农业机械自动转向控制系统研究[J]. 农业工程学报, 2005, 11(11): 77-80.
- [2] 徐友春,王荣本,李冰,等. 世界智能车辆近况综述[J]. 汽车工程, 2001(5): 289-295.
- [3] 韩俊淑,韩佳文,高翔,等. 智能车辆的研究与发展[J]. 世界汽车, 2003(9): 79-80.
- [4] 王荣本,李兵,施树明,等. 世界智能车辆研究概述[J]. 公路交通科技, 2001(5): 93-97.
- [5] Zhang Q, Reid J F, Wu D. Hardware-in-the-loop simulator of an off-road vehicle electrohydraulic steering system[J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(6): 1323-1330.
- [6] Zhu Zhongxiang, Jun-ichi TAKEDA, Ryo TORISU. Autonomous guidance of tractor along arbitrary paths on sloped terrain[J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2005, (6): 86-92.
- [7] 魏延富. 机电伺服触觉式秸秆导向系统试验研究[D]. 北京: 中国农业大学工学院, 2005.
- [8] 陈文良,宋正河,毛恩荣. 拖拉机自动驾驶转向控制系统的设计[J]. 华中农业大学学报, 2005, 10: 57-62.
- [9] 张卫冬,于达大,姜蔚光,等. 一种智能电动助力转向系统[J]. 北京科技大学学报, 2003, 2(1): 65-68.
- [10] 高红玉,徐建城,曾成奇. 基于 ARM 的 CAN 总线智能节点的设计[J]. 电子技术应用, 2005, (4): 24-26.
- [11] 吕安涛,宋正河,陈文良,毛恩荣. 拖拉机自动驾驶系统的研究[J]. 拖拉机与农用运输车, 2005, 6(3): 1-5.
- [12] 程悦芬. 拖拉机设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990, 6: 166-191.

- [13] 黄李琴,季学武,陈奎元. 汽车电动助力转向控制系统的初步研究[J]. 汽车技术, 2003, (6), 3—6.
- [14] 张尚才. 控制工程基础[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001: 200—290.
- [15] 唐 涛, 黄良骥. 列车自动驾驶系统控制算法综述[J]. 铁道学报, 2003, 4(2): 98—102.
- [16] 董桂菊. 步进电机控制系统的研究[J]. 农机化研究, 2002, 8(3), 57—59.
- [17] 庄继德. 汽车电子控制系统工程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998: 186—198.
- [18] 周立功, 等. ARM 与嵌入式系统基础教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 120—134.

Electro-hydraulic power steering system for tractors

Chen Wenliang, Xie Bin, Song Zhenghe, Mao Enrong*

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: An electronic hydraulic power steering system for automatically operating tractor is introduced in this paper. The control system includes steering controller and driving mechanism. A dual-channel Proportional Derivative (PD) control algorithm was developed for orientation tracking. The difference value between the expected angle acquired from the upper computer (that is, the computer for automatic drive control) and the actual angle of the steering wheel was used as the input parameter of the controller. By the estimation of the turning direction and the regulation of PD control parameters, the impact on the steering system from the asymmetry of the cylinder can be compensated by the controller. Therefore both steering operations can obtain the same steering quality. Experimental results show that the control algorithm can avoid the asymmetrical problems and improve the stability, control precision and quick response of the system. It can be used as the steering operator for automatic operation or assistant vehicles.

Key words: tractor; steering control system; PD control