

遥控插秧机自动转向系统设计与试验^{*}

任文涛¹ 迟德霞^{1,2} 刘金波¹ 魏东宇¹ 于潇泽¹ 车庄¹

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866; 2. 辽宁石油化工大学, 抚顺 113001)

【摘要】 以久保田 NSD8 型插秧机为研究平台,在保证现有转向机构可用性的前提下,设计了一种遥控自动转向系统。该系统主要由转向执行机构、单片机控制单元、遥控发送接收装置、角度传感器、步进电动机等部分组成,可实现插秧机转向的遥控自动控制。利用该系统进行了遥控插秧机自动转向性能测试试验,通过检测系统获得的试验数据以系统识别的方法获得执行系统的传递函数,并分析了系统性能,分析表明该自动转向系统可实现插秧机整机遥控操作。同时分别进行了 180°和 90°平地转向试验,试验表明自动转向系统可以实现预定田间工作轨迹转向操作过程。

关键词: 插秧机 遥控 自动转向 设计

中图分类号: S223.91⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)01-0175-05

Design and Test on Remote Rice Transplanter Automatic Steering System

Ren Wentao¹ Chi Dexia^{1,2} Liu Jinbo¹ Wei Dongyu¹ Yu Xiaozhe¹ Che Zhuang¹

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

2. Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China)

Abstract

In order to improve the transplanter automatic operation level and realize remote automatic control of steering operation, with the Kubota NSD8 rice transplanter as the study platform, and under the condition of guarantee the usability of existing steering mechanism, a kind of remote automatic steering system was designed. The system mainly comprised steering actuator and microcomputer control unit, remote transmitter installation and receiver installation, angle sensor, and stepping motor. The system can realize remote automatic control of rice transplanter steering. Experiment on automatic steering performance of remote transplanter was accomplished by the system, transfer function of the steering actuator system was gained via experimental data and exploiting the way of system identification, and the system performance was analysed. The analysis showed that automatic steering system can provide reliable guarantee for realizing remote rice transplanter. It was tested about 180° and 90° of flat ground steering, test showed that automatic steering system can realize steering operation process of field work track predetermined.

Key words Transplanter, Remote, Automatic steering, Design

引言

自动转向技术是车辆自动驾驶和无人驾驶的关键技术之一,国内外学者对车辆自动转向执行部分和控制方式进行了许多研究^[1~7]。插秧机的自动转向是指通过接收控制信号指令不断调整前轮偏角保证插秧机能按预定轨迹行驶的过程。日本国家农业

研究中心对插秧机原有转向系统进行了改造,开发出了由同步带、电磁离合器、减速电动机组成的转向执行系统,并采用 GPS 和陀螺仪对插秧机行驶进行导航^[8]。Garcda L 在原有液压转向系统的基础上改造设计了液压自动转向系统,以 DGPS 为基础通过遗传算法和模糊控制程序对车辆进行导航^[1]。张智刚等以日本久保田 SPU-60 型插秧机为研究对

收稿日期: 2011-03-04 修回日期: 2011-05-18

^{*} 国家自然科学基金资助项目(51075283)和辽宁省农业机械化重点实验室资助项目(2009403021)

作者简介: 任文涛,教授,博士生导师,主要从事农业机械系统理论与设计研究, E-mail: renwentao1958@yahoo.cn

象进行轮式农业机械自动转向控制研究,在不改变原有转向装置的情况下,在插秧机上增加了转向操纵纵控制器、转向驱动机构,实现了自动转向控制并提出了基于速度的自适应 PD 控制方法,利用航向偏差作为控制器输入,控制器可根据插秧机行进速度在线调整其 PD 参数,进而输出前轮期望偏角^[2]。吴晓鹏等以东方红-X804 型拖拉机为平台,改造原拖拉机的油路,使用电控比例液压阀,并设计电控单元,组成了自动转向控制系统并设计了带死区 PD 自动转向控制算法^[3]。

上述研究自动转向信号主要通过接收自动导航控制系统信号来实现,但由于自动导航设备成本高、结构复杂等问题限制了自动导航技术的推广。目前,遥控技术在国民经济的各个领域中都得到了广泛的应用,主要用来替代高危行业的人工作业。随着遥控技术的日趋成熟以及遥控设备成本逐步降低,使遥控技术在农业机械上的应用成为可能。本文采用遥控技术,在不改变原有插秧机转向操作结构的基础上,设计带有离合轴的转向执行机构,并设计由单片机和无线收发模块、角度传感器组成的控制系统,以实现插秧机田间工作轨迹的转向过程遥控。

1 执行系统设计

1.1 执行机构设计

目前自动转向系统多采用电动机控制和电液控制两种方法来实现转向操作,久保田 NSD8 型插秧机的转向方式为全液压助力转向,为了最大程度的减少对原有插秧机转向系统的改造,保持现有转向机构可用性,设计了由离合轴、链传动机构、U 型螺栓、转向辅助装置、步进电动机等组成的转向执行系统,系统结构如图 1 所示。

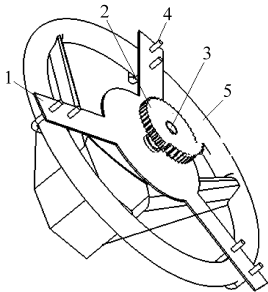


图 1 转向执行机构简图

Fig.1 Diagram of steering actuator

1. 转向辅助装置 2. 从动链轮 3. 离合轴 4. U 型螺栓
5. 方向盘

当离合轴和转向辅助装置不连接时,可实现人工操作方向盘。当需要遥控转向时,把连接销插进离合轴使其与转向辅助装置配合,动力由步进电动机提供,通过链传动传递给从动链轮 2,从动轮带动离合轴 3 转动,这时离合轴与转向辅助装置通过连接销处于连接状态,动力传递给转向辅助装置 1,进而传递给通过 U 型螺栓 4 与转向辅助装置相连的方向盘,完成自动转向动作。

1.2 步进电动机的选择及传动机构设计

插秧机工作环境变化较大且转向过程在全液压助力下完成,通过计算负载转矩各个参量的方法求负载转矩比较困难。本文采用重复试验的方法对方向盘工作过程中的转矩进行检测,据此选择步进电动机。采用 ZP-500N 型电子拉压力计,最大量程为 500 N,精度为 0.1 N。检测结果为 6.36 N·m,由于转向执行机构的链传动的传动比 $i=3$,转矩折算公式为

$$T_L = \frac{T'_L \omega_L}{\eta_c \omega_M} = \frac{T'_L}{\eta_c j} \tag{1}$$

其中 $j = \frac{\omega_M}{\omega_L}$

式中 j ——传动机构速比
 T'_L ——负载转矩
 T_L ——折算到步进电动机转轴上的转矩
 η_c ——传动效率,根据机械设计手册,链传动的效率为 97%~98%

η_c 取 97%,折算后的转矩为 2.19 N·m。考虑到摩擦消耗的功率和启动转矩应大于工作转矩的 2~3 倍等因素,初选步进电动机型号为 85BYGH202。

1.3 角度传感器的选择与安装

NSD8 型插秧机前轮最大转向偏角,从左极限到右极限整个行程不超过 90°。根据所用插秧机的特点,采用上海德测电子科技有限公司生产的 WDS36-A1 型旋转式角度传感器。其基本参数为:输出电压为 0~5 V,工作电压为 12~24 V(DC),线性度为 ±0.2%。

如图 2 所示,平行四杆机构把前轮转角等量转换到角位移传感器的转轴上,再通过 A/D 转换电路送给单片机,完成前轮偏角的测量。传感器固定架与前轮固定轴相连,保持不动。

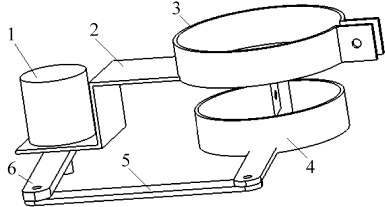


图 2 传感器安装架结构图

Fig.2 Structure of sensor mount

1. 传感器 2. 传感器固定架 3. 固定架 4. 连杆 5. 随轮转动架 6. 传感器连接杆

2 控制系统设计

2.1 硬件部分

选用 AT89S52 单片机为整体遥控、控制系统信号采集、接收器信号接收、自动转向控制的控制器, 主要完成接收角度传感器实时监测到的前轮当前角度, 同时通过接收器接收发送器发送的转向指令, 计算出偏差角度后发出控制信号, 控制转向执行机构完成转向动作。选用 AD0831 用于角度传感器的 A/D 转换, 完成线性电压信号转换为数字信号。无线收发模块采用 PT2262/2272, 该收发模块是台湾

普城公司生产的一种 CMOS 工艺制造的低功耗低价位通用编解码电路。

2.2 控制系统

如图 3 所示, 系统的控制信号由遥控器提供, 输出为前轮偏角。输入控制信号由无线发射芯片模块发出, 接收芯片接收信号后传给单片机, 单片机比较角度传感器实时检测的前轮偏角与目标转角的差值, 并将其放大后输入给步进电动机。步进电动机据此产生相应的转角, 通过转向执行机构使前轮产生一个消除角度偏差的修正动作。这是一个单输入、单输出闭环控制系统。

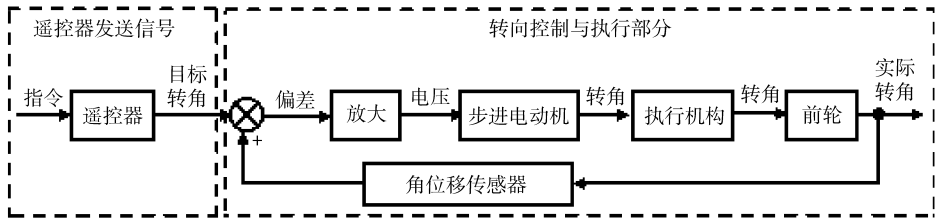


图 3 转向控制系统框图
Fig. 3 Diagram of steering control system

3 自动转向系统性能试验

3.1 试验方法

试验在沈阳农业大学农机实验室前水泥空地上进行。试验平台为久保田 NSD8 型插秧机, 还包括遥控自动转向执行系统、遥控转向控制系统、LabVIEW 双通道信号采集软件、JKU-12USB 口数据采集卡、逆变器、计算机、米尺、秒表、线绳、自制划线器、传感器检测系统等设备。

遥控插秧机自动转向系统是在遥控手段下完成插秧机田间预定轨迹的行驶。插秧机作业线路的选择可以提高插秧机的作业效率和作业质量。根据田块形状、地头宽度、转弯半径等因素通常有两种转向方法: 单幅插地头法和双幅插地头法。不管采用哪种方法, 在完成轨迹路线过程中主要由 180°转向和 90°转向组成, 其余路线为直线行驶状态, 本研究针对上述 3 种情况进行试验。农业车辆一般作业时速度较低, 对确定的一种农田作业在大多数时间内均保持同一工作挡位等速作业, 在试验过程中考虑到驾驶员的操作行为, 在转向时通常由高速挡位换到低速挡位进行转向, 所以在插秧机转向性能各项试验中选择使用挡位 1, 行驶速度为 0.5 m/s, 该速度在插秧机的作业速度范围 (0.5 ~ 1.2 m/s) 内。

3.2 传递函数的确定

可以通过传递函数研究控制系统的动态特性。本文采用理论和试验相结合的方法进行系统识别。首先根据系统的工作机理, 估计传递函数的结构和

阶数, 然后以给定典型信号的方法通过检测系统获得输出数据对模型中的参数进行估计从而获得开环传递函数。系统的输入为步进电动机的转角, 输出为前轮转角, 测试过程中给系统输入固定的斜坡信号又称等速度函数, 输出前轮转角即为斜坡函数^[9]。

3.2.1 系统标定

为了确定通过安装机械执行装置的自动转向系统是否为线性系统, 为后续控制系统性能的分析做准备, 对系统的输入和输出进行系统标定, 其中整个系统的输入为步进电动机转角 Φ_B , 输出为前轮转角 Φ_Q , 标定方程为 $\Phi_Q = 0.035\Phi_B - 1.913$, R^2 为 0.998。结果说明系统的线性程度很好, 标定结果如图 4 所示。

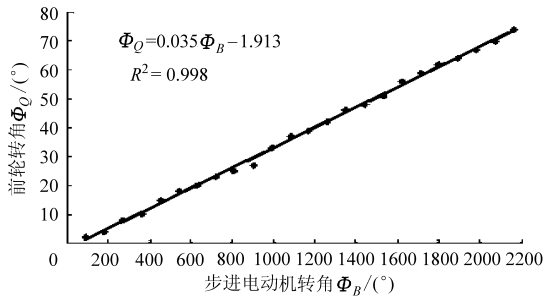


图 4 系统标定图
Fig. 4 System calibration figure

3.2.2 传递函数的计算

有关传统车辆转向系统研究较多, 对转向系统动态特性的研究也较为深入, 通过分析插秧机转向系统为一阶惯性系统, 传递函数形式为

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} \quad (2)$$

利用处理后的数据通过 SPSS 参数估计的方法对传递函数中的 K 和 T 进行参数估计,得出参数估计值为 $K=0.036$, $T=0.286$,传递函数为

$$G(s) = \frac{0.036}{0.286s + 1} \quad (3)$$

通过方差分析后, $R=0.98$,拟合度非常好。对式(3)进行拉氏逆变换得到^[10]

$$\vartheta(t) = 12.96t - 3.7(1 - e^{-\frac{t}{0.286}}) \quad (4)$$

由于本转向系统为一阶惯性系统,不存在超调量,其主要的暂态性能指标为 t_s ,利用 Matlab 可求得本系统单位阶跃信号下的 $t_s = 1.1$ s,稳态误差 $e_{ss} = 0.97$ 。

3.3 自动转向性能试验

轨迹划线采用插秧机中心安装滴水器滴水的办法来实现,水线宽度会影响到转向轨迹的测量,所以在测试之前对水线宽度进行了统计,统计结果为水线宽度小于 10 mm,测量误差较小。

根据插秧机田间工作轨迹试验了 180° 和 90° 转向。遥控是人的间接操作,与导航过程技术中的循迹过程不同,所以评价遥控系统的优劣主要考察设计的自动转向系统在人的间接操作下能否完成要求的转向过程。图 5 表明设计的自动转向系统可以实现 180° 转向,插秧机与理论起始点垂直距离 2.4 m。图 6 表明转向系统可以在要求距离范围内完成 90° 转向。

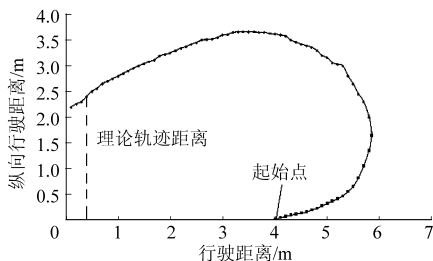


图 5 180° 转向插秧机中心轨迹

Fig. 5 Transplanter center track of marching 180°

3.4 直线行驶试验

从直线行驶轨迹图 7 中可以看出,基于直线行

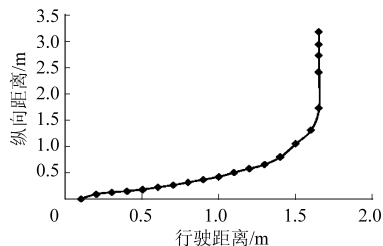


图 6 90° 转向插秧机中心轨迹

Fig. 6 Transplanter center track of marching 90°

驶控制系统控制下的直线行驶轨迹偏差较小,最大偏差为 0.027 m,平均值为 0.004 6 m,标准差为 0.01 m。说明在控制系统控制下行驶的直线度较高。但试验过程的试验条件是平地而不是真实的水田环境,考虑到真实水田环境的阻力等因素,精度会降低,同时误差会加大。此外目前这种方式也还存在直线跟踪时无法自动纠正航向角的缺点。但由于研究的整体系统成本远远低于其他导航方式,具有较大的成本优势。

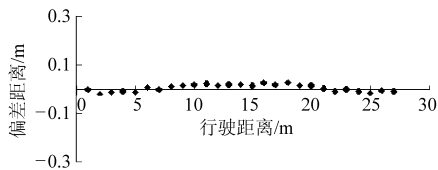


图 7 直线行驶轨迹

Fig. 7 Track line of line running

4 结论

(1) 设计了步进电动机、链传动机构、转向辅助器、离合轴、U 型螺栓组成的电控自动转向系统,在保证现有转向机构可用的基础上设计了自动转向控制的机械执行部分。试验证明,执行系统可以快速按照控制系统的要求执行转向动作。

(2) 设计了单片机、无线收发模块、A/D 转换芯片、角度传感器、转向执行机构组成的自动转向系统,通过人工转向、自动转向对比试验获得合理的步进电动机转速,并利用系统识别的原理通过试验数据得到了开环传递函数,分析了该系统的性能。 180° 、 90° 转向和直线行驶试验表明,遥控自动转向系统可以实现预定田间操作。

参考文献

- Garcda L. Agent of behaviour architecture for unmanned control of a farming vehicle [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 60(1): 39 ~ 48.
- 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, 21(11): 77 ~ 80.
Zhang Zhigang, Luo Xiwen, Li Junling. Automatic steering control system of wheeled model farming machinery [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(11): 77 ~ 80. (in Chinese)
- 吴晓鹏, 赵祚喜. 东方红拖拉机自动转向控制系统设计 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(增刊): 1 ~ 5.
Wu Xiaopeng, Zhao Zuoxi. Development of automatic steering control system on Dongfanghong tractor [J]. Transactions of

- the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(Supp.):1 ~ 5. (in Chinese)
- 4 田海清,应义斌,张方明. 农业车辆导航系统中自动控制技术的研究进展[J]. 农业机械学报,2005,36(7):148 ~ 151.
Tian Haiqing, Ying Yibin, Zhang Fangming. Development of automatic control technique for agricultural vehicle guidance [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(7):148 ~ 151. (in Chinese)
- 5 罗锡文,张智刚,赵祚喜,等. 东方红 X-804 拖拉机的 DGPS 自动导航控制系统[J]. 农业工程学报,2009,25(11):139 ~ 145.
Luo Xiwen, Zhang Zhigang, Zhao Zuoxi, et al. Design of DGPS navigation control system for Dongfanghong X-804 tractor [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11):139 ~ 145. (in Chinese)
- 6 胡炼,罗锡文,赵祚喜,等. 插秧机电控操作机构和控制算法设计[J]. 农业工程学报,2009,25(4):118 ~ 122.
Hu Lian, Luo Xiwen, Zhao Zuoxi, et al. Design of electronic control device and control algorithm for rice transplanter [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4):118 ~ 122. (in Chinese)
- 7 刘兆祥,刘刚. 基于自适应模糊控制的拖拉机自动导航系统[J]. 农业机械学报,2010,41(11):150 ~ 151.
Liu Zhaoxiang, Liu Gang. Autonomous navigation system for agriculture tractor based on self-adapted fuzzy control [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 150 ~ 151. (in Chinese)
- 8 Yoshisada Nagasaka. Autonomous guidance for rice transplanting using GPS and gyroscope [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 43(3):223 ~ 234.
- 9 何衍庆. 控制系统分析设计和应用[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- 10 张文彤. SPSS 统计分析基础教程[M]. 北京:高等教育出版社,2004.