

拖拉机自动导航与机具偏转导航的仿真对比研究

李 娇¹, 李洪文¹, 何 卿², 苏艳波¹, 张 健³, 王晓燕¹

(1. 中国农业大学 工学院, 北京 100083; 2. 国家知识产权局 专利审查协作中心, 北京 100190; 3. 农业部 农机鉴定总站, 北京 100079)

摘 要: 针对现有免耕播种机在玉米秸秆立茬覆盖地免耕播种困难的问题, 设计了拖拉机自动导航系统和机具偏转导航系统以实现免耕播种机具的避茬播种。在综合分析成本和导航精度的基础上, 设计了机械式触杆作为两种导航系统的探测装置, 并通过 MATLAB/Simulink 仿真, 对比研究了两种导航系统的实时响应特性、控制精度和稳定性等。仿真结果表明: 相对拖拉机自动导航系统, 机具偏转导航系统可以提高 3s 左右的实时响应时间, 并可提高控制精度, 但其超调量范围大、稳定性较差。因此, 在导航精度要求较高时, 可采用机具偏转导航系统, 提高免耕播种机具的田间通过性。

关键词: 拖拉机自动导航; 机具偏转导航; 机械触杆; 仿真; 导航精度

中图分类号: S219.032.3

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2009)07-0022-04

0 引言

在保护性耕作玉米秸秆(根茬)地进行错茬播种时, 粉碎玉米秸秆的动力消耗很大, 并且在粉碎秸秆的过程中, 秸秆杂草等极易缠绕开沟器而使其堵塞, 导致停机或播种质量下降。因此, 播种时避开玉米根茬在玉米行间免耕播种小麦能够有效地解决动力消耗大、开沟器堵塞的问题。田间作业的自动导航是实现避茬作业的有效途径。

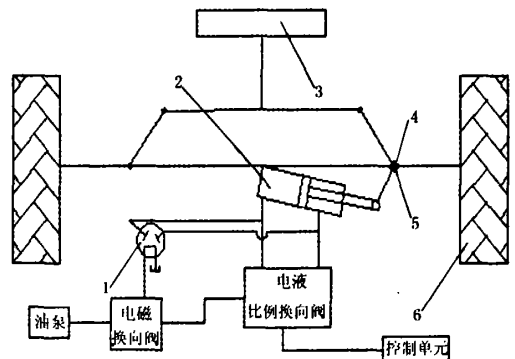
目前国内外研究的导航方式主要有: 视觉导航、全球定位系统(GPS)导航^[1]。杨为民等对视觉导航系统进行了研究。视觉导航通常是按特定的环境或物体来设计的, 对环境的感知和理解要求高, 结构复杂, 投资大, 成本高^[2]。张智刚等研究了 GPS 导航。GPS 具有精度高、无限用户和全天候工作等优点, 但抗干扰能力较差, 在遇到障碍物时, 信号存在突发丢失的现象, 且成本高, 对操作人员的技术要求较高^[2]。视觉导航和 GPS 导航技术在国外已经在不同程度应用于喷药、施肥及收获等方面, 并且国外的很多公司都已经生产出商品化的农业导航产品; 但其投资大、成本高、操作技术难度大, 不适合我国田间作业机构, 需有拖拉机转向, 带动后面的作业机具转向的要求。为

此, 设计了以机械触杆作为探测装置的拖拉机自动导航(控制拖拉机的转向机向, 实现导航)与机具偏转导航系统(直接控制机具转向, 对拖拉机的方向不作调整), 并对这两个系统进行了仿真对比研究, 为后续的研究提供一定的理论支持。

1 拖拉机自动导航

1.1 导航原理

多数导航研究都是通过控制农用车辆的转向系统来实现自动导航。为使车辆自动精确地沿着期望的路径行驶, 导航系统必须探测出车辆的位姿, 使控制器产生合适的转向角度以及偏移距离, 并且以此控制车辆的转向和行驶方向。系统的控制示意图, 如图 1 所示。



1. 全液压转向器 2. 转向油缸 3. 探测装置
4. 角位移传感器 5. 转向立轴 6. 转向前轮

图1 拖拉机自动导航控制示意图

将探测装置安装在拖拉机的正前方。实际导航

收稿日期: 2008-10-31

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD28B04)

作者简介: 李 娇(1985-), 女, 山东淄博人, 硕士研究生, (E-mail) lij_0216@163.com。

通讯作者: 李洪文(1968-), 男, 江苏泗阳人, 教授, 博士生导师, 山东理工大学“泰山学者”, 特聘教授, (E-mail) lhwen@cau.edu.cn。

时拖拉机的偏离往往是横向偏离和角度偏转的结合,这两种偏离状态都会使探测装置碰撞玉米根茬产生偏转信号。拖拉机向左侧偏离时,传感器产生逆时针转角信号;而拖拉机向右侧偏离时,传感器产生顺时针转角信号,且转角量随着偏离距离和方向的增大而增大。控制器将传感器信号输出到电液比例换向阀,通过调节比例阀的压力和流量对拖拉机偏离导航基准的程度进行导航控制,调节前轮的转向使拖拉机从偏离状态回到导航基准线上。

1.2 导航系统的构成

农业车辆导航系统至少包括3部分:探测装置(探测车辆或机具偏离的位置)、控制单元(产生明确的校正信号)、执行机构(改变车辆或机具的位置)^[3]。

1.2.1 探测装置的选用

从探测装置的成本、精度方面考虑,设计机械触杆和角位移传感器作为探测装置。研究中发现触杆与秸秆的接触形式分为线接触和点接触两种形式。线接触触杆在受力转动过程中易产生卡死现象,点接触的触杆不会产生卡死现象。因此,选用三角形、半椭圆形两种点接触式触杆。机械式探测装置外形,如图2所示。

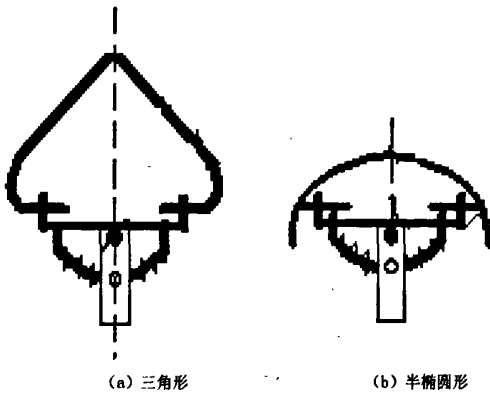


图2 机械式探测装置外形图

利用临界接触点概念来分析两种触杆结构在导航探测时的动作和探测效果。临界接触点是指触杆上秸秆压力方向指向转轴的位置点。三角形触杆的临界接触点在触杆中部,半椭圆形触杆的临界接触点在触杆前端。临界接触点位于触杆前端,才能使受力方向保持一致,因此采用半椭圆形触杆能够较好地实现路径探测,得到导航信号。根据玉米根茬的高度确定探测器的安装高度,一般触杆的安装的离地高度为玉米根茬高度的1/2。

1.2.2 控制单元的选用

导航系统控制单元是通过对路径探测信号处理驱动导向轮,使拖拉机精确并且快速地达到期望位

置和方向。控制单元分为硬件设计和软件设计。相比单片机,DSP(数字处理器)具有较高的集成度和高速数据运算能力,可以快速处理复杂的控制规律,为系统可靠性、快速性和实时性提供保证。DSP具有较高的可靠性,抗干扰能力^[4],因此选用DSP作为硬件,选择型号为TMS320F2812。软件设计由C语言编程,CCS2.0调试完成。

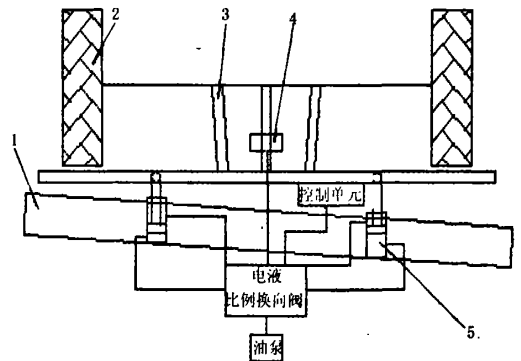
1.2.3 执行机构

拖拉机自动导航由全液压转向机构驱动转向前轮转向。由控制单元调节电液比例换向阀的流量与压力,从而调节转向油缸,控制拖拉机的转向前轮。

2 机具偏转导航

2.1 导航原理

对农机具实行导航作业,可以在一定范围内忽略拖拉机的横向偏移。机具直接导航主要有两种控制形式:一种是使机具绕轴转动的导向系统,另一种是使机具横向移动实现自动导向^[5]。本研究中采用第一种形式。由于机具悬挂在拖拉机上只能由拖拉机带动转向,自身无法实现转向,为此设计了机具导向架,挂接在拖拉机和机具之间,带动机具转向。机具偏转导航控制示意图,如图3所示。



1. 机具导向架 2. 拖拉机后轮
3. 拖拉机悬挂点 4. 探测装置 5. 液压油缸

图3 机具偏转导航控制示意图

针对三点式悬挂拖拉机设计了机具导向架,以实现直接控制机具转向。机具导向架的一根横梁挂架在拖拉机的3个悬挂点;另一根横梁挂架机具,与机具属于刚性连接,两根横梁通过液压缸连接。

将探测装置安装在机具的正前方前,作业时,机具若发生偏转会使得探测装置产生的偏转信号并传到控制单元。配备的液压机构将控制信号转化成油液的压力推动活塞杆移动,实现机具的自动转向。机具向左偏转时,传感器产生顺时针转角信号,控制单元

控制左活塞杆伸长右活塞杆缩短实现转向调节;而机具向右侧偏转时,传感器产生逆时针转角信号,控制单元反向调节活塞杆。通过调节活塞杆的长度不断修正机具的前进方向,实现导航作业。

2.2 导航系统的构成

机具偏转导航由探测装置,控制单元和执行机构组成。由于研究的两种导航方式工作的田间环境是相同的,因此采用同样的探测装置来完成偏转信号的探测。即机具偏转导航也用半椭圆形机械触杆作为探测装置。控制单元同样选择型号为 TMS320F2812 的 DSP。机具转向导航由液压系统驱动机具导向架转向,修正机具牵引方向,从而带动机具转向。

3 仿真结果与分析

利用 MATLAB/Smiulink 建立两种导航方式的仿真模型,如图 4 所示。为了更好地对两种导航方式进行对比研究,在仿真模型中对两种导航方式选择同样的控制器(PID 控制器),输入同样的控制信号和速度。设定导航方向为周期 15s,幅值为 10°的正弦波信号,PID 控制器的参数通过调试得到。图 5 为速度 $v = 0.75\text{m/s}$ 得到的仿真结果。

整控制器来提高控制性能。拖拉机自动导航系统具有较好的稳定性,而机具偏转导航具有较高的精度和快速响应性,但稳定性差。从仿真图 5 中可以看出两种控制思路都是可行的,为后续的导航控制研究提供了理论基础。

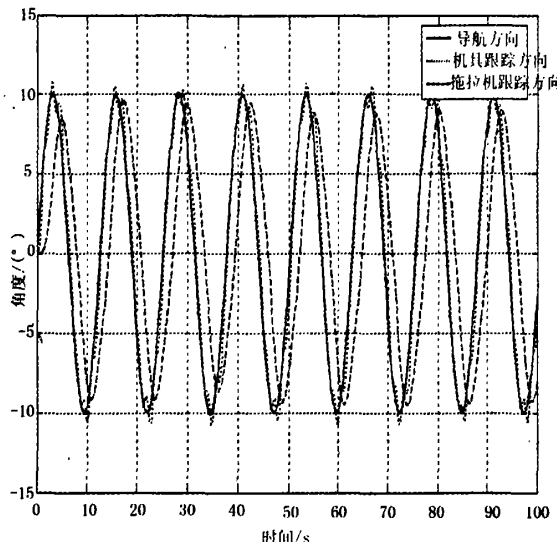


图5 拖拉机自动导航和机具偏转导航的仿真结果

对比相位差可以得出对不同的速度两种导航方式的输出信号不同,分别取 10 种不同的速度,对输入信号进行导航仿真,得出的超调量和相位差的曲线图,如图 6 所示。对比超调量可以得出,拖拉机自动导航的稳定性较机具偏转导航的稳定性好;对比相位差可以得出,拖拉机自动导航的精确度较机具偏转导航的精确度差。

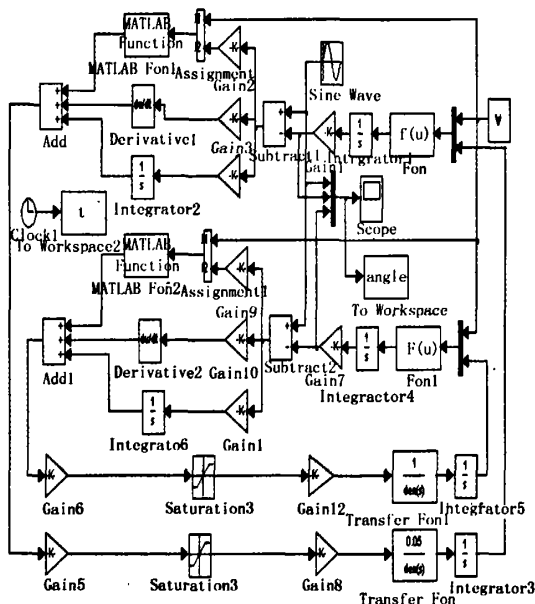


图4 拖拉机自动导航和机具偏转导航的仿真结果

图 5 的仿真结果表明,机具偏转导航的动态响应性在 2s 以内,超调量大约在 10% 以内,对正弦波导向信号具有良好的跟踪能力,几乎没有相位差。拖拉机的动态响应在 5s 左右。拖拉机自动导航的动态响应性在 8s 以内,超调量大约在 5% 以内,对正弦波导向信号的跟踪能力较差,有一定的相位差,可进一步调

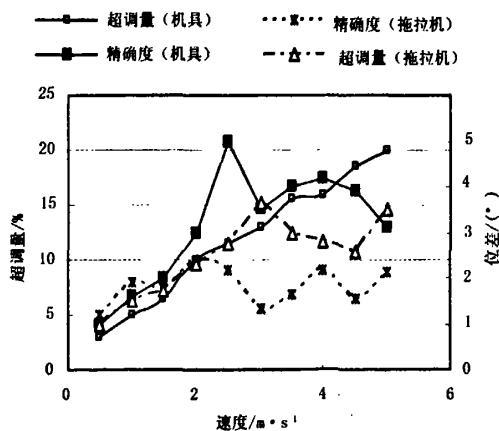


图6 两种导航系统在不同速度下超调量与相位

4 结论

1) 导航适用范围:拖拉机的自动导航,可以实现横向偏移和偏转角度两方面的调节;机具偏转导航只

能实现拖拉机基本沿作业行行走的前提下对机具进行转角的微调,在农田作业全部机械化的地区实用性强。

2) 智能化程度:拖拉机自动导航在作业过程中可以实现无人驾驶;机具偏转导航作为辅助导航方式,不能无人驾驶,必须有驾驶员保证拖拉机无大的偏移的状况下进行。

3) 动态响应性、控制精度、稳定性:拖拉机自动导航较机具偏转导航的动态响应性延后3s左右,控制精度差,超调量大概少5个百分点,稳定性较好。在要求导航精度高时,用机具偏转导航;导航精度低时选用拖拉机自动导航,能实现较好的稳定性。

参考文献:

- [1] 廖庆喜,舒彩霞,田波平. 田间作业机械对行导向行走系[J]. 农业机械学报, 2004, 35(2): 178-180.
- [2] 申川,蒋焕煜,包应时. 机器视觉技术和GPS在农业车辆自动导航中的应用[J]. 农机化研究, 2006(7): 185-188.
- [3] John F. Reid, Qin Zhang, Noboru Noguchi, et al. Agricultural automatic guidance research in North America[J]. Computers and electronics in agriculture, 2000(25): 155-167.
- [4] 刘和平,邓力,江渝,等. 数字信号处理器原理、结构及应用基础-TMS320F28X[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [5] R. Keicher, H. Seufert. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000(25): 169-194.

Comparative Research of Simulation on the Automatic Guidance System for Tractor and the Deflexion Guidance System for Machinery

Li Jiao¹, Li Hongwen¹, He Qing², Su Yanbo¹, Zhang Jian³, Wang Xiaoyan¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Patent Examination Cooperation Center of SIPO, Beijing 100190, China; 3. Farm Mechanization Promotion Station of Ministry of Agriculture, Beijing 100079, China)

Abstract: It is difficult for no-tillage seeders to seed in the no-tillage field with stubbles standing on it. To solve this generally existing problem, an automatic guidance system for tractor and a deflexion guidance system for machinery were respectively designed to help seed without touching stubbles. Considering the cost and automatic guidance precision, a mechanical sensor was set up as detection device for the two automatic guidance systems. By simulating with MATLAB, comparative researches on the two automatic guidance systems in terms of real-time response characteristics, control accuracy and stability were conducted and the results of simulation study indicated that: the real-time response characteristics of deflexion guidance system for machinery is relatively faster by about 3 seconds than that of the automatic guidance system for tractor, and has higher control precision. But it has big overshoot and bad stability. Therefore, when a high level of guidance precision is demanded, we could choose the deflexion guidance system for machinery to improve the trafficability of no-tillage seeders.

Key words: the automatic guidance system for tractor; the deflexion guidance system for machinery; mechanical sensor; simulation; guidance precision

拖拉机自动导航与机具偏转导航的仿真对比研究

作者: [李娇](#), [李洪文](#), [何卿](#), [苏艳波](#), [张健](#), [王晓燕](#), [Li Jiao](#), [Li Hongwen](#), [He Qing](#),
[Su Yanbo](#), [Zhang Jian](#), [Wang Xiaoyan](#)

作者单位: [李娇, 李洪文, 苏艳波, 王晓燕, Li Jiao, Li Hongwen, Su Yanbo, Wang Xiaoyan\(中国农业大学, 工学院, 北京, 100083\)](#), [何卿, He Qing\(国家知识产权局, 专利审查协作中心, 北京, 100190\)](#),
[张健, Zhang Jian\(农业部农机鉴定总站, 北京, 100079\)](#)

刊名: [农机化研究](#) **PKU**

英文刊名: [JOURNAL OF AGRICULTURAL MECHANIZATION RESEARCH](#)

年, 卷(期): 2009, 31(7)

被引用次数: 2次

参考文献(5条)

1. 廖庆喜;舒彩霞;田波平 [田间作业机械对行导向行走系](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2004(02)
2. 申川;蒋焕煜;包应时 [机器视觉技术和GPS在农业车辆自动导航中的应用](#)[期刊论文]-[农机化研究](#) 2006(07)
3. John F Reid;Qin Zhang;Noboru Noguchi [Agricultural automatic guidance research in North America](#)[外文期刊] 2000(25)
4. 刘和平;邓力;江渝 [数字信号处理器原理、结构及应用基础-TMS320F28X](#) 2007
5. R Keicher;H Seufert [Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe](#)[外文期刊] 2000(25)

本文读者也读过(10条)

1. [王福娟](#), [张宾](#), [Wang Fujuan](#), [Zhang Bin](#) [农业车辆视觉导航技术研究进展](#)[期刊论文]-[农机化研究](#)2008(11)
2. [李娇](#), [李洪文](#), [何卿](#), [王晓燕](#) [拖拉机自动导航与机具偏转导航的仿真对比研究](#)[会议论文]-2008
3. [伦冠德](#), [LUN Guan-de](#) [农业机械视觉导航系统技术研究](#)[期刊论文]-[农机化研究](#)2007(9)
4. [张志斌](#), [罗锡文](#), [李庆](#), [王在满](#), [赵祚喜](#), [Zhang Zhibin](#), [Luo Xiwen](#), [Li Qing](#), [Wang Zaiman](#), [Zhao Zuoxi](#) [基于良序集和垄行结构的农机视觉导航参数提取算法](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#)2007, 23(7)
5. 常建刚, [CHANG Jian-gang](#) [基于电子地图的农用车辆自动导航系统研究](#)[期刊论文]-[安徽农业科学](#)2009, 37(18)
6. [石英](#) [国外农机向智能化发展](#)[期刊论文]-[南方农机](#)2009(5)
7. [刘璿璿](#), [LIU Ying-ying](#) [基于Simulink的大米动态图像检测系统仿真](#)[期刊论文]-[安徽农业科学](#)2009, 37(16)
8. [于建国](#), [刘志杰](#), [赵洪刚](#) [饲草压捆机压缩机构动态仿真](#)[期刊论文]-[东北林业大学学报](#)2004, 32(2)
9. [陈艳](#), [张漫](#), [刘兆祥](#), [籍颖](#), [马文强](#), [刘春红](#) [基于Kalman滤波器的机器视觉自动导航定位算法研究](#)[会议论文]-2009
10. [王力维](#) [国外农机向智能化方向发展](#)[期刊论文]-[南方农机](#)2009(6)

引证文献(2条)

1. [李洪文](#), [李娇](#), [苏艳波](#), [张喜瑞](#), [王庆杰](#) [玉米茬地免耕播种机具导向系统设计与试验](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2010(4)
2. [孟庆宽](#), [刘刚](#), [张漫](#), [司永胜](#), [李茗萱](#) [基于线性相关系数约束的作物行中心线检测方法](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2013(z1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_njhyj200907006.aspx