

农业车辆视觉导航控制系统*

沈文龙¹, 薛金林², 汪东明¹, 黄银花¹, 刘朋¹

(1. 淮安信息职业技术学院汽车工程系,江苏淮安,223005; 2. 南京农业大学工学院,南京市,210031)

摘要:为提高农业生产智能化水平和降低人力成本,针对行间作物的特点,设计一套用于农业车辆的视觉导航控制系统。通过固定在农业车辆上的摄像头获取田间作物图像,基于 Matlab 进行图像处理得出车辆与规划路径的位置和角度偏差。控制器根据上位机得出的前轮目标转角和角度传感器得出的实际转角的偏差值作为输入变量,控制电控液压转向系统保证前轮沿着正确路线在田间行驶。根据田间实验结果,车辆行驶速度为 2.08km/h 时,前轮转向迅速、平稳,最大误差 0.18m,平均误差 0.048m。该控制系统快速性和准确性,能够保证农业车辆自主导航。

关键词:农业车辆;视觉导航;控制器;电控液压

中图分类号:TP29 文献标识码:A 文章编号:2095-5553 (2016) 06-0251-04

沈文龙, 薛金林, 汪东明, 黄银花, 刘朋. 农业车辆视觉导航控制系统[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(6): 251~254
Shen Wenlong, Xue Jinlin, Wang Dongming, Huang Yinhuang, Liu Peng. Visual navigation control system of agricultural vehicle [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(6): 251~254

0 引言

随着农业装备的发展,农业机械向精细化、智能化方向的发展成为当今农业研究的热点,开发一套操作简单、成本低廉和导航精度高的农业车辆自动导航系统,在农业生产中具有很高的现实意义^[1-2]。

目前国内外研究农业车辆导航方式主要有:GPS 导航、激光探测导航和机器视觉导航等。GPS 在有障碍物时存在信号丢失,激光探测对灰尘和雨雪等的高敏感性不适合田间测量,且二者的成本和对操作人员的技术要求较高。机器视觉是指利用安装在车辆上的相机对田间环境实时探测获得环境信息的办法,开发成本低,弥补上述方案一些不足。本文阐述的视觉导航系统就是通过从相机拍摄田间环境的原始图像中提取特征值,通过垂直投影法拟合出规划路径,从而根据车辆与规划路径的位置和角度偏差得出期望转角;将上位机给出的期望转角和加装的角度传感器得到的前轮(转向轮)实时角度输入控制器;控制器控制改装后的电控液压转向系统使前轮产生相应的转向角。该系统周而复始完成上述工作,从而达到车辆自主运动行驶的目的。

1 系统结构

本文以茂源 250 型拖拉机作为系统的加装改造对象,该导航控制系统主要有三部分组成:(1)视觉导航系统,包括 CCD 相机和上位机(笔记本电脑);(2)电控液压自动转向系统,包括比例方向阀、换向阀、溢流阀和改造后的油路等;(3)控制器,包括单片机及外围电路、角度传感器等;系统结构示意图如图 1 所示。

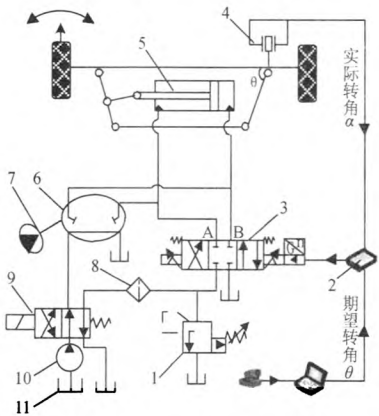


图 1 转向系统结构示意图

Fig. 1 Sketch of the steering system structure

1. 溢流阀 2. 转向控制器 3. 三位四通比例方向阀 4. 角度传感器
5. 转向油缸 6. 全液压转向器 7. 方向盘 8. 油滤
9. 两位四通换向阀 10. 液压油泵 11. 液压力箱

收稿日期:2015 年 3 月 30 日 修回日期:2015 年 4 月 21 日
* 基金项目:江苏省淮安市科技计划专项资金科技创新平台(HAP201411)

第一作者:沈文龙,男,1988 年生,江苏淮安人,硕士研究生,助教;研究方向为车辆智能化。E-mail:shen_wenlong@126.com
通讯作者:薛金林,男,1974 年生,江苏涟水人,博士,副教授;研究方向为农业车辆智能化。E-mail:xuejinlin@njau.edu.cn

上位机将相机拍摄的田间作物图像得出的转向信号(期望转角 θ)发给转向控制器(ECU),角度传感器实时检测得到的前轮转角信号(实际转角 α)也发给 ECU,ECU 比较得出二者差值 e (偏差信号)。根据差值 e ,转向控制器(ECU)计算出比例方向阀数字控制量,通过电压信号控制模块将数字值转换成实际电压值供给电磁比例方向阀输入端,进而控制比例阀的开口方向和大小以减小偏差值。控制器反复的进行这一过程,从而驱动转向油缸位移带动前轮转向机构转向,使得前轮快速达到期望转角,车辆实现自主导航行驶。

1.1 机器视觉系统

田间作物本身的具有绿色特性,有别于主要背景(土壤),若对作物图像提取过绿特征值可有效分割作物与土壤。田间作物种植时行间距和株距是有具体要求的,直接表现为作物行直线状,行与行之间平行,间距基本相等特点^[3]。根据上述特性,基于垂直投影法的作物定位方法可以快速有效的求出作物中心线,即导航期望路径,图像处理流程图如图 2 所示。

CCD 相机置于车头部分,可获得最佳视场信息,但因拖拉机车头发动机部分振动较大,为避免干扰将相机置于车身后部立起的支架上,离地 2.5m。但这样

造成视场过大,干扰信息过多。为此,对原始图像截取车头前部有效区域,截取后的图像尺寸为 320×240 像素,视场纵向中心线即车身轴向中心线,原始图像及其处理后的相关图像见图 3 所示。图 3(a)截取有效部分,对截取图像(图 3(b))提取过绿特征值(图 3(c)),既作物与背景分离。等距划分 9 组图像条(图 3(d)),根据垂直投影法拟合出作物行中心线方程。图 3(e)红线是识别出的作物行线,黄线是拟合出的作物行中心线,蓝色虚线是车身中心线。根据图像处理得出的作物行中心线方程,即可推出车辆与期望路径的位置和角度偏差。

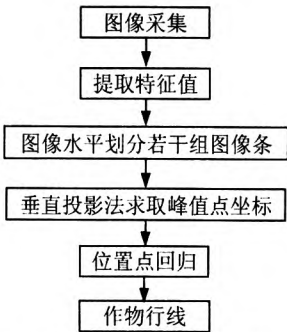


图 2 图像处理流程图
Fig. 2 Flow chart of vision system

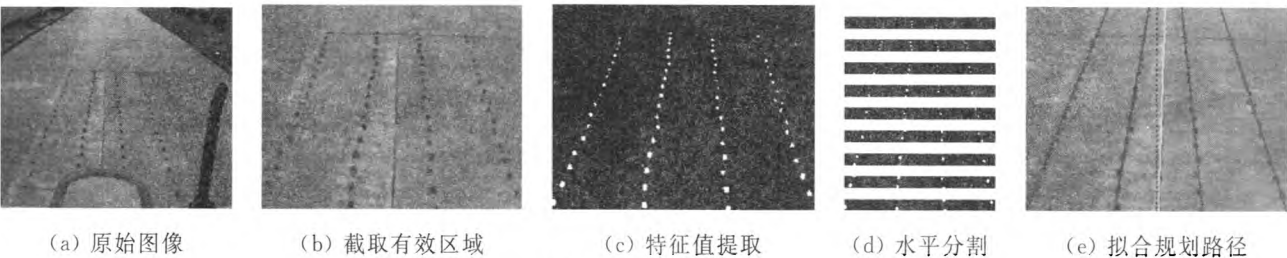


图 3 图像处理过程
Fig. 3 Image processing

1.2 液压转向系统

目前,国内外研究车辆自动转向控制的方法主要有电机转向控制和电液转向控制两种^[4-9]。采用液压传动作为转向动力可以弥补使用电机传动对大型机械控制的不足,而且充分利用拖拉机自身具有的液压源,使得改造相对简单。

根据不同的驾驶需要和突发安全性的考虑,转向系统应该具有自动转向和人工转向模式。如图 4 所示。

齿轮泵 2 从液压油箱 1 中泵油作为转向系统的动力来源^[10]。两位四通换向阀 3 的作用是切换油源流向,当其未通电的情况下,液压油流向全液压转向器 9,从而实现通过方向盘 8 手动转向;当其通电工作的情况下,液压油经过油滤 4 输送给三位四通比例方向阀 6。比例方向阀 6 的作用是根据控制信号,控制比例阀 6 开口方向和大小将液压油输入转向油缸 7 的左

或右腔,推动前轮转向。该车辆改造后,若控制电压为负,则前轮左转;若控制电压为正,则前轮右转;电压值大小决定前轮转角的大小和速度。

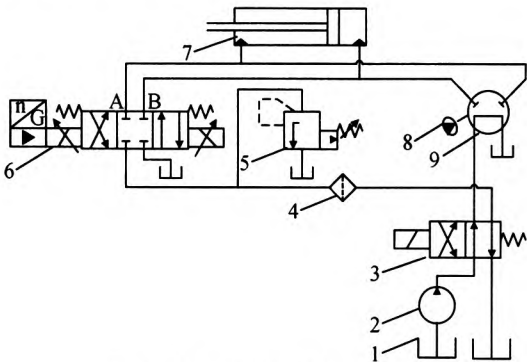


图 4 改造后的转向系统油路图
Fig. 4 Oil circuit of reconstructed steering system

1.3 控制单元及算法

控制单元是电控液压转向系统的核心,应具备如下要求:(1) 具有和上位机通信功能,接收上位机的转向信号和角度传感器的实际转角信号并进行处理;(2) 能根据转向信号和实际角度信号,按照控制程序对外输出控制量;(3) 能将数字控制量转换成可以驱动比例液压阀的电压量。

拖拉机自身机械机构和液压阀特性,转向存在较小角度死区^[11-12]。为避免频繁转向,增加系统的稳定性,取消传统 PID 算法中会造成转向系统振动的积分 I 控制环节,即在死区范围内即认为转向轮已经达到期望转角。控制算法的程序流程图如图 5 所示,死区通过判断偏差值 e 的绝对值是否大于死区角度。

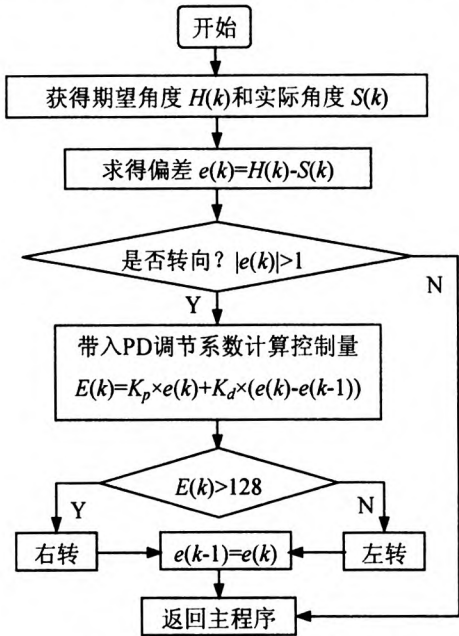


图 5 PD 控制算法程序流程图
Fig. 5 Flowchart of the PD control program

由 PD 算法决定的 D/A 输出值 V_{out} 与各参数关系

$$V_{out}=K_p e(k)+K_d(e(k)-e(k-1))$$

式中: V_{out} ——D/A 输出值;
 K_p ——比例系数;
 K_d ——微分系数;
 $e(k)$ ——第 k 次的偏差值;
 $e(k-1)$ ——第 $k-1$ 次的偏差值。

2 田间模拟试验

试验选用校内硬土地,用绿色假作物模拟田间作物。根据本系统的实际需要,控制器采用 STC12C5A60S2 单片机,它是一款增强型 8051 单片机,具有 8 路 10 位 A/D 转换器^[13]。并采 WYH-3 无触点用角度传感器来检测转向轮的转角信号,并将其反馈到控制器中,形成一个闭环控制系统。作物行长 15m,采用玉米 54 000 株/hm²种植方式,即行距 60cm,株距 30cm 布置模拟玉米苗生长初期阶段情况。试验时在拖拉机后部中心点处固定垂直划线杆来划出行驶轨迹,记录作物行线与行驶轨迹的偏离误差。本系统上位机采用 Matlab 软件进行图像处理,设计方便使用者操作的图形用户界面(GUI)^[14]。根据行驶速度(0.58m/s)、图像处理速度(0.24s/帧)的要求,图片获取设置间隔为 0.25s 满足系统需求。

车辆位置与作物行一定位置偏差和角度偏差的情况下,以 2.08km/h 速度(1 档理论最低行驶速度),进行自主导航行驶。结果如图 6 所示,图中 d 表示车辆质心点到作物行中心线垂直距离,即位置偏差, β 表示车辆中心线与作物行中心线夹角,即角度偏差。车辆在按导航线行驶过程中,最大误差为 0.18m,平均误差为 0.048m,能够保证田间行驶需求。

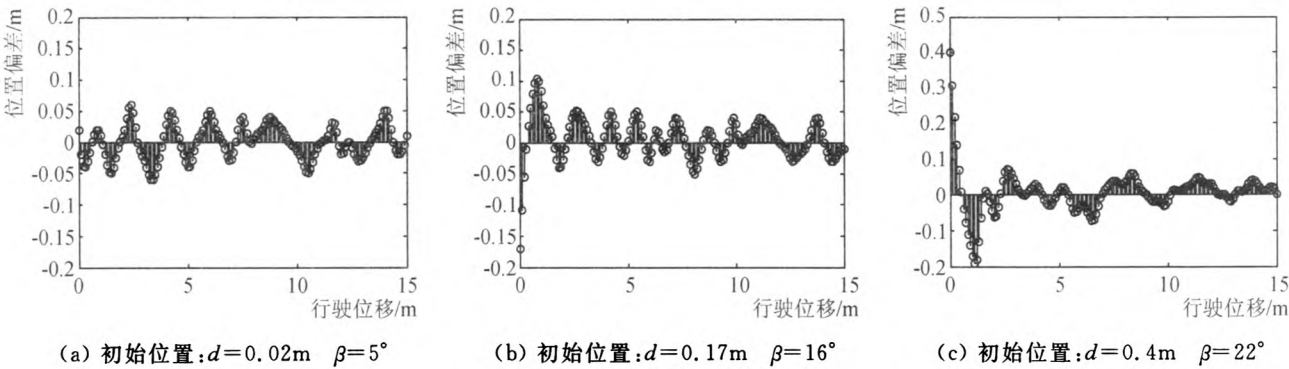


图 6 视觉导航试验结果图
Fig. 6 Results of visual navigation experiment

3 结论

本文提出了一种视觉信息作为导航输入的导航系统设计,该方案易于实现,不需要对车上原有转向

系统做太大的改动和投入,就可以改装完成。试验表明,该系统可根据视觉提供的位置和角度偏差,根据控制策略,实时控制车辆转向,完成自主导航。其控制稳定性和响应速度基本满足要求,该系统可安装在其他

具有全液压转向系统的农业车辆上,作为自动驾驶的转向系统。

参 考 文 献

- [1] 闫树兵, 姬长英. 农业机器人移动平台的研究现状与发展趋势[J]. 拖拉机与农用运输车, 2007, 34(5): 13~15.
Yan Shubing, Ji Changying. Present situation and development tendency of mobile platform for agricultural robots [J]. Tractor and Farm Transporter, 2007, 34(5): 13~15.
- [2] 许仰曾, 刘忠华, 张天福, 等. 液压转向器的电控与信息化发展趋势[J]. 流体传动与控制, 2004, (3): 1~3.
Xu Yangzeng, Liu Zhonghua, Zhang Tianfu, et al. Electronic control and IT in electro-hydraulic power steering [J]. Fluid Power Transmission and Control, 2004, (3): 1~3.
- [3] 袁佐云, 毛志怀, 魏青. 基于计算机视觉的作物行定位技术[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(3): 69~72.
Yuan Zuoyun, Mao Zhihui, Wei Qing. Orientation technique of crop rows based on computer vision [J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(3): 69~72.
- [4] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(11): 77~80.
- [5] 吴晓鹏, 赵祥喜, 张智刚, 等. 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(S1): 1~5.
Wu Xiaopeng, Zhao Zuoxi, Zhang Zhigang, et al. Development of automatic steering control system based on Dongfanghong tractor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(S1): 1~5.
- [6] 陈文良, 谢斌, 宋正河, 等. 拖拉机电控液压动力转向系统研究[J]. 农业工程报, 2006, 22(10): 122~125.
Chen Wenliang, Xie Bin, Song Zhenghe, et al. Electro-hydraulic power steering system for tractors [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(10): 122~125.
- [7] 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, 24(10): 57~62.
Chen Wenliang, Song Zhenghe, Mao Enrong. Design of steering control system for automatic drive of tractor [J]. Journal of Huazhong Agricultural, 2005, 24(10): 57~62.
- [8] Qiu H, Zhang Q. Feedforward-plus-proportional-integral-derivative controller for an off-road vehicle electro-hydraulic steering system [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2003, 217(5): 375~382.
- [9] Zhang Q, Reid J F, Wu D. Hardware-in-the-loop simulator of an off-road vehicle electro hydraulic steering system [J]. Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers, 2000, 43(6): 1323~1330.
- [10] 吕白. CBN 型齿轮泵[EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/f897190303d8ce2f0066231a.html>. 2011-01-17.
- [11] 赵建东, 安秋, 姬长英, 等. 基于东方红—SG250 拖拉机的自动转向控制系统设计[J]. 江苏农业科学, 2013, (4): 349~351.
- [12] 齐晓杰. 汽车液压与气压传动[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [13] 沈文龙, 薛金林, 张永. 农业车辆电控液压转向系统的设计[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(3): 325~329.
Shen Wenlong, Xue Jinlin, Zhang Yong. Development of electro-hydraulic steering system based on agricultural vehicle [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences Edition), 2014, 40(3): 325~329.
- [14] Rafael C. Gonzale z, Richard E. Woods, Steven L. Eddins 著, 阮秋琦等译. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

Visual navigation control system of agricultural vehicle

Shen Wenlong¹, Xue Jinlin², Wang Dongming¹, Huang Yinhuang¹, Liu Peng¹

(1. Department of Automotive Engineering, Huai'an College of Information Technology, Huai'an, 223005, China;

2. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210031, China)

Abstract: In order to improve the intelligent level of agricultural production and reduce labor costs, asset of visual navigation control system used for agricultural vehicles was designed, which considered the characteristics of the row crops. We got the images of field crops through a fixed camera on agricultural vehicles, and then get the deviation of position and angle between the vehicle and path planning with Matlab. The target angle of front wheel based on the upper computer and actual angle based on an angles sensor were input into ECU, which ensured the electro-hydraulic steering system kept the front wheel along the correct route. The field experiment results showed that when the speed was 2.08km/h, the front wheel turns quickly and smoothly. And the maximum error was 0.18m, average error was 0.048m. The rapidity and veracity of this control system can ensure the autonomous navigation of agricultural vehicle.

Keywords: agricultural vehicle; visual navigation; ECU; electro-hydraulic steering system