

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.01.013

温室株间电驱锄草机控制系统设计与试验*

马锒宏 李南 王汉斌 朱成兵 张俊雄 李伟

(中国农业大学北京市现代农业装备优化设计重点实验室,北京 100083)

摘要: 根据温室机械锄草的需要,针对电驱锄草机械设计了一种圆盘锄刀株间锄草控制系统。该系统以MC9S12DG128双核单片机为硬件核心,融合霍尔传感器、旋转编码器的信号实时输入,通过RS232串口中断实时接收上位机(PC)视觉信息,采用CAN总线与下位机(电动机驱动器)实时通信,对圆盘锄刀转速与转角进行实时控制,从而实现株间锄草和避苗。温室大棚内锄草试验结果表明,前进速度为1.2 km/h时,伤苗率小于10%。

关键词: 圆盘锄刀 株间锄草 控制系统

中图分类号: S224.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)01-0089-05

Control System for Electric Drive Intra-row Weeding

Ma Zenghong Li Nan Wang Hanbin Zhu Chengbing Zhang Junxiong Li Wei

(Beijing Modern Agricultural Equipment Optimize Design Laboratory, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: According to the demand of mechanized weeding in greenhouse, an intra-row weeding control system with disc-hoe was designed for electric drive weeding machine. The system, with the MC9S12DG128 binuclear MCU at its core, was composed of three Hall sensors and one rotary encoder, signals of which were real-time input into the MCU. The MCU received real-time visual signal of upper computer (PC) through RS232 serial port, and had a real-time communication with lower computer (motor drivers) via CAN bus. With the real-time control of rotation rate and rotation angle of disc-hoe, the control system realized intra-row weeding and seedling avoidance. The experimental machine included three disc-hoe units, and one land wheel on either side. Then the machine was connected to a tractor by a previa three-point suspension. The test results in greenhouse showed that the wounded seedling rate was within 10%, when the forward speed was about 1.2 km/h.

Key words: Disc-hoe Intra-row weeding Control system

引言

传统的除草方式有人工除草和化学药剂除草。人工除草劳动强度大、作业效率低;化学药剂除草容易造成环境污染和农产品药剂残留,从而影响农业生产的可持续发展和人类饮食健康^[1-4]。因此,田间机械锄草具有重要的研究意义和广泛的应用前景。

按照杂草在田间相对作物的生长位置区分,机械锄草可分为行间锄草和株间锄草^[5]。常见的中耕锄草多为行间锄草,株间锄草是目前的研究难点和热点,并取得了一些研究成果^[6-15]。

与大田种植比较,温室大棚种植空间狭小、环境密闭,因此对温室大棚内作业机械的能耗、噪声及污染等提出了更高的要求,由此电驱锄草机械应运而生。本文针对电驱锄草机械设计一种基于单片机的

收稿日期:2014-04-13 修回日期:2014-05-16

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA041507)、国家自然科学基金资助项目(31101079)和中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(2013XJ004)

作者简介:马锒宏,博士生,主要从事计算机视觉、农业机器人技术研究,E-mail: mzhsss@126.com

通讯作者:李伟,教授,博士生导师,主要从事机械制造、计算机视觉及农业机器人技术研究,E-mail: liww@cau.edu.cn

圆盘锄刀株间锄草控制系统。

1 总体方案设计

1.1 株间锄草原理

锄草机械向前运动,搭载在锄草机械上的视觉系统动态采集田间苗草图像并输入PC机,PC机进行图像处理输出刀苗距信息到锄刀控制系统,控制系统融合霍尔传感器、旋转编码器的输入信息,实时输出转速信息给电动机。如图1所示,圆盘锄刀一侧开有一定角度的豁口,工作时,锄刀向前运动的同时绕电动机轴旋转,完成切割、铲除杂草动作。锄刀控制系统实时输出转速信息到电动机,达到对电动机不同位置的转角控制。使得在相邻两株苗间,锄刀刚好转动一圈,同时当锄刀处于苗位置时豁口刚好对齐苗,完成避苗。

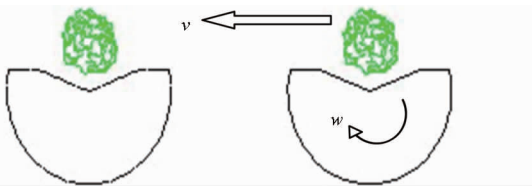


图1 株间锄草工作原理图

Fig.1 Principle of intra-row weeding

1.2 系统结构

控制系统由刀苗距信息获取模块、速度信息获取模块、运动执行单元及电动机角度归零模块组成。如图2所示,刀苗距信息获取模块由摄像机实时动态获取田间苗草图像并输入PC机进行图像处理得出刀苗距信息。速度信息获取模块通过安装在测速地轮轴上的旋转编码器对前进速度进行实时测量。运动执行单元由驱动器与电动机组成,电动机带动圆盘锄刀运动。本设计中涉及3个相互独立的运动

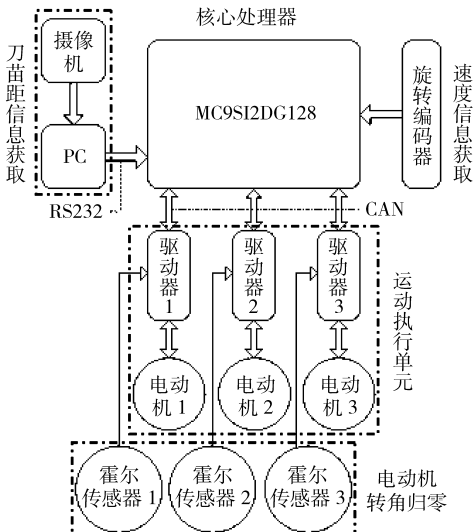


图2 控制系统结构图

Fig.2 Structure diagram of control system

执行单元的控制。电动机角度归零模块采用霍尔传感器信号输入相应驱动器并使电动机转角归零。核心处理器实时获取刀苗距信息、速度信息及电动机转角信息,通过控制算法计算出实时转速信息并输入驱动器控制电动机转动。

2 硬件系统设计

2.1 硬件选型

控制系统采用MC9S12DG128单片机作为主控芯片,该单片机是Freescle公司推出的S12系列中一款增强型16位微控制器,片内总线时钟频率最高可达25MHz,具有SCI、PAI、CAN等功能模块,满足本系统设计的要求。该芯片集成度高、片内资源丰富,在汽车电子、工业控制、中高档机电产品等领域应用广泛。且该系列芯片在同速度下所用时钟频率较51系列芯片低得多,因而使得高频噪声低,抗干扰能力强。

旋转编码器选用增量式,型号为RI30-O/1000AR·34KB。该传感器输入电压为5VDC,分辨率为1000CPR,相位差90°双通道输出。

霍尔传感器选用NPN常开型,型号为JK5002C。该传感器输入电压为5VDC,未检测到磁铁时呈高电平,检测到磁铁时呈低电平。

采用直流无刷伺服电动机,型号为SLD48-12-E3-N3-1LN。供电电压48VDC;额定电流12A;额定扭矩1.1N·m;额定转速3000r/min;允许3倍过载,允许连续过载2min。

根据电动机选取MOTEC α MLD系列驱动器,适用于驱动大功率直流无刷伺服电动机。供电电压18~160VDC;最大连续电流达30A;具有位置控制模式、速度控制模式和电流(转矩)控制模式;支持RS232、RS485和CAN总线通信,3种总线均可多驱动器组网控制;具有温度保护,过流、过压、欠压保护等功能,可靠性高。

2.2 电源设计

整个控制系统以直流48V供电。考虑到整个控制系统耗电量比较大,采用48个1V-1.2A·h锂电池串联,总输出电压48V,总容量约为60A·h。

由上述硬件选型可知:PC机和伺服电动机均采用48V供电;单片机和霍尔传感器采用12V供电;旋转编码器采用5V供电。本设计中选取48V转12V的转换器获得12V电源,直接采用单片机上5V端子获得5V电源。

2.3 CAN通信设计

采用MC9S12DG128单片机上MSCAN模块和电动机驱动器上CAN功能构建总线型CAN通信结

构^[15]。并选取终端电阻为 120 Ω,防止信号在传输线终端形成反射而造成信号干扰,如图 3 所示。

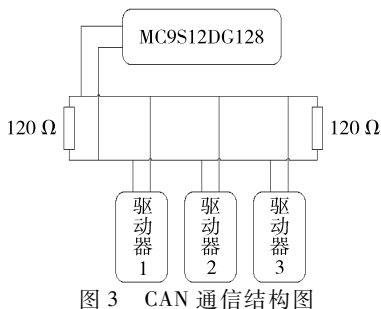


图 3 CAN 通信结构图

Fig. 3 Structure diagram of CAN communication

3 软件系统设计

3.1 程序设计流程

机械锄草中采用的摄像机一般安装在锄草机械正上前方,同时摄像机保持斜下前方一定角度。因此,当锄刀接近当前苗(锄草机械前方距离锄刀最近的苗)一定距离之内时,摄像机视场中当前苗会消失。这是由于机械本身结构所导致的不可避免的视觉盲区,且由上可得盲区距离应该为摄像机视场下边沿到锄刀中心的距离。如图 4 所示, A、B、C、D 处各为一株苗,图中所示时刻为锄刀豁口对齐苗 A,矩形框所示为摄像机视场,则由图可得盲区距离为 L_b 。以苗 B 为研究对象,由上述株间锄草工作原理可知,在相邻两株苗之间,锄刀前进运动所用的时间等于自身转动一圈所用时间,则有

$$\frac{L_B}{v} = \frac{360}{w_B} \quad (1)$$

式中 L_B ——苗 A 到苗 B 之间距离

w_B ——锄刀从苗 A 运动到苗 B 的平均转速

v ——前进速度

图 4 中 B_x 为苗 A 和苗 B 中任一位置,当锄刀位于 B_x 时当前苗到锄刀距离为 L_x ,设此时锄刀转角为 α (调整锄刀上磁铁的安装位置可使锄刀豁口对齐苗时转角归零),则有

$$\frac{L_x}{v} = \frac{360 - \alpha}{w_x} \quad (2)$$

$$w_x = \frac{v(360 - \alpha)}{L_x} \quad (3)$$

式中 w_x ——锄刀从苗 A 运动到苗 B 之间任意位置时的转速

如图 4 所示,设锄刀运动到 B_2 时当前苗到锄刀为盲区距离 L_b ,则此时苗 B 应刚好处于即将从视觉视场消失状态。此后锄刀从 B_2 运动到苗 B 过程中,视觉检测到的刀苗距为苗 C 到锄刀的距离。因此锄刀从 B_2 运动到苗 B 过程中,上述式(2)中当前苗 B 到锄刀距离 L_x 不等于视觉检测刀苗距 L ,为此本设计中将增加里程值计算间接获得当前苗 B 到锄刀的距离 L_x 。

当锄刀运动到接近苗 B 时, L_x 趋近于 0, α 趋近于 360° ,由式(3)计算出的结果具有不确定性。为避免这一计算结果的产生,设定一个保护距离 L_p ,使得锄刀进入保护距离内时转速恒定,转速为锄刀在 B_1 时的转速。根据移栽农作物一般大小取 $L_p = 50 \text{ mm}$ 。

根据视觉系统在锄草机上实际安装位置可得盲区距离 L_b 在 100 mm 以内,取 L_b 为 100 mm。图 5 所示为不同株间距内锄刀运动示意图,从上到下,株间距依次为 150、200、300 mm。由株间锄草工作原理及式(1)可得锄刀在前进方向上的移动距离和旋转方向上转角在理论上是同比例的。即锄刀在苗间任一位置满足关系式

$$\frac{L_n - L_x}{L_n} = \frac{\alpha}{360} \quad (4)$$

式中 L_n ——株间距离

由式(4)可得株距依次为 150、200、300 mm 且当前苗到锄刀距离均为 100 mm 时,锄刀转角依次为 120° 、 180° 、 240° ,如图 5 中蓝线所示。

移栽农作物一般理论株距不小于 200 mm,以株距 200 mm 为分析对象。由上述分析可知:当株距

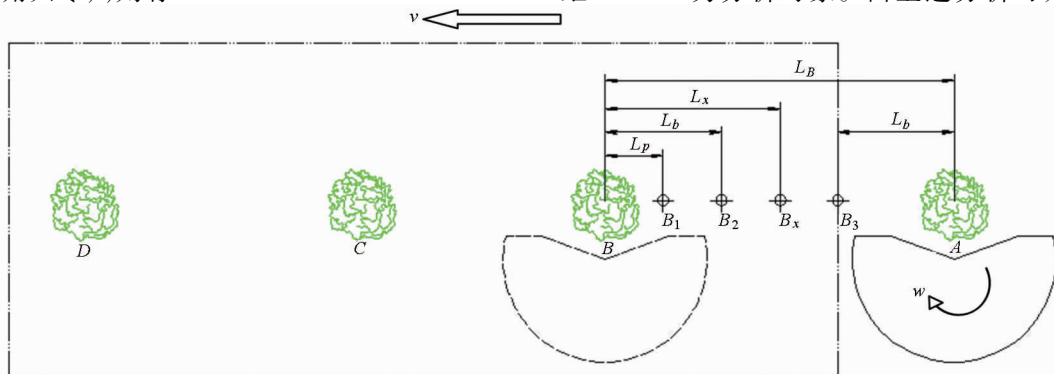


图 4 锄刀株间运动示意图

Fig. 4 Motion schematic of disc-hoe in row

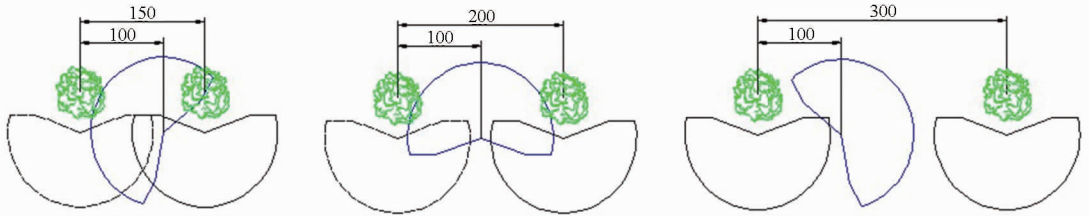


图5 不同株距锄刀运动示意图

Fig. 5 Motion schematic of disc-hoe in row with different plant spacing

小于 200 mm 时, 锄刀进入盲区距离后的转角小于 180° ; 当株距等于 200 mm 时, 锄刀进入盲区距离后的转角等于 180° ; 当株距大于 200 mm 时, 锄刀进入盲区距离后的转角小于 180° 。因此在程序控制流程中, 可由条件“视觉检测刀苗距 $L \geq 100$ mm 且锄刀转角 $\alpha \leq 180^\circ$ ”判断锄刀是否进入盲区距离。根据这一判断条件, 当株距小于 200 mm 时, 程序无法判断锄刀是否进入盲区距离, 导致锄刀无法完成避苗动作而铲锄当前苗, 在一定程度上起到了间苗效果。反之在程序设计过程中, 通过改变判断条件中 α 参数条件可设定最小保护理论株距。

综上分析可得程序控制流程如图 6 所示, 其中 I 为视觉检测当前苗的控制算法; II 为锄刀进入盲区距离的控制算法; III 为锄刀进入保护距离的控制算法。

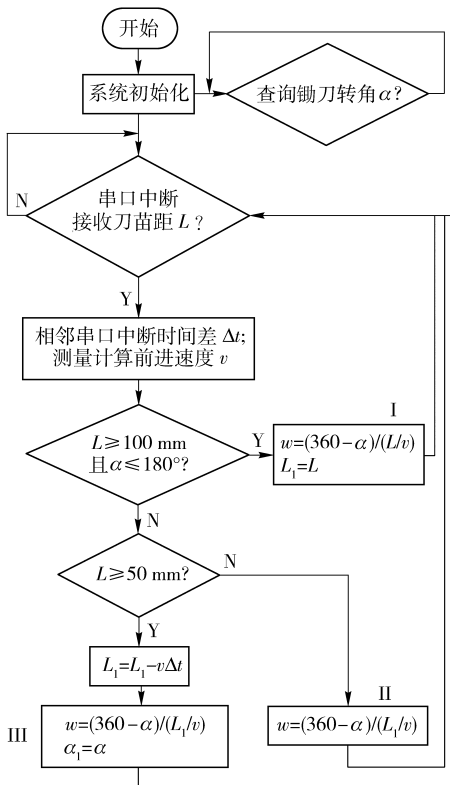


图6 控制程序流程图

Fig. 6 Flow chart of control program

3.2 查询锄刀转角

程序控制过程中需要实时获得锄刀转角。本设

计中采用直流无刷伺服电动机内置编码器为增量式, 为了使锄刀转角获得相对零点, 通过在锄草机械本体上安装霍尔传感器, 在锄刀转轴上一圆盘上放置磁铁, 锄刀旋转过程中, 当霍尔传感器检测到磁铁信号时, 锄刀转角清零。为了简化锄刀运动控制, 在安装霍尔传感器和磁铁时, 确保锄刀豁口对齐苗时转角清零。控制系统工作时, 通过初始化程序控制锄刀停在零位。通 CAN 通信实现单片机对 3 把锄刀转角信息实时查询, 查询锄刀转角为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 循环。

3.3 测速

旋转编码器安装在测速地轮轴上, 地轮滚动一圈对应编码器轴旋转一圈并输出特定的脉冲个数。通过单片机脉冲累加器 PANT 模块采集一定时间 Δt 内对应的脉冲个数 n 即可求出速度 v 。已知测速地轮直径为 D , 旋转编码器分辨率为 1 000 CPR, 则有

$$v = \frac{n\pi D}{1000\Delta t} \quad (5)$$

Δt 可通过设定定时器实时中断获得, 考虑到后续程序视觉盲区内需要增加里程值计算间接获得当前苗到锄刀的距离, 即需要获得相邻 2 次串口中断时间差内前进距离。因此本设计中采用设定计数器 (计数时基为晶振周期) 和串口中断来获得 Δt 。

3.4 视觉盲区内当前刀苗距获取

当前苗进入视觉盲区内后, 视觉检测刀苗距为当前苗的前一株苗到锄刀距离。当前苗进入视觉盲区前一次串口中断从上位机获得刀苗距应该为当前苗到锄刀距离, 设为 L_1 , 则下一次串口中断时, 当前苗到锄刀距离为

$$L_1 = L_1 - v\Delta t$$

将式(5)代入可得

$$L_1 = L_1 - \frac{n\pi D}{1000}$$

4 试验

为了检验控制系统的正确性和可靠性, 试制了样机, 并在北京市通州区国际种业园区连栋温室内进行株间锄草试验, 如图 7 所示。拖拉机前悬挂连

接锄草机械, 试验在移栽生菜地上进行, 按移栽平均株距及株距范围共分 3 组进行, 每组分别进行 3 次试验。



图 7 电驱锄草样机及试验现场

Fig. 7 Prototype and testing site of electric drive intra-row weeding

拖拉机前进速度约为 1.2 km/h。试验中以生菜叶大面积受损或根部脱离土壤为伤苗, 伤苗情况统计结果如表 1 所示。

表 1 数据显示第 1 组(平均株距 250 mm)平均伤苗率较另外 2 组显著偏高, 但平均伤苗率都小于 10%。通过观察试验过程及理论分析可得, 造成这一现象的可能原因是株距偏小造成相邻两株苗的视觉分辨差及刀盘相对偏大。

表 1 伤苗统计

Tab. 1 Statistics of wounded seedling

平均株距/ mm	株距范围/ mm	试验 序号	总苗 数/株	伤苗 数/株	伤苗 率/%	平均伤 苗率/%
250	200 ~ 300	1	75	5	6.7	7.9
		2	79	7	8.9	
		3	73	6	8.2	
350	300 ~ 400	1	70	5	7.1	6.5
		2	73	4	5.5	
		3	73	5	6.8	
450	400 ~ 500	1	65	5	7.8	6.6
		2	63	4	6.3	
		3	70	4	5.7	

5 结论

(1) 基于 MC9S12DG128 单片机、直流伺服电动机及多传感器融合, 设计一种圆盘锄刀株间锄草控制系统, 该系统通过实时控制 3 把锄刀株间转速和转角实现株间锄草和避苗。

(2) 通过拖拉机前悬挂连接锄草机械, 温室大棚内电驱株间锄草试验表明, 拖拉机前进速度约为 1.2 km/h 时, 锄草伤苗率小于 10%。

参 考 文 献

- 马超. 浅谈我国田间机械除草现状与发展趋势[C]//中国农业机械学会第四届青年学术年会论文集, 2007:132-135.
- 李江国, 刘占良, 张晋国, 等. 国内外田间机械除草技术研究现状[J]. 农机化研究, 2006(10):14-16.
- 潘亚清. 我国农田化学除草现状及综合防治的研究[J]. 农机化研究, 2006(6):42-43.
- 张泽溥. 浅议我国化学除草面临的挑战与未来发展[J]. 农药科学与管理, 2010, 31(12):14-18.
- 黄小龙, 刘卫东, 张春龙, 等. 田间锄草机器人锄草刀优化设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6):42-46.
Huang Xiaolong, Liu Weidong, Zhang Chunlong, et al. Optimal design of rotating disc for intra-row weeding robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6):42-46. (in Chinese)
- 魏兆凯, 张修春. 大豆苗间除草松土机的设计[J]. 农机化研究, 2009(6):83-86.
- 张朋举, 张纹, 陈树人, 等. 八爪式株间机械除草装置虚拟设计与运动仿真[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4):55-59.
Zhang Pengju, Zhang Wen, Chen Shuren, et al. Virtual design and kinetic simulation for eight claw intra-row mechanical weeding device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4):55-59. (in Chinese)
- 陈树人, 张朋举, 尹东富, 等. 基于 LabVIEW 的八爪式机械株间除草装置控制系统[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9):234-237.
Chen Shuren, Zhang Pengju, Yin Dongfu, et al. Control system for eight claw intra-row mechanical weeding device based on LabVIEW[J]. Transactions of CSAE, 2010, 26(9):234-237. (in Chinese)
- 张春龙, 黄小龙, 耿长兴, 等. 智能锄草机器人系统设计与仿真[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7):196-199.
Zhang Chunlong, Huang Xiaolong, Geng Changxing, et al. Design and simulation of intelligent weeding robot system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7):196-199. (in Chinese)
- 胡炼, 罗锡文, 严乙桢, 等. 基于爪齿余摆运动的株间机械除草装置研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14):10-16.
Hu Lian, Luo Xiwen, Yan Yi'an, et al. Development and experiment of intra-row mechanical weeding device based on trochoid motion of claw tooth[J]. Transactions of CSAE, 2012, 28(14):10-16. (in Chinese)
- Athanasios P Dedousis, Richard J Godwin. The rotating disc-hoe-an overview of the system for mechanical weed control[C]//2008 ASABE Annual International Meeting, ASABE Paper 083438, 2008.
- Nørremark M, Griepentrog H W, Nielsen J, et al. The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops[J]. Biosystems Engineering, 2008, 101(4):396-410.
- O' Dogherty M J, Godwin R J, Dedousis A P, et al. A mathematical model of the kinematics of a rotating disc for inter-and intra-row hoeing[J]. Biosystems Engineering, 2007, 96(2):169-179.
- Tillett N D, Hague T, Grundy A C, et al. Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(2):171-178.
- 张文杰, 王坤. 浅谈 CAN 通信的硬件抗干扰设计[J]. 科技信息, 2012(23):144.
Zhang Wenjie, Wang Kun. Discuss the hardware anti-interference design in CAN communication[J]. Science & Technology Information, 2012(23):144. (in Chinese)