

基于模糊控制的棉田变量对靶喷药除草系统设计*

尹东富¹ 陈树人¹ 毛罕平¹ 尹建军² 魏新华² 裴文超²

(1. 江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013;

2. 江苏大学江苏省农业装备与智能化高技术重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 为实现自动精确去除棉田杂草, 减少除草剂用量, 设计了一种以 S3C2410 处理器为核心, 采用模糊控制算法的变量对靶喷药除草系统, 实现了自动识别杂草以及根据采集车速、杂草密度信息自动调整流量的功能。设计了双输入、单输出模糊控制器, 并对其进行了仿真研究。仿真结果表明, 利用该控制器能实现喷药量随车速及杂草密度变化而实时改变。在室内搭建了模拟棉田环境的变量对靶喷药试验台, 对喷药系统进行了测试, 试验测得在速度 0.2 m/s 时, 喷药除草对靶率达 90%。

关键词: 杂草识别 对靶喷药 模糊控制

中图分类号: S224.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)04-0179-05

Weed Control System for Variable Target Spraying Based on Fuzzy Control

Yin Dongfu¹ Chen Shuren¹ Mao Hanping¹ Yin Jianjun² Wei Xinhua² Pei Wenchao²

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. High-tech Key Laboratory of Agricultural Equipment & Intelligentization of Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

In order to reduce herbicide dosage and automatic precise weeding in cotton fields, a variable target weed spraying system uses fuzzy control algorithm with processor core of S3C2410 was designed. This system achieved automatic weeds identification, system speed and flow information collection, flow and pressure adjustment and other functions. A dual-input single-output fuzzy controller was designed and simulated. Simulation results showed that the controller could control the amount of spraying with the speed and density in real-time changed. An indoor test bed which could simulate cotton environment was built and the spraying system was tested. The results showed that over 90% weeds were sprayed with speed of 0.2 m/s.

Key words Weed identification, Spraying on target, Fuzzy control

引言

传统的喷药除草是面对不同杂草分布采用相同的喷药方式, 这种忽视田间杂草分布差异性的做法会导致农药浪费, 环境污染等问题。Bakker, Lamm, Sogaard 等分别对自主移动平台、变量喷药、杂草识

别等进行了研究^[1-6], 但实时状况下实现针对不同杂草实行变量对靶喷药的除草机械还未见报道。

变量对靶喷药除草是基于机器视觉技术识别出棉花和杂草, 然后根据喷雾机械田间作业速度和杂草面积, 自动调节阀门开度, 实现对不同杂草进行变量对靶喷药。为实现上述功能, 本文建立一种基于

收稿日期: 2010-07-07 修回日期: 2010-08-16

* 江苏省自然科学基金资助项目(BK2009200)、江苏省农业装备与智能化高技术研究重点实验室项目(BM2009703)和镇江市国际合作计划资助项目(GJ2008008)

作者简介: 尹东富, 硕士生, 主要从事喷药除草机械研究, E-mail: ydf-678@163.com

通讯作者: 陈树人, 教授, 主要从事精确农业研究, E-mail: srchen@ujs.edu.cn

机器视觉识别杂草和采用模糊控制的变量喷药除草系统。

1 变量对靶喷药除草装置

1.1 喷药除草系统构成

变量对靶喷药系统由 CCD 摄像头采集田间图像,使用以 TMS320DM642 为核心的 DSP 处理器根据不同特征对杂草和棉花进行识别,并采用 RS232 串口通信方式将处理后得到的杂草位置和密度信息发送到以 S3C2410 为核心的 ARM9 系列微处理器,微处理器根据接收到 DSP 处理器发送的杂草位置信息,控制不同的电磁阀打开及关闭,实现对靶喷药。根据接收的车速及杂草密度信息,利用模糊控制理论得出不同喷药量,通过改变 PWM 占空比来调节喷头喷药量,从而实现变量喷药。同时,微处理器接收流量传感器发送的流量信息,自动调整电磁阀打开角度,从而获得喷药系统所需压力值。喷药系统整体结构框图如图 1 所示。

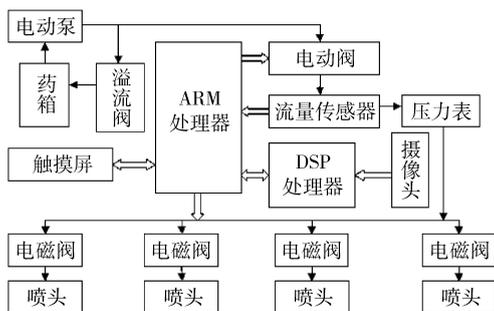


图 1 喷药系统整体结构框图

Fig. 1 Structure of whole spraying system

1.2 变量对靶喷药试验台

为模拟自然环境,在室内搭建了变量对靶喷药试验台^[7]。试验时,在传送带上固定棉花和棉田常见杂草以模拟棉田环境。电动机带动传送带连续运动,通过调节变频器频率改变传送带运动速度。摄像头固定在一端支架上,用于采集棉花和杂草图像。电磁阀及喷头固定在另一支架上,用于对杂草进行变量对靶喷药。室内变量对靶喷药试验台结构如图 2 所示。

1.3 机器视觉系统

使用 CCD 摄像头采集一帧 PAL 制的视频图像,利用视频解码芯片 SAA7114 将模拟视频数据转换为数字视频数据,通过 CPLD 将图像数据存储到 SDRAM 中,DSP 处理器对采集的数据进行算法处理,把处理后的杂草位置信息及密度信息发送到 ARM 处理器。

算法设计采用超绿特征和最大类间方差法对背景进行分割,融合棉花的形状特征、骨架特征和种植

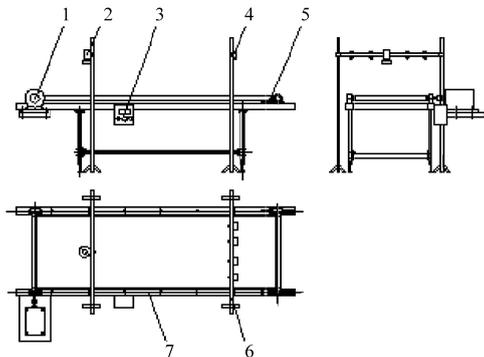


图 2 室内喷药系统试验台

Fig. 2 Test bed of indoor spraying system

1. 步进电动机 2. 摄像头 3. 变频器 4. 电磁阀及喷头 5. 张紧装置 6. 支架 7. 试验台底座

信息,对棉花和杂草进行识别。通过标定杂草在图像坐标和实际坐标中的关系,计算出杂草的确切位置。根据喷头喷药面积对图像进行网格化处理,根据杂草面积与网格面积比例确定杂草密度,采用三维数组表示杂草的位置(X, Y)和密度(D)信息。

1.4 控制系统外围电路

采用 IVY79A 直动活塞式电磁阀,使用 ULN2803 芯片进行电流放大,ULN2803 驱动电流可达 0.5 A。4 路电磁阀驱动电路如图 3 所示。

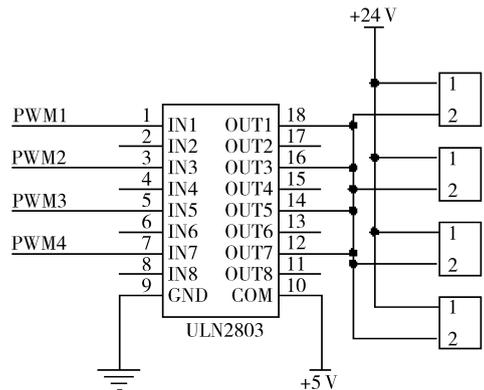


图 3 电磁阀驱动电路

Fig. 3 Solenoid valve drive circuit

采用 LWGY-06 型涡轮流量传感器,使用 ISO-A4-P1-O4 电流电压隔离转换器及限流电阻将 4~20 mA 电流信号转换为 S3C2410 的 A/D 转换器所需 0~3.3 V 电压。S3C2410 集成了一个 8 路 10 位 A/D 转换器,A/D 转换器带有采样保持功能,利用特殊功能寄存器(ADCCON)中的 FLAG 位来完成 A/D 数据采集,从而获得系统流量值。流量传感器与 S3C2410 接口电路如图 4 所示。

选用欧姆龙 E6B22CWZ6C 型光电脉冲编码器,它每旋转一周正转脉冲 A 和反转脉冲 B 各产生 2 000 个脉冲。由触发器和门电路组成方向判别电路,A 相和 B 相通过光电隔离芯片 TLP521 连接到

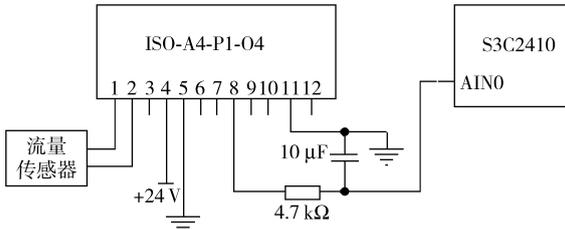


图4 流量信息采集电路

Fig. 4 Collect traffic information circuit

S3C2410 的外部脉冲计数器上。速度信号采集电路如图5所示。

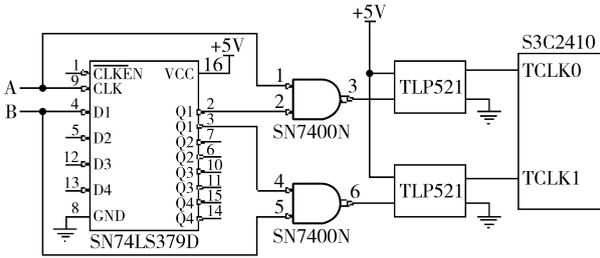


图5 速度信息采集电路

Fig. 5 Collect speed information circuit

采用UM系列V型电动比例调节阀,使用RC电动阀门驱动装置控制电动阀打开角度。S3C2410提供的数字量经DAC0832进行数模转换后,连接到驱动装置的DC输入引脚上,驱动装置输出引脚和电动阀相连,实现对电动阀开度的智能控制和精确定位。

2 模糊控制器设计

2.1 输入输出变量选择

具有视觉系统和喷药系统的移动平台其行驶速度和田间杂草密度都在不断变化,喷药量也应随之不断变化。为得到喷药量和行驶速度、杂草面积的关系,选择将行驶速度和杂草密度作为输入量,喷药量为输出量,设计了双输入单输出模糊控制器。

为简化运算,将速度 V 、密度 D 、喷药量 S 均划分为6个模糊子集,即VZS(最小)、VVS(很小)、VS(小)、VM(中)、VB(大)、VVB(很大);DZS(最小)、DVS(很小)、DS(小)、DM(中)、DB(大)、DVB(很大);SZS(最小)、SVS(很小)、SS(小)、SM(中)、SB(大)、SVB(很大)。 V 和 D 论域均取为 $\{0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0\}$; S 论域为 $\{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ 。

2.2 模糊控制规则

为使模糊推理合成方便,将输入的连续变化量进行模糊化处理,离散为 $[0, 1]$ 之间有限个数。输入、输出隶属函数均采用 gaussmf 型隶属度函数,隶属函数个数为 $6^{[8]}$ 。

根据专家经验,确定 $\text{if } V = \text{VZS and } D = \text{DZS then } S = \text{SZS}$ 等36条模糊语句,模糊控制规则如表1所示。

表1 模糊控制规则
Tab.1 Fuzzy control rules

	VZS	VVS	VS	VM	VB	VVB
DZS	SZS	SZS	SZS	SZS	SVS	SVS
DVS	SZS	SVS	SVS	SVS	SS	SS
DS	SVS	SVS	SS	SS	SM	SM
DM	SVS	SS	SM	SM	SB	SB
DB	SS	SM	SB	SB	SVB	SVB
DVB	SM	SB	SVB	SVB	SVB	SVB

2.3 建立模糊查询表

模糊推理过程采用Mamdani型模糊推理方法,采用重心法进行解模糊化。根据模糊规则表确定如 $R_1 = [(VZS)_V \times (DZS)_D]^T \times (SZS)_S$ 等36条模糊关系,总模糊关系 $R = R_1 \cup R_2 \cup R_3 \cdots \cup R_{36} = \bigcup_{i=1}^{36} R_i$, 利用推理合成规则计算查询表值 $S_{ij} = (V_i \times D_j) R$ 。由于模糊查询表计算量较大,在VC++下编写了自动生成查询表的程序,得到表2所示模糊查询表,输出喷药量共分9级。

表2 模糊控制查询表

Tab.2 Fuzzy control query table

D	V										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3
0.1	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2
0.2	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-1	-1	-1
0.3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	0	0	0
0.4	-3	-3	-3	-2	-1	-1	-1	0	1	1	1
0.5	-3	-2	-2	-1	0	0	0	1	2	2	2
0.6	-3	-2	-1	0	1	1	1	2	3	3	3
0.7	-2	-1	0	1	2	2	2	2	3	3	3
0.8	-1	0	1	2	3	3	3	3	4	4	4
0.9	0	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
1.0	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4

2.4 系统的仿真

设定输入量前进速度 V 为定值,杂草密度 D 按正弦曲线变化,利用Matlab的Simulink工具箱对控制模型进行仿真研究^[9],结果如图6所示。仿真结果表明,喷药量随杂草密度作正弦变化;同样,杂草密度不变时,喷药量随车速实时变化,喷药量变化符合专家经验,模糊控制器满足设计需要。

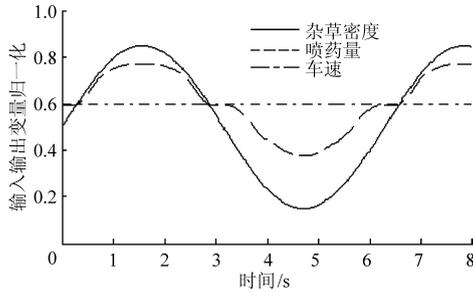


图6 车速、杂草密度及喷药量关系曲线

Fig. 6 Curves of volume diagram of speed, weed density and the spraying

3 模糊控制软件设计

为提高系统响应速度,将 Linux 操作系统移植到 S3C2410 微处理器上。在微控制器上移植 bootloader 和内核,建立根文件系统,将 USB、串口、PWM 等驱动程序编译到内核后,编写程序实现变量对靶喷药^[10]。模糊控制算法流程如图 7 所示。

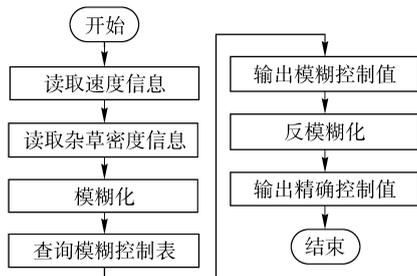


图7 模糊控制算法流程

Fig. 7 Flow chart of fuzzy control algorithm

4 喷药系统测试

DSP 处理器将含有杂草密度的数据发送到模糊控制器,查询模糊控制表并进行反模糊化计算后得到不同 PWM 占空比,为得到占空比和喷药流量函数关系,利用 S3C2410 的定时器产生脉宽调制信号,改变 TCNTBn 值来调整脉冲频率,改变 TCMPBn 值调整脉冲宽度,以形成脉宽调制。试验结果表明,当电磁阀频率在 2 ~ 5 Hz 时,流量与占空比近似呈线性关系,即 $Q = \tau Q_{\max}$ 。因此,试验时电磁阀频率应在 2 ~ 5 Hz 间,本试验设定电磁阀频率为 5 Hz。图 8 为占空比和流量关系曲线。

在室内试验台上对喷药系统进行测试,试验采集到的视频流帧速率为 25 帧/s,关键帧采样间隔为 0.2 s。测得 DSP 处理器对一帧图像进行背景分割、二值化、去噪、杂草识别、杂草定位处理共约 0.55 s,电磁阀从接收信号,到喷出药液约 0.05 s。其他影响因素测试结果如表 3 所示。

调节变频器改变电动机转速,传送带运动速度保持为 0.2 m/s。在传送带上固定 50 棵杂草,杂草

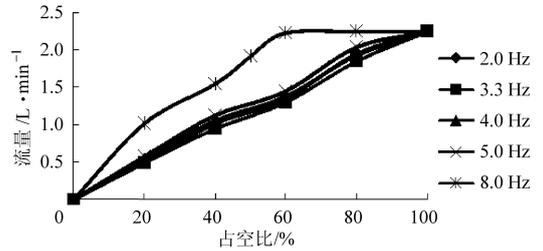


图8 占空比与流量关系曲线

Fig. 8 Relationship between duty ratio and flux

表3 试验测量结果

Tab. 3 Experimental measurement results

参数	数值
摄像头与喷头距离/m	1.2
喷药管路压力/MPa	0.10
喷头开关时间/s	0.2
单个喷头开关一次喷药量/mL	1.24
单个喷头喷药面积/mm ²	133
相邻喷头喷药重叠面积/mm ²	26.5
喷头距传送带高度/cm	20
摄像头距传送带高度/cm	49
采集图像大小/mm	676 × 900
单幅图像划分网格数	4 × 5

平均面积约 4 cm × 4 cm。运行室内喷药系统对杂草进行喷药,试验结果表明杂草对靶喷施率达 90%。

设计了田间除草机器人平台,该平台能实现自主前进及转向。在图 9 所示移动平台上对喷药系统进行了测试,结果表明该系统能满足变量对靶喷药要求,为室外变量对靶喷药除草机器人的研制提供了参考。



图9 除草机器人移动平台

Fig. 9 Mobile platform of weeding robot

5 结论

(1)设计了一种以 S3C2410 处理器为核心,采用模糊控制算法的变量对靶喷药除草系统,实现了自动识别杂草,自动采集车速、采草密度信息,自动调整流量并针对杂草实现对靶喷药功能。

(2)Matlab 下仿真结果表明,利用设计的模糊

控制器能实现喷药量随杂草密度及车速变化实时变化,可实现9级不同喷药量。

计了田间除草机器人平台,运行喷药系统对杂草进行喷药,室内试验测得对靶率为90%。

(3)在室内搭建了模拟棉田环境的试验台,设

参 考 文 献

- 1 Tian L. Development of a sensor-based precision herbicide application system[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002,36(2~3):133~149.
- 2 Astrand B, Baerveldt A J. A vision based row-following system for agricultural field machinery [J]. Mechatronics, 2005, 15(2):251~269.
- 3 Torii T. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25(1~2):133~153.
- 4 Bakker T, Asselt K, Bontsema J, et al. Systematic design of an autonomous platform for robotic weeding [J]. Journal of Terramechanics, 2010, 47(2):63~73.
- 5 Lamm R D, Slaughter D C, Giles D K. Precision weed control system for cotton[J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(1):231~238.
- 6 Sogaard H T, Lund I. Application accuracy of a machine vision-controlled robotic micro-dosing system [J]. Biosystems Engineering, 2007, 96(3):315~322.
- 7 葛玉峰,周宏平,郑加强,等. 基于机器视觉的室内农药自动精确喷雾系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3):86~89.
Ge Yufeng, Zhou Hongping, Zheng Jiaqiang, et al. Indoor pesticide smart spraying system based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3):86~89. (in Chinese)
- 8 陆建,毛罕平,陈树人. 基于 ARM7 的精确对靶喷施除草嵌入式控制系统[J]. 农机化研究, 2009, 31(12):76~79.
Lu Jian, Mao Hanping, Chen Shuren. Embedded weed control system for target precision spraying based on ARM7 [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(12):76~79. (in Chinese)
- 9 邵陆寿,戴之祥,韦韪,等. 植保机械变量施药系统模糊控制器研究与仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(11):3 224~3 226.
Shao Lushou, Dai Zhixiang, Wei Yun, et al. The research and simulation of fuzzy controller based on variable applying pesticide of sprayer [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(11):3 224~3 226. (in Chinese)
- 10 陈勇,郑加强. 精确施药可变量喷雾控制系统研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5):69~72.
Chen Yong, Zheng Jiaqiang. Control system for precision pesticide application based on variable rate technology [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(5):69~72. (in Chinese)

(上接第 178 页)

- 16 FAO. Reference manual, chapter 1-AquaCrop[M]. FAO, 2009.
- 17 王宗明,张柏,宋开山,等. CropSyst 作物模型在松嫩平原典型黑土区的校正和验证[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 47~50.
Wang Zongming, Zhang Bai, Song Kaishan, et al. Calibration and validation of crop model CropSyst in typical black soil zone of Songnen Plain [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5):47~50. (in Chinese)
- 18 李全起,陈雨海,周勋波,等. 不同种植模式麦田水资源利用率及边际效益分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 90~95.
Li Quanqi, Chen Yuhai, Zhou Xunbo, et al. Effects of different planting patterns on water use efficiency and marginal profits of winter wheat [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7):90~95. (in Chinese)