

精确喷施智能除草装置和控制系统设计

摘要

精准农业是目前全球农业科学领域研究的热点，也是未来农业发展的趋势之一。精确施药技术是精准农业的重要组成部分，通过对农药投入的合理分配，最大限度地提高农药的利用率，提高效益；同时降低作物中农药的残留量，提高作物的品质与产量，保证粮食与食品安全，也保护了农业生态环境。

本文对精确喷施智能除草装置和控制系统进行设计，开展一系列的试验和分析，研究解决了技术难点，并在此基础上探索田间精确喷施除草的效果。主要的研究工作包括以下几个方面：

1) 精确喷施智能除草装置设计：根据田间实际作业环境及除草装置的功能要求，对智能除草装置移动平台进行设计，另外，选择合适的泵、流量传感器、电磁阀和喷头来构建喷施系统。

2) 控制系统策略与方案设计：采用 RS-232 串口通讯方式，实现 PC 机与控制器间的实时数据通讯；采用旋转编码器作为速度/位移传感器，实时采集除草装置移动平台的行驶速度；利用模糊控制原理，设计模糊控制器，对电磁阀进行模糊控制，实现农药的精确喷施。

3) 控制系统开发：以 ARM7 为硬件平台，移植了嵌入式操作系统 μ C/OS-II，并对外围接口电路进行设计，利用 C 语言对控制系统进行编程，完成模糊控制器、流量与速度信息采集以及人机界面等功能。

4) 试验研究：根据推算定位原理对定位精度进行标定；测定控制系统的响应时间；对压力与喷施流量的关系、PWM 变量喷施的流量特性进行研究；最后结合试验结果，对精确喷施系统的进一步改进工作提出自己的看法。

研制的精确喷施智能除草装置控制系统主要有以下功能：实现上、下位机的数据通讯，下位机接收视觉识别系统的杂草位置与面积信息，同时向上位机发送触发指令来获取下一幅图片；利用旋转编码器结合推算定位的方法，实现系统的精确定位；根据模糊理论对进行电磁阀控制，实现变量喷施；利用涡轮流量传感器采集系统中的喷施流量，并将结果显示在 LCD 上。

本文的研究为田间精确喷施除草装置的研发提供了理论和实践依据。

关键词：精确喷施；嵌入式；模糊控制；ARM

ABSTRACT

At present, the precision agriculture has been a hot field in the international agricultural scientific research, and the precision chemical is one of the most important components of the precision agriculture. To fall off being extravagant by the reasonableness distribution and to maximum the utilization ratio of pesticide, to reduce cost and improve beneficial result; at the same time to reduce the toxic residual in crop product, raising the quality of the crop product, also protect ecological environment in agriculture.

In the paper, an embedded weed control system for precision spraying based on ARM7 has been developed. A series of experiments and analysis, which cover the main puzzles and technical difficulties, were carried out to predict the feasibility and reliability of system for working in the out-door field. The research mainly concludes several aspects as follows:

1) The design of intelligent weed platform for precise spraying: design the intelligent weed equipment based on the environment of filed. In addition, choosing the suitable device to construct the spraying system.

2) The design of scheme for control system: to realize the communication between the PC and SCM based on RS232, the encoder as speed sensor to get the information of precise position. Using the fuzzy theory to design the fuzzy controller and control the valves to spray the weeds.

3) Design of control system: design the hardware of control system based on ARM7 and μ C/OS- II, using the C to realize the functions of fuzzy controller, interface and so on.

4) Experiments and Study: Using a method of the calculation on position based on encoder, to realize precise position; To get the relay time of control system and the relationship between press and flux, study the variable spraying based on PWM.

The system is composed of weeding platform, ARM7controller, hydrometer, encoder, nozzles and solenoid-valves. Two sets of software were written in VC++ and C respectively to realize the functions as follows: Realizing data exchange between PC and SCM, the SCM receive the spraying information from machine vision, at the same time, sending the instruction to control PC to get new pictures; Using a method of the calculation on position based on encoder, to realize precise position; To control the solenoid-valves based on the theory of fuzzy, and the simulation result of fuzzy controller validate the rules of fuzzy control; Acquiring the data of flux in system by hydrometer, and displaying data on LCD.

The research in the paper will provide valuable experiences both theoretically and practically for the precise spraying weeding system based on machine vision.

Key Words: precise spraying; embedded; fuzzy control; ARM

独创性声明

本人郑重声明：所提交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已注明引用的内容以外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：陆健
日期：2009年6月16日

第一章 绪 论

1.1 引言

中国作为一个农业大国,在过去的几十年间,农业生产发生了巨大的变化,农业生产的科技技术含量有了很大的提高,高新技术在农业生产中得到了广泛的推广和应用。从传统的粗放型作业方式向精确节约型转变,在一定程度上实现了“高产、优质、高效、持续”的农业发展。然而,在我国加入 WTO 之后,我国农业面临着严峻的挑战,与西方国家的农业生产水平还有一些差距。为此,寻求一种依靠科技进步来降低农产品成本与提高质量,以提高在国际市场上的竞争力的农业生产方式已势在必行。

精确农业^{[1][2]} (Precision Agriculture, 缩写为 PA), 或称精细农业, 是大约 20 年前在美国明尼苏达大学的土壤学者倡导下开始探索的环境保护型农业的通称。作为基于信息高科技的集约农业, PA 将 Remote Sensing、Geographic Information System 及 Global Positioning System (简记 RS, GIS, GPS, 即 3S) 等技术与农学、地理学、生态学、土壤学、植物生理学等基础学科有机地结合, 实现在农业生产全过程中对农作物、土地、土壤从宏观到微观的实时监测, 其目的就是同时实现生产率的提高和环境保全型可持续发展。精确变量施药除草技术是精准农业领域内的重要课题, 其核心是获取农田中杂草的位置及杂草的密度信息, 采取精确施药除草, 一方面提高农药有效利用率, 降低农业成本; 另一方面通过适当减少农药用量, 降低环境污染, 改善农业生态环境, 提高农产品的品质, 促进农业生产现代化, 是我国农业科技创新, 面向经济全球化、实现农业持续发展的要求。

1.2 研究的目的和意义

1.2.1 研究的目的

农田中的杂草是农业生产的大敌, 对庄稼的危害很大, 它们直接与庄稼争夺养分, 水分和阳光, 使作物的产量减少, 降低经济作物的效益^[3]。全世界大约有 3000 种杂草, 其中 1800 种可影响作物的收成。根据我国一次农田草害调查研究结果, 我国农

田共有杂草约 580 种, 其中危害严重又难于防除的恶性杂草有 15 种, 还有分布较广而危害较重的主要杂草 31 种。农田草害面积约 4300 万公顷, 其中严重受害面积约 1000 万公顷, 因杂草危害减产 15.4%, 估计每年减产粮食 1750 万吨。

目前, 除草的方法有: 人工除草(手工拔草、锄草等)、机械除草、覆盖除草、热水或蒸汽除草、生物防除和化学除草等。比较这些除草方法, 化学除草还是广泛的被人们接受, 它成为我国田间除草的主要方法。近年来, 我国使用化学除草的面积以每年 3000 万亩递增, 粮食作物由于使用了农药, 每年可以挽回的粮食损失占总产量的 7%。然而, 在看到农药使用带来利益的同时, 使用农药也带来了很大的危害^[4]。

1) 农药对土壤的污染: 施用农药时约有一半药剂洒落在土壤中, 而且在土壤中残留时间很长。特别是有些农药在土壤中的分解产物为苯胺类及其衍生物, 或者有的产生 N-亚硝基化合物。这些分解产物有的是致癌性物质, 有的可能进一步衍生为致癌性物质, 还有的农药本身或其中含有的杂质具有致畸、致突变作用。

2) 农药对大气的污染: 农药微粒和蒸汽散发到空气中, 随风飘移污染大气。进入土壤中的农药, 可能通过气体挥发, 或随水溶在土壤中扩散迁移。洒落在土壤表面的农药经挥发进入大气, 造成了大气的污染。

由于我国施药机械和施药技术的落后, 农药的使用率仅为 20%-40%^[3], 大部分农药都流失到土壤和环境中, 不仅浪费巨大, 而且严重污染生态环境, 所以如何改变施药技术已成为我国精确农业发展中的急待解决的一个重要问题。

1.2.2 研究的意义

针对农药的大量使用给环境带来的污染, 需要开发一个可以减少或消除化学药剂使用量的精确除草系统。本课题研究的田间精确喷药除草系统, 利用机器视觉实时识别杂草技术, 从作物中识别出杂草, 再采用精确对靶喷洒除草药剂的方法来除掉杂草, 达到减少农药使用量的要求, 保护农业生态环境, 促进农业生产现代化和实现农业生产的可持续发展。精确喷施除草系统的开发成功, 可以使农业机械在作业过程中自主行走, 大大提高农业机械的自动化程度, 减少操作人员的操作时间和减轻劳动强度, 从长远角度看, 能够减少农业作业成本, 有利于农业的智能化和自动化。

1.3 国内外的研究现状

1.3.1 国外研究现状

随着机器视觉技术的发展以及其在农业上定位和识别领域的应用,基于机器视觉的除草机器人技术也得到了很大的发展。除草机器人可以代替人类进行除草活动,减轻劳动强度,提高农业设备的自动化和智能化。国外从上个世纪 60 年代就开始了有关除草机器人的研究,而到了 20 世纪 90 年代,除草机器人技术已经得到了广泛的研究^{[5][6][7][8]}。

美国加州大学戴维斯学院 WON SUK LEE 等 1998 年以机器人耕作机为平台,研制出基于机器视觉系统的精确喷药除草机器人^[9],如图 1.1 所示。该系统利用作物叶片的形状学特征结合贝叶斯分离函数,将番茄和杂草识别出来,计算机将杂草的位置信息送到精确施药系统的控制器,然后由控制器控制相应的喷头开启,将农药喷施到目标杂草上,达到除草的目的。1998 年 3 月至 5 月,在位于加利福尼亚北部的番茄田间进行实验,在 1.20KM/h 的行驶速度下,75.8% 的西红柿没有喷上农药,47.6% 的目标杂草喷上农药。



图 1.1 番茄田间除草机器人

美国加州大学戴维斯学院 R.D.Lamm、D.C.Slaughter 和 D.K.Giles 等 2002 年开发了基于耕作机为平台的棉田除草机器人^[10],如图 1.2 所示。该机器人除草系统由视



图 1.2 棉田除草机器人

觉识别系统、喷药系统和位移信息采集系统组成。视觉系统用于获取图片并识别出杂草和棉花,位移信息采集系统控制电磁阀组开启相应的喷头,将农药喷施到目标杂草上,同时向视觉系统发送触发信号,获取下一幅图片。他们在 14 块不同的地块进行实验,在 0.45m/s 的行驶速度下,对靶准确率可以达到 80.9%-96.5%。

西班牙农业研究所 (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Spain) J. Blasco 等 2002 年开发了基于机器视觉的生菜田间除草机器人^[11],如图 1.3 所示。主要有一个六自由度的平行式机械手臂、机器视觉系统和高压电产生模块组成。视觉识别系统识别出杂草后,机械手臂移动到目标杂草上方,高压电产生模块通过机械手臂的末端电极,将杂草杀死。机器人在 0.8m/s 的行驶速度下,可以识别出 84%的杂草和 99%的生菜。机械手臂移动并将杂草杀死大概需要 1 秒的时间。

美国堪萨斯大学(KANSAS State University)NING WANG 等 2002 年设计一个实时嵌入式的麦田杂草识别和喷施系统^[12],如图 1.4 所示。系统基于机器视觉和微处理器网络,微处理器网络间的通信及微处理器与计算机间的通信采用 CAN 总线通信。麦田实验结果显示 80%的杂草可以被识别出来。

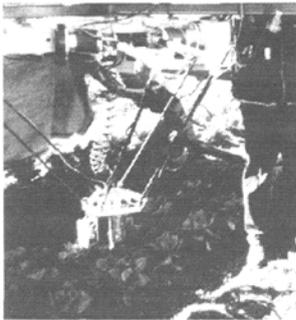


图 1.3 生菜田间除草机器人

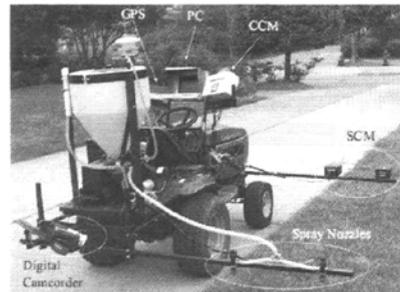


图 1.4 麦田除草机器人

丹麦奥胡斯大学农业研究所 (University of Aarhus, Institute of Agricultural Engineering) Claus G. Sørensen 和 Michael Nørremark 等 2006 年研制成一种能在成熟作

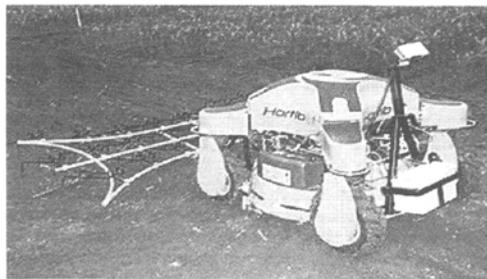


图 1.5 甜菜田间除草机器人

物的田间发现杂草的机器人^[13]，如图 1.5 所示，它的结构特点是，不会对周围环境造成任何危害。机器人程序能使它根据外形来识别有害植物，在丹麦甜菜田里进行的试验结果表明，机器人发现并有选择地消除杂草，可使除草剂用量减少 70%。

2007 年南丹麦大学生物与环境技术学院，他们开发了第二代农田自主移动机器人平台系统^[14]，并在平台上安装机器视觉系统及 GPS 系统，可用于杂草的监测，开发了基于主动形状特征的杂草识别系统和精确微量喷施系统；Gerhards 等 2007 年设计了基于地图信息的除草剂精确喷药系统^[15]，通过对冬小麦、冬大麦、玉米、甜菜地杂草管理的研究发现，运用该技术确实能够减少除草剂的使用量；R.Tangwongkit,V.M.Salokhe 等 2007 年^[16]开发基于机器视觉的甘蔗行间变量喷施除草嵌入式系统，通过不同速度下的测试发现，该系统可以减少至少 20%的农药用量。

1.3.2 国内研究现状

国内的除草机器人研究起步较晚，而且研究的单位和个人也较少，南京林业大学的陈勇等^[17]提出了首先切割杂草，然后再往杂草的切口上涂抹除草剂方法的除草机器人如图 1.7 所示，机器视觉检测出杂草后，利用机械臂进行“直接施药方法”除草，利用“机械”和“化学”除草，大大减少了化学除草剂使量。

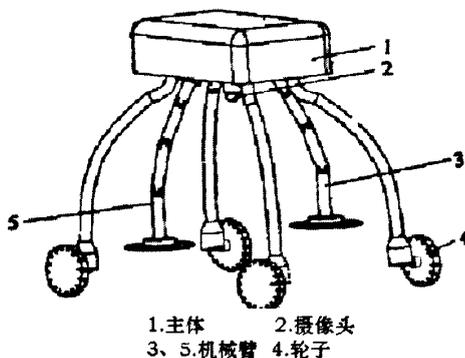


图 1.7 直接抹药除草机器人

1.4 论文研究的主要内容

本文研究的主要内容是精确喷施智能除草装置和控制系统的设计与开发。介绍控制系统中使用的速度/位移传感器、平衡式减压阀、流量传感器和电磁阀，并根据控

制系统的具体要求,对执行模块以及控制软件进行设计和编程,实现精确喷施除草的功能。其主要研究内容如下:

1) 精确喷施智能除草装置设计

首先,根据田间实际作业环境并参照国外除草机器人实例,对智能除草装置移动平台进行设计,用于承载机器视觉识别系统、喷施系统和控制系统;其次,根据喷施系统的具体需要,如喷雾量、工作压力以及系统的响应速度等,选择合适的泵、喷头、流量传感器和电磁阀等来构建喷施系统。

2) 控制系统策略与方案设计

采用 RS-232 串口通讯方式,实现 PC 机与控制器间的实时数据通讯;旋转编码器作为速度/位移传感器,实时采集系统速度并将获取喷头位置信息,利用模糊控制原理,通过模糊规则对杂草面积和系统前进速度进行模糊决策,再根据决策的结果,对电磁阀进行控制,从而实现农药的精确喷施;利用流量传感器,测得系统中的瞬时流量和累计流量,将该信息送给控制器,在 LCD 上实时显示,便于操作人员观察。

3) 控制系统开发

首先,以 ARM7 为硬件平台,对外围接口电路进行设计,包括串口通信模块、传感器信息采集模块、人机界面和电磁阀控制模块;其次,设计模糊控制器,实现对喷施药量的模糊控制;最后,将 μ COS-II 嵌入式操作系统移植到 ARM7 上,并利用 C 语言对系统进行编程,实现系统中流量、速度信息的采集和精确喷施等功能。

4) 试验研究

利用上述精确喷施除草装置,根据推算定位原理对定位精度进行标定;测定控制系统的响应时间以及对压力与喷施流量的关系、PWM 变量喷施的流量特性进行研究;最后结合试验结果,对精确喷施系统的进一步改进工作提出自己的看法。

第二章 精确喷施除草装置总体设计

本章将对精确喷施除草装置总体方案的选择以及架构进行介绍。设计除草装置的移动平台,并根据要求对传感器执行器进行选择。除草装置的总体方案设计以及传感器执行器的性能将直接影响整个精确喷施除草系统的喷施效果,直接关系到系统质量和性能的好坏。

2.1 系统总体方案

精确喷施除草装置利用微处理器接收视觉识别系统传送的杂草信息(杂草面积和位置信息),结合速度传感器采集的速度信息,当喷头组经过杂草上方时,控制相应电磁阀的开启,实现精确喷施除草^[9]。精确喷施除草方案的原理图如图 2.1 所示。

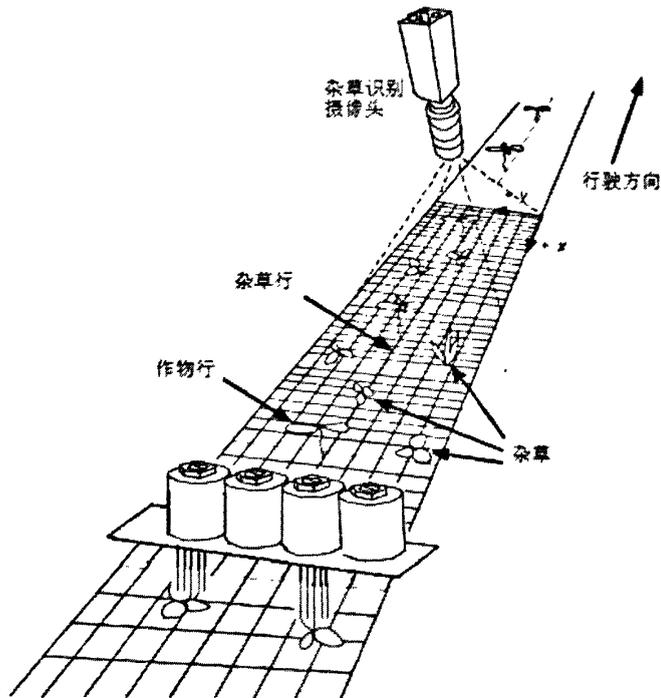


图 2.1 精确喷施除草方案的原理图

根据上述精确喷施除草方案的原理图,对精确喷施除草装置进行总体设计,如图 2.2 所示。主要由用于采集图像的相机、安放上位机(PC 电脑)的电脑箱、喷药泵、

药箱、电磁阀/喷头组、驱动机构和转向机构等组成。

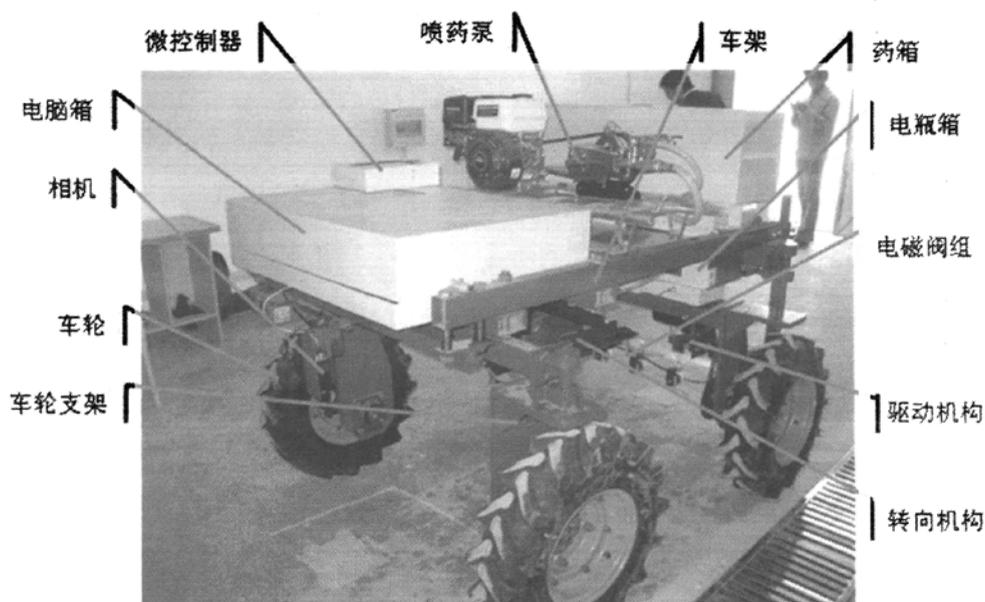


图 2.2 精确除草装置整体结构图

2.2 除草装置移动平台设计

2.2.1 底盘设计

本节将对除草装置移动平台的底盘进行设计,考虑到除草平台将在棉田进行除草作业,结合我国棉花种植的行间距,将左右轮距设计为 1000mm,前后轮距为 1300mm,相机安装架离地高度为 600mm。

根据平台的总体尺寸、结构和智能除草装置中所用设备的外观尺寸和重量对底盘各部件的外观及设备在平台上的布置进行设计。

2.2.1.1 除草装置中所用主要设备

1) 电瓶

整个系统所需的总电能如表 2-1 所示,电瓶必须保证整个除草装置持续工作 4~6 个小时,以使我们足够长的时间对除草装置进行测试和研究,所以,系统需要大约 120Ah~180 Ah 电能。根据上述分析,选用日本汤浅阀控免维护电瓶 NP100-12 12V 100Ah 两只,这两只电瓶可以为系统提供大约 7 个小时的工作时间。电瓶的外型尺

表 2-1 系统所需的总电能

设备	数量	消耗电能(A)
驱动电机	1(台)	20
转向电机	1(台)	4
电脑及附件	1(套)	6
总和		30

寸为 400 x 170 x 230mm (长 x 宽 x 高), 重量为 35kg。

2) 电脑及附件

所选用电脑的外型尺寸为 390 x 350 x 130mm, 重量为 8kg; 显示器为 15 寸液晶显示器, 重量大约 2kg; 为了提供系统所需的 220V 电压, 选用电压逆变器 BJA-M1027 700W, 外型尺寸为 170 x 150 x 90mm, 重量为 1kg。

3) 药箱及喷药机

根据系统喷药量要求及底盘设计尺寸, 对药箱进行设计。药箱的外型尺寸为 1000 x 300 x 300mm, 容积大约为 90L, 总重量为 100kg, 考虑除草剂水溶剂有轻微腐蚀性, 药箱的材质选用不锈钢, 并对内部进行防锈处理。选用喷药机的外型尺寸为 900 x 350 x 350mm, 重量为 20kg。

2.2.1.2 设备布置

根据设备的外型及重量, 将其在底盘上进行布置: 电脑、显示器、逆变器及控制器布置在前部车轮轴上方; 电瓶及药箱布置在后轮轴的前部靠近底盘中心的位置; 喷药机布置在底盘中心位置。根据上述布置, 得到底盘载荷分布如下:

- ◆ 前部轮轴载荷为 35kg
- ◆ 后部轮轴载荷为 165kg

2.2.1.3 前后车轮连接轴设计

在进行前、后车轮连接轴设计时, 考虑到实际田间的地面状况, 当车轮通过较大的障碍物或地面高低不平时, 对平台的平稳性将产生较大的影响, 为了能够尽量消除这些影响, 将前轮连接轴设计成摆动梁形式, 如图 2.3 所示, 其与除草装置平台车架的安装方式如图 2.4 所示。

摆动梁主要由摆动梁体、摆动梁轴和摆动轴承组成，选用 UCP206 带座外球面轴承作为摆动轴承，其工作原理如图 2.5 所示。图中：①为连接法兰，通过螺栓与两前

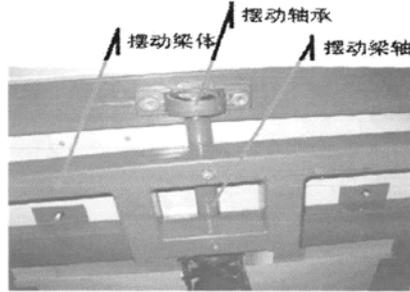


图 2.3 摆动梁机构

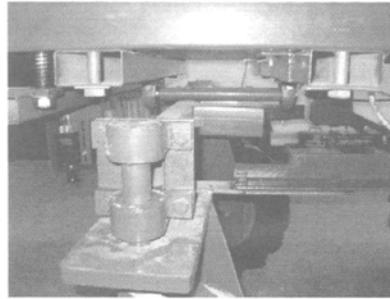


图 2.4 前轮连接轴与车架的安装方式

轮支架相连如图 2.6 所示，②为摆动梁轴，A、B 是车架与后轮连接轴的两个固定连接点，C 为前轮连接轴与车架的连接支点，近似认为是②。当两前轮中有任一个轮子

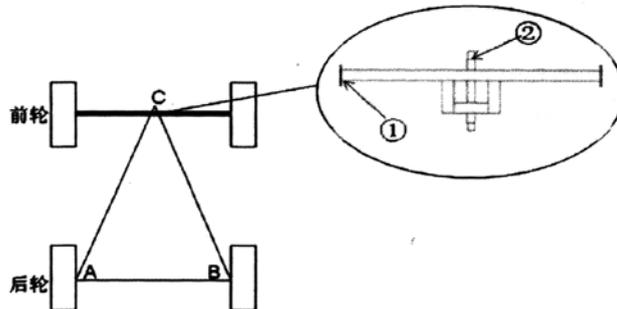


图 2.5 前后轮轴设计原理

经过凸起障碍物或凹坑而两后轮行驶在水平地面的时候，前轮轴会绕着支点 C 做径向摆动，由于 A、B 两点是保持水平的，那么面 ABC 就会保持平衡，即平台车架保持水平，而保证安装在车架上的相机镜头与地面垂直；当前轮越过障碍物，后轮沿着前轮轨迹同样经过凸起障碍物或凹坑时，由于 A、B 是固定连接点，所以车架会发生倾斜，但相机是安装在车架 C 点处，而前后轴距比障碍物高度要大的多，所以后轮

导致的车架倾斜对相机的垂直度影响较小,从而达到尽可能保证镜头与地面垂直的目的。



图 2.6 前车轮支架与车轮连接轴连接安装图

2.2.2 转向机构设计

目前,大部分的轮式车辆采用的都是阿克曼(Ackerman)转向机构,根据阿克曼原理,可将小车两前轮转向角间建立关系式。如图 2.7 所示,其中 C 点为两前轮旋转轴延长线与两后轮轮轴延长线的交点, B 为两前轮转轴间距离, L 为前后轮轴距, B' 为内侧车轮转轴到 C 点的水平距离, α_l 、 α_r 分别为前轮的转角。

$$\cot \angle 3 = B'/L \quad (2-1)$$

$\alpha_l = \angle 1$, 且 $\angle 1 + \angle 2 = \angle 2 + \angle 3 = 90^\circ$, 故

$\alpha_l = \angle 3$, 将其代入 (2-1) 可得

$$\cot \alpha_l = B'/L \quad (2-2)$$

同理可得:

$$\cot \alpha_r = (B + B')/L \quad (2-3)$$

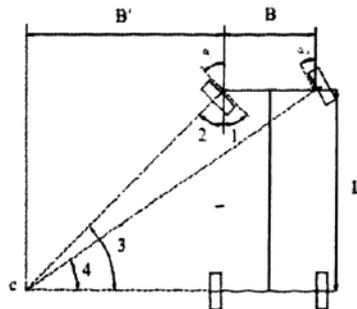


图 2.7 Ackerman 转向原理

将式 (2-3) 与 (2-2) 相减得

$$\cot \alpha_1 - \cot \alpha_2 = B/L \quad (2-4)$$

式 (2-4) 即为两前轮转向角间关系式。

除草装置上所用的转向机构就是基于阿克曼原理设计的中心拨杆式梯形转向机构, 保证除草装置平台在低速转向行进中能沿单一的转向中心做旋转运动, 如图 2.8



图 2.8 转向机构

所示。梯形转向机构梯形臂长 500mm, 连杆长 750mm, 拨杆长 350mm。转向电机采用美国 BODINE 公司的 24V 直流减速电机, 功率为 80W。转向电机带动拨杆在一定角度范围内摆动, 梯形机构在拨杆的作用下使车轮转动一定角度, 完成转向功能。

2.2.3 驱动机构设计

除草装置移动平台, 采用直流减速电机以链传动的形式驱动平台行走, 减速电机的具体参数见表 2-2。

表 2-2 减速电机参数

厂商	电压	功率	比率	转速
美国 BODINE	DC24V	350W	20: 1	70rpm

在驱动链的松边增加惰轮: 一方面张紧链条, 保证平稳传动; 另一方面连接编码器, 如图 2.9 所示。

2.2.4 喷施系统设计

喷施系统包括 S3C44B0X 嵌入式控制器、传统喷药机具、流量传感器、变量喷药

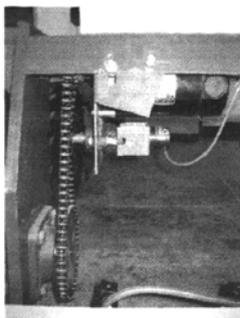


图 2.9 驱动机构

执行器及电源模块等几部分组成。

- ◆ 嵌入式控制器：嵌入式控制器是整个精确对靶变量喷施除草控制系统的核心，它根据机器识别系统的提供的杂草信息和来自位置/速度传感器的定位信息结合分析，提供最终的喷施方案。
- ◆ 喷药机具：喷药机具为喷施除草系统提供具有一定压力及浓度的农药。喷药机有四路进出接口，分别为进药口、回流口和两路带开关球阀的出药口。如图 2.10 所示。

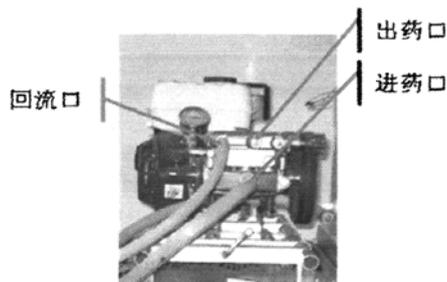


图 2.10 喷药机具

- ◆ 流量传感器：实时测量系统的流量，并将信息传给控制器。
- ◆ 变量喷施的执行装置：变量喷施的执行装置（包括 4 组电磁阀/喷头）是精确对靶变量喷施的执行机构，如图 2.11 所示。

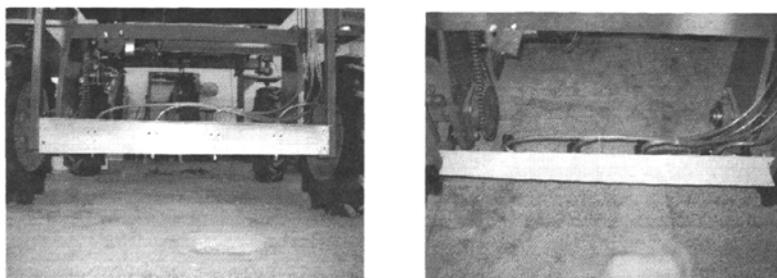


图 2.11 喷施系统的执行装置

喷施控制系统的整体设计框图如图 2.12 所示。

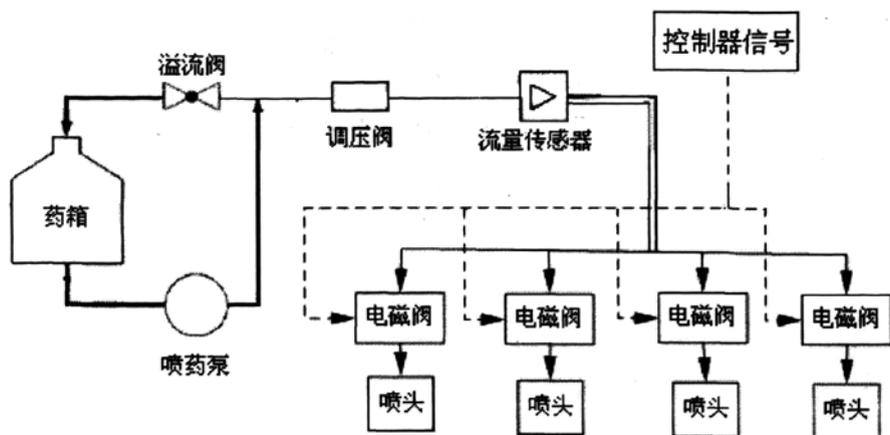


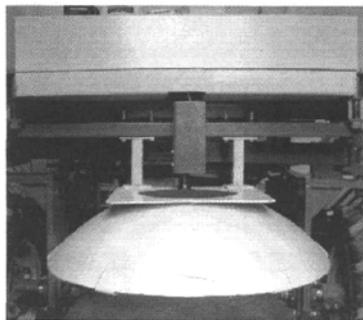
图 2.12 喷施系统的整体设计框图

2.2.5 视觉系统机械结构部分介绍

视觉系统机械结构部分主要包括电脑箱、相机安装架和光源罩等。电脑箱用来保护电脑主机和显示器；相机安装架设计时，要考虑相机高度的可调性；光源罩的设计是为了弥补外界光线不均匀或亮度不够给图像采集带来的影响。具体机构如图 2.13 所示。



(a) 相机安装架



(b) 电脑箱与光源罩

图 2.13 视觉系统机械机构部分

2.3 系统的影响因素

2.3.1 压力的影响

压力对施药量的影响主要体现在压力对喷嘴流量的影响，对于已选定的喷嘴型

号，压力和流量之间的关系表达式为：

$$\frac{q_2}{q_1} = \sqrt{\frac{p_1}{p_2}} \quad (2-5)$$

式中：

q_1 — 压力为 p_1 时的流量；

q_2 — 压力为 p_2 时的流量；

由式(2-5)可得：

$$p_1 q_1^2 = p_2 q_2^2 \quad (2-6)$$

如果 $p_2 q_2^2$ 设为常数的话，可知 q_1 就与 p_1 成反比例关系，所以当压力有变化，流量也将随之变化。另外，压力变化对喷流角度也有影响。表 2-3 为所选用的上海守望者喷雾公司的 H/G 系列喷嘴的流量及喷流角度与压力的关系。

表 2-3 喷嘴流量及喷流角度与压力的关系

	压力 (bar)									
	0.5	0.7	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	10
流量(L/min)	0.87	0.90	1.0	1.1	1.5	2.0	2.4	3.1	3.3	3.9
角度	52°				65°			59°		

2.3.2 速度的影响

除草装置的行驶速度是精确喷施除草系统精度影响的较大因素之一。考虑到控制系统中执行器的响应时间，为了能使农药精确喷施到目标杂草上，因此要将整个控制系统的执行时间（即从控制器发出指令到执行器动作的延迟时间）与除草装置的行驶速度结合，用来决定相应喷嘴开启的时刻。另外，速度对喷施药量也有一定的影响，电磁阀在某一开度下，平台行驶速度快，则单位面积的喷施药量就少，相反的话，单位面积喷施药量就相对多一些。除草装置的最大行使速度为 1.2Km/h，决定选择旋转编码器作为除草平台的位移和速度传感器。光电编码器是利用光栅衍射原理实现位移和数字的变换，其结构简单、计量精度高、寿命长，在精密定位、速度、长度等方面得到广泛的应用。

2.4 控制系统方案的选择及组成

自动控制系统是本除草系统的关键组成部分,控制系统能否根据杂草识别系统的处理结果实现精确喷施,将直接影响整个系统的性能。自动控制系统的精准度、响应时间是变量控制系统的主要技术指标^[18]。

可变量技术又是整个控制系统的重要组成部分,它是在处理了大量信息的基础上决策后得到的执行。它包括基于地图的可变量技术和基于传感器的可变量技术。基于传感器的可变量技术,可以对实时喷药量与其对应的位置被记录下来,人们可以根据记录下来的数据进行分析,得到实时喷施的效果,方便以后对控制系统参数的优化。所以,系统采用基于视觉传感器的可变量喷施系统。

本控制系统在控制方案确定的时候,根据变量原理考虑了两种控制方式:基于压力变化的变量喷施控制方式和脉冲电控变量喷药控制方式。

1) 基于压力变化的变量喷施控制方式

基于压力变化的变量喷施控制系统主要是采用实时调节供液管路的压力以实现变量施药,系统示意图如图 2.14 所示。

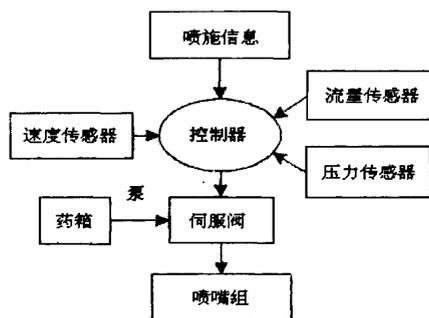


图 2.14 基于压力变化的变量喷施系统示意图

该系统机构简单且响应速度很快,几乎能在响应新的流量信号的同时使喷嘴流量得到调整,但由于改变施药系统的喷药压力的同时还改变了雾滴的尺寸和分布图形,由此会影响喷雾的质量。

2) 基于脉冲电控的变量喷施控制方式

基于脉冲电控的变量喷施控制系统主要是通过调节脉冲宽度(PWM),控制一个周期内喷嘴开启与关闭时间比值(占空比),从而改变一个周期内喷嘴的流量。在保持喷药压力恒定的条件下,由于脉冲宽度的调节范围比较大,所以喷嘴流量的调节范围也相应较大。

其系统示意图如图 2.15 所示。

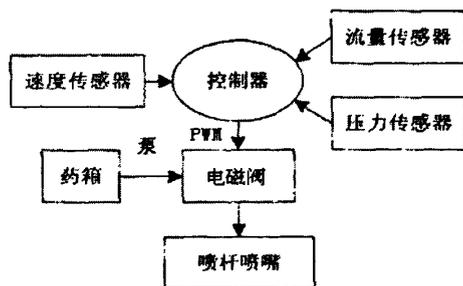


图 2.15 基于脉冲电控的变量喷施系统示意图

以冲量相等而形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时其效果基本相同，以此结论为理论基础，出现 PWM 控制技术。PWM 技术对半导体开关器件的导通和关断进行控制，使输出端得到一系列幅值相等而宽度不等的脉冲，按一定的规则对各脉冲的宽度进行调制，从而控制一个周期内喷嘴开启与关闭时间比值，实现变量喷施。

一般情况下认为在脉宽调制技术控制下高速开关阀的平均流量 Q 与脉冲信号的占空比 τ 成正比。即

$$Q = \tau \times Q_{\max} \quad (2-7)$$

式中：

$$\tau \text{ — 脉冲信号占空比, } \tau = \frac{t_p}{t_f}$$

t_f — 脉冲信号周期；

t_p — 脉宽；

Q_{\max} — 阀的最大流量；

$$Q_{\max} = C \Delta p^2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2-8)$$

式中：

C — 流量系数；

ΔP — 阀的流通截面积；

Δp — 阀的上下游压力差；

ρ — 流体密度。

根据系统的实际要求和影响因素,系统决定选用基于脉冲电控的变量喷施控制方案,由驱动电路结合 PWM 技术根据除草平台的速度和田间杂草分布状况及面积控制电磁阀的开启时刻及开启时间与关闭时间比值,以满足精确对靶变量喷施系统调节喷药量和开启时刻,准确地将农药喷施到目标杂草上。

为了进一步提高控制系统的实时性、可靠性和安全性,采用 ARM7 微控制器,并移植嵌入式实时系统 μ C/OS-II。

2.5 传感器的选择

在精确喷施除草控制系统中,由于系统的喷药时刻和喷药量与很多参数有关,所以该控制系统涉及到很多传感器,它们选择的好坏与精度将直接影响整个系统的精度及稳定性。其中包括用来测量行使速度/位移的旋转编码器、用来测定系统流量的流量传感器等。下面就设计中用到的传感器做一个简单的论述。

2.5.1 速度/位移传感器

速度/位移传感器在系统中担任着采集除草装置的行驶速度信息和位移信息的重要任务,它的精确度和可靠性的高低,将直接影响系统能否正常工作。本系统根据需选用旋转编码器进行精确对靶变量喷施除草系统行使速度的测量。使用的是欧姆龙 E6B2 旋转编码器,如图 2.16 所示,接线方式见表 2-4。

表 2-4 旋转编码器接线说明

线色	端子名
褐	电源(+Vcc)
黑	输出 A 相
白	输出 B 相
橙	输出 Z 相
蓝	0V (COMMON)

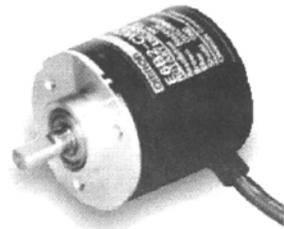


图 2.16 旋转编码器

利用旋转编码器测量平台行驶距离时,就是通过传动机构将直线位移转换成旋转编码器的旋转角度,而旋转编码器每旋转一圈就会输出一定数目的脉冲(本文选用的欧姆龙 E6B2 旋转编码器每转输出 2000 个脉冲)。

设当平台向前行驶时,旋转编码器正转,此时 A 相超前 B 相 90 度(即 1/4 周期);当平台后退时,旋转编码器反转, A 相落后 B 相 90 度,如图 2.17 所示。

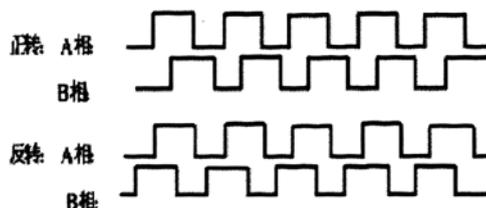


图 2.17 旋转编码器输出波形

2.5.2 流量传感器

流量传感器用来采集喷施除草系统的药液流量,流量传感器的准确度和可靠性的高低,也将是决定系统的成败的重要因素之一。选用的是 LWGY-06 型涡轮流量传感器。如图 2.18 所示。

主要技术参数:

流量范围: $0.04\text{m}^3/\text{h} \sim 0.25\text{m}^3/\text{h}$

常规耐受压力: 6.3MPa

供电电源: 外供电 24VDC

输出信号: 4 ~ 20mA 输出 (两线制)

准确度: $\pm 0.5\%$

介质温度: $-20^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$



图 2.18 涡轮流量传感器

工作原理: 涡轮流量传感器中的涡轮在流体流动作用下会产生旋转,由于叶轮的叶片与流向有一定的角度,流体的冲力使叶片具有转动力矩,克服摩擦力矩和流体阻力之后叶片旋转,在力矩平衡后转速稳定,在一定的条件下,转速与流速成正比,由于叶片有导磁性,它处于信号检测器(由永久磁钢和线圈组成)的磁场中,旋转的叶片切割磁力线,周期性的改变着线圈的磁通量,从而使线圈两端感应出电信号。

2.6 执行设备及调压阀的选择

2.6.1 电磁阀

电磁阀作为执行开关,控制喷施除草系统药液的通断,并结合 PWM 技术实现变

量控制。所以电磁阀要具有控制精度较高及响应速度快等特点，本系统选用的 IVY79A 直动活塞式电磁阀，它在真空、负压、零压时能正常工作，阀芯为聚四氟乙烯，耐腐蚀性强，领先的四氟活塞结构，最高耐压 0.6MPa。如图 2.19 所示。原理：通电时，电磁阀的电磁线圈产生电磁力将阀芯向上提起，阀门打开；断电时，电磁力消失，电磁阀芯在弹簧的作用下复位，阀门关闭。

主要技术参数：

最高切换频率：10Hz

额定电压：DC24V

公称压力：6bar

公称通径：6mm

控制方式：常闭

最大流量：8L/min



图 2.19 直动活塞式电磁阀

2.6.2 平衡减压阀

平衡减压阀作为喷施系统的保护装置，防止系统过压，造成器件的损坏。同时，它还可以在线宽范围调节系统的压力，有助于分析系统在不同压力下的性能。安装平衡减压阀后还可以降低管道内的噪声。选用 HoneyWell D06 型平衡减压阀，如图 2.20 所示。

主要技术参数：

入口压力：最大 25bar

出口压力：1.5bar~6bar

最小压降：1.0bar

流量：最大 2.4 m³/h

工作介质：压缩的水或轻微腐蚀液体

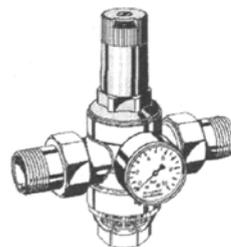


图 2.20 平衡减压阀

利用减压阀内的减压阀门弹簧和横隔膜的力平衡原理，如果作用在横隔膜上的力下降，那么阀门弹簧的较强力量导致阀门打开，出口压力增加，直到横隔膜上的力与弹簧弹力再一次相等。同时，入口压力的波动并不影响出口压力的变化，保证出口压力的平稳性。

2.7 系统的功能框图

控制系统是基于机器视觉识别系统的精确喷施除草系统，整个控制系统处于自动工作模式。控制系统的功能框图如图 2.21 所示。

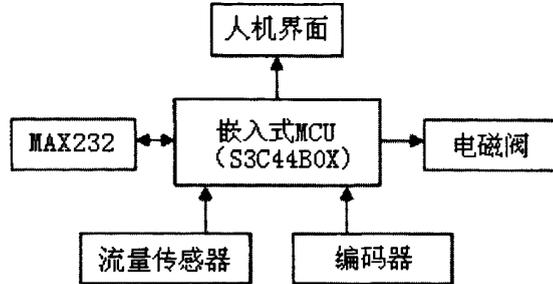


图 2.21 控制系统的功能框图

在系统工作过程中，嵌入式微控制器 S3C44B0X 首先接收视觉识别系统传来的田间杂草信息，将其存储在 SDRAM 中，并且在液晶屏上实时显示杂草的位置；同时将编码器中的位置信息读入 S3C44B0X 中，结合杂草位置信息及面积信息，利用模糊控制技术开启相应喷头及开度大小，最终实现变量喷施农药。

2.8 小结

本章主要根据精确喷施除草系统的影响因素，对精确喷施除草系统的整体方案进行选择，结合系统的具体要求和实际的工作环境，对除草装置平台进行设计和选择合适的执行器和传感器，并分别对传感器和执行器的工作原理、主要特点和技术参数进行介绍。

第三章 模糊控制器及硬件系统设计

本章将按照精确喷施除草装置的功能要求和精度指标，根据控制系统的输入、输出变量对模糊控制器及系统硬件部分进行设计。硬件部分设计主要包括：ARM 的硬件基本构成模块设计、速度/位移传感器的信号处理模块设计、流量传感器的信号处理模块设计、喷施流量控制的 PWM 输出模块设计、人机交互模块以及串口通信模块设计等。

3.1 模糊控制器的设计及仿真

3.1.1 模糊控制的基本原理与特点

模糊控制是以模糊集合论作为它的数学基础，它的诞生是以美国加利福尼亚大学著名教授查德（L.A.Zadeh）1965 年提出模糊集理论为标记的。模糊控制理论经历了 40 多年的研究与发展，已经形成了较完善的理论体系，模糊控制系统的设计方法也日趋规范和成熟。模糊控制是以模糊集合论和模糊语言变量为基础结合模糊推理，基于控制对象的物理特性来实现智能控制^{[20][21]}。

模糊控制的基本原理如图 3.1 所示。模糊控制器是模糊控制系统的核心，它通常包括输入量的模糊化接口、数据库、规则库、模糊推理机和输出量解模糊接口等五个部分。模糊控制器的控制规律主要是由程序来实现的，其控制的基本思想是：控制器

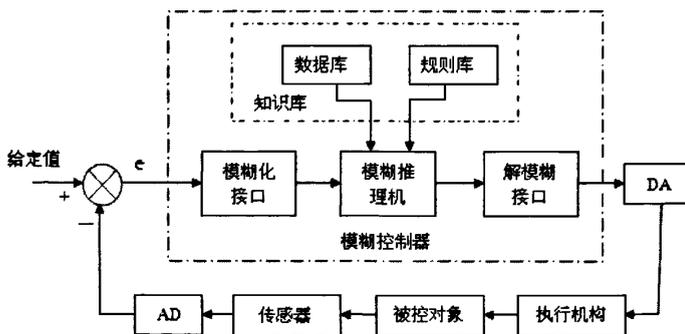


图 3.1 模糊控制原理图

定时采样传感器采集的控制量的精确值，然后与给定值比较，得到两者的偏差 e ，将偏差 e 作为模糊控制器的一个输入量，模糊化后得到偏差 e 的模糊量，用相应的模糊

语言表示, 模糊语言表示出的集合就是偏差 e 的模糊语言集合的一个子集, 再由模糊子集和模糊控制规则(模糊关系) 根据模糊推理的合成规则进行模糊决策, 得到模糊控制量为:

$$u = e \circ R \quad (3-1)$$

式中:

u — 一个模糊量;

R — 模糊关系。

为了对被控对象施加精确的控制, 还需要将模糊量 u 转换为精确量, 转换的过程称为解模糊或反模糊(清晰化), 得到了精确的数字控制量后, 经数模转换变为精确的模拟量送给执行机构, 对被控对象进行控制。

模糊控制器的设计主要有以下几个基本要求:

1) 模糊控制器的结构选择。所谓结构选择就是确定模糊控制器的输入输出变量, 模糊控制器的结构对整个模糊控制系统的性能有很大的影响, 因此必须根据被控对象的特性与要求来合理选择。

2) 模糊规则的选取。模糊控制器是模拟人类控制特征的一种语言型控制器, 它在某种程度上体现了人类的思维方式。但客观的控制世界中并没有现成的控制规则, 它需要设计者根据控制器的结构, 从大量的观察和实验数据中, 或从专家知识与熟练操作人员的语言中提取, 经去伪存真、去粗取精的过程, 形成一系列有模糊条件语言描述的语言控制规则。

3) 确定模糊控制器的模糊化方法。模糊化处理, 即将模糊控制器输入量的确定值转换为相应模糊语言变量值的过程, 此相应语言变量值均由对应的隶属度来定义, 通过把输入变量映射到合适的相应论域量程的过程, 精确的输入数据就变换成适当的语言值或模糊集合的标识符。

4) 模糊推理方法选择。推理过程是根据输入量(模糊量)及模糊控制规则, 按照模糊推理合成规则推理计算输出控制量(模糊量), 一般采用 **IF A THEN B** 形式的条件语句来描述。推理的方法主要有: (1) **Zadeh** 推理法; (2) **Mamdani** 推理法, 适合于实时控制; (3) **Baldwin** 推理法。

5) 解模糊方法选择。这个过程是将模糊推理得到的控制量(模糊量)计算精确的输出控制量, 并作用于执行机构。解模糊方法有:

A. 重心法: 它取推理结论模糊集合隶属函数曲线与横坐标轴所围成面积

的重心作为代表点，即

$$\mu = \frac{\int X \mu_N(X) dx}{\int \mu_N(X) dx} \quad (3-2)$$

式中：

μ — 输出模糊量的隶属度值；

x — 输出模糊量论域中的元素；

$\mu_{N(x)}$ — 对应元素 x 的隶属度值。

当输出变量的隶属函数为离散单点集时则为：

$$\mu = \frac{\sum X_i \mu_N(X_i)}{\sum \mu_N(X_i)} \quad (3-3)$$

式中：

μ — 输出模糊量的隶属度值；

x_i — 输出模糊量论域中的元素；

$\mu_{N(x_i)}$ — 对应元素 x_i 的隶属度值。

B. 最大隶属度法：指在推理结论的模糊集合中选取隶属度最大的元素作为精确控制量的方法，设存在模糊集 C ，所选择的隶属度最大的元素 μ^k 应满足：

$$U_c(\mu^k) \geq U_c(\mu) \quad (3-4)$$

C. 系数加权平均法：指输出量模糊集合中各元素进行加权平均后的输出值作为输出执行量，比较适合于输出模糊集的隶属度函数是对称的情况，其值为：

$$\mu = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_{c_j}(x_j) x_j}{\sum_{j=1}^n \mu_{c_j}(x_j)} \quad (3-5)$$

式中， x_j 和 $\mu_{c_j}(x_j)$ 分别表示各对称隶属度函数的质心和隶属度函数值。

3.1.2 模糊控制器的设计

模糊控制器是模糊控制系统的核心，一个模糊控制系统的性能优劣，主要取决于模糊控制器的结构、模糊规则、合成推理算法以及模糊决策等因素。由图 3.1 模糊控制原理图可知，模糊控制器主要有四部分组成^[22]：

- ◆ 模糊化接口 模糊控制器的输入必须通过模糊化才能适用于模糊控制器的求解, 因此模糊化接口实际上就是模糊控制器的输入接口, 它的主要作用是将确定的输入量转换成一个模糊量。
- ◆ 知识库 知识库主要包括数据库和规则库, 作用是为模糊控制器在进行模糊化和解模糊化的时候提供相关领域的必要数据以及存放模糊控制规则。
- ◆ 模糊推理机 它是根据模糊控制系统的模糊量输入, 由模糊控制规则完成模糊推理来求解模糊关系方程, 并获得模糊控制量的功能部分。
- ◆ 解模糊接口 模糊推理的结果为模糊量, 一般不能直接用于控制, 而需要将其转换成可以被执行结构接受的精确量, 这一过程就是解模糊。

通过对变量喷施除草问题的研究, 本文采用两输入-单输出的二维模糊控制器结构形式, 经分析, 模糊控制器的输入变量确定为以下两个: 杂草的面积 M 和平台的行驶速度 V ; 而输出变量确定为喷药量 D 。

为了简化运算提高系统动态相应速度, 将影响较小的车速 V 划分为三个模糊子集, 即快(V_k)、中(V_z)、和慢(V_M); 密度等级的论域为 $[0, 1]$, 密度(M)划分为六个模糊子集, 即零(M_z)、很小(M_{vs})、小(M_s)、中(M_M)、大(M_B)、很大(M_{vB}), 所以将论域划分为 11 个点; 喷药量划分为四个模糊子集, 即零(D_z)、小(D_s)、中(D_M)、大(D_B)。将以上各个输入输出模糊子集进行量化, 它们的量化等级分别为: $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 、 $\{0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0\}$ 、 $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ 。各输入输出隶属度函数均为正态分布, 其隶属度函数曲线如图 3.2 所示。

根据专家经验, 可以得到如下 9 条模糊控制规则。

- 1) if $M = M_z$ and $V = V_M$ or V_z or V_k then $D = D_z$
- 2) if $M = M_{vs}$ and $V = V_M$ or V_z then $D = D_s$
- 3) if $M = M_{vs}$ and $V = V_k$ then $D = D_M$
- 4) if $M = M_s$ and $V = V_M$ then $D = D_s$
- 5) if $M = M_s$ and $V = V_z$ or V_k then $D = D_M$

- 6) if $M=M_M$ and $V=V_M$ then $D=D_S$
- 7) if $M=M_M$ and $V=V_z$ or V_k then $D=D_B$
- 8) if $M=M_B$ and $V=V_M$ or V_z then $D=D_M$
- 9) if $M=M_B$ and $V=V_k$ then $D=D_B$
- 10) if $M=M_{VB}$ and $V=V_M$ then $D=D_M$
- 11) if $M=M_{VB}$ and $V=V_z$ or V_k then $D=D_B$

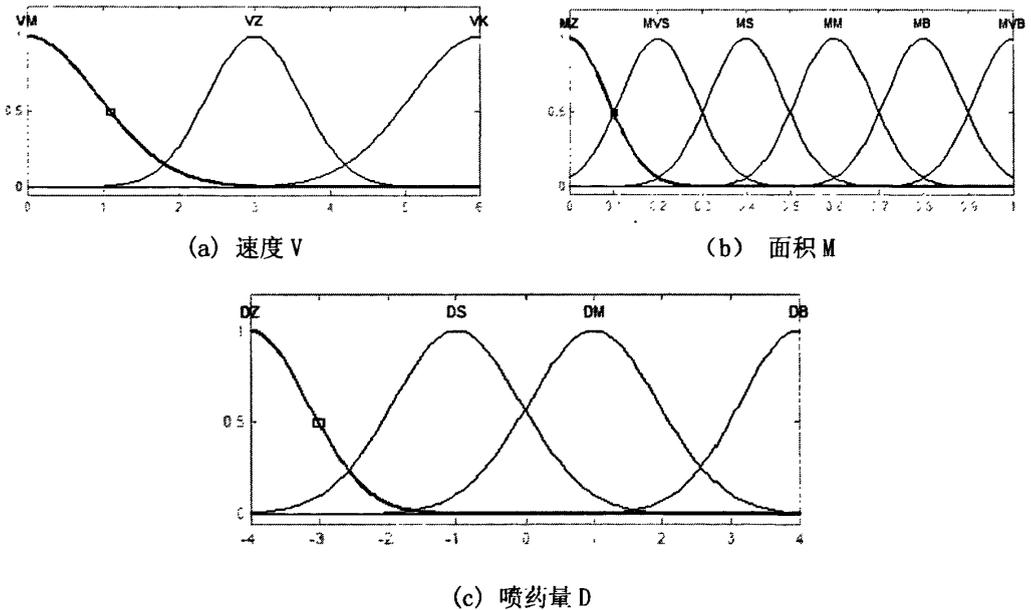


图 3.2 隶属度函数曲线

采用 Mandani 推理法, 确定模糊关系, 然后由合成推理方法求解输出控制量模糊值。上列的 11 条规则见表 3-1, 其中, R_ℓ 为模糊关系 ($\ell = 1, 2, \dots, 11$), A、B 为输入模糊子集, C 为输出模糊子集。

(1) 确定模糊关系 $R_\ell = R_{A_\ell} \cap R_{B_\ell}$ ($\ell = 1, 2, \dots, 11$) 如下:

$$R_1 = (A_1 \times C_1) \cap \left(\bigcup_{j=1}^3 B_j \times C_1 \right) = R_{A1} \times R_{B1}$$

$$R_2 = (A_2 \times C_2) \cap ((B_1 \cup B_2) \times C_2) = R_{A2} \cap R_{B2}$$

表 3-1 模糊规则表

D C ₁ M A ₁ V B ₁	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
	MZ	MVS	MS	MM	MB	MVB	
B ₁ : VM	DZ C ₁ R ₁	DS C ₂ R ₄			DS C ₂ R ₅		DM C ₃ R ₁₁
B ₁ : VZ		R ₂	R ₃		DB C ₄ R ₇	R ₈	DB C ₄ R ₁₀
B ₁ : VK		DM C ₃ R ₉	R ₆		R ₈	R ₉	R ₁₁

$$R_3 = (A_2 \times C_3) \cap (B_3 \times C_3) = R_{A_3} \cap R_{B_3}$$

$$R_4 = (A_3 \times C_2) \cap (B_1 \times C_2) = R_{A_4} \cap R_{B_4}$$

$$R_5 = (A_3 \times C_3) \cap ((B_2 \cup B_3) \times C_3) = R_{A_5} \cap R_{B_5}$$

$$R_6 = (A_4 \times C_2) \cap (B_1 \times C_2) = R_{A_6} \cap R_{B_6}$$

$$R_7 = (A_4 \times C_4) \cap ((B_2 \cup B_3) \times C_4) = R_{A_7} \cap R_{B_7}$$

$$R_8 = (A_5 \times C_5) \cap ((B_1 \cup B_2) \times C_5) = R_{A_8} \cap R_{B_8}$$

$$R_9 = (A_5 \times C_4) \cap (B_3 \times C_4) = R_{A_9} \cap R_{B_9}$$

$$R_{10} = (A_6 \times C_5) \cap (B_1 \times C_5) = R_{A_{10}} \cap R_{B_{10}}$$

$$R_{11} = (A_6 \times C_4) \cap ((B_2 \cup B_3) \times C_4) = R_{A_{11}} \cap R_{B_{11}}$$

$$\text{总的模糊关系: } R = \bigcup_{t=1}^{11} R_t = \bigcup_{t=1}^{11} (R_{A_t} \cap R_{B_t}) = \left(\bigcup_{t=1}^{11} R_{A_t} \right) \left(\bigcup_{t=1}^{11} R_{B_t} \right)$$

为了方便计算模糊关系 R, 先将图 3.2 给出的模糊集隶属度函数以矢量的形式表示出来, 列成表 3-2~3-4。

模糊控制器的输出控制量:

$$U = (M \times V) \circ R$$

最后得到模糊控制表, 如表 3-5 所示。

表 3-2 输入模糊集合 V 的隶属度函数

$\mu_A(x)$ 等级 V	0	1	2	3	4	5	6
V_Z	1.0	0.6	0.1	0	0	0	0
V_M	0	0.1	0.6	1.0	0.6	0.1	0
V_K	0	0	0	0	0.1	0.6	1.0

表 3-3 输入模糊集合 M 的隶属度值

$\mu_B(y)$ 等级 M	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$M_Z A_1$	1.0	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
$M_{VS} A_2$	0.1	0.5	1.0	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0
$M_S A_3$	0	0	0.1	0.5	1.0	0.5	0.1	0	0	0	0
$M_{MM} A_4$	0	0	0	0	0.1	0.5	1.0	0.5	0.1	0	0
$M_B A_5$	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1.0	0.5	0.1
$M_{VB} A_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1.0

表 3-4 输出模糊集合 D 的隶属度值

$\mu_C(z)$ 等级 D	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
D_Z	1.0	0.65	0.35	0	0	0	0	0	0
D_S	0.1	0.35	0.65	0.95	0.5	0.15	0	0	0
D_M	0	0	0	0.15	0.5	0.95	0.65	0.35	0.1
D_B	0	0	0	0	0	0	0.35	0.65	1.0

表 3-5 模糊控制表

V \ D \ M	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	-4	-2.5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
1	-3.6	-2	-1	-1	-1	0	-1	-1	1.5	1	1
2	-3.5	-2.1	-1	0	0	1	0	1.8	3.3	3.3	3.3
3	-4	-1.8	-1	0	1	1	1	2	4	3.5	4
4	-3.6	-1.5	0	0	1	1	1	1.8	3.3	3.3	3.3
5	-3.4	-0.4	1	1	1	1.8	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
6	-4	-0.4	1	1	1	2	4	3.5	4	3.5	4

3.1.3 模糊控制器的仿真

为了验证模糊控制器的控制效果，我们利用 Simulink 中的模糊逻辑工具箱建立精确喷施除草系统模糊模型并对其进行仿真，Simulink 中的仿真模型如图 3.3 所示。采用正弦信号作为目标杂草的系统输入，经过采样保持器后，作为模糊输入量与速度

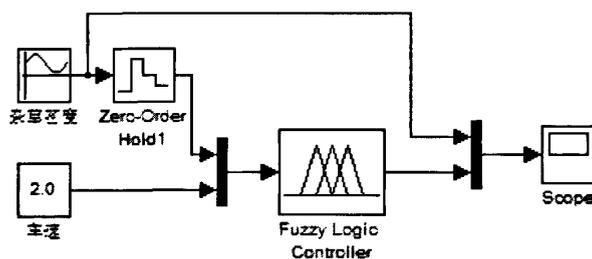


图 3.3 模糊控制仿真模型图

信号一起被送到模糊控制器中，最后经过仿真得到了杂草面积与施药量的关系如图 3.4 所示。

根据图 3.4 我们可以看出，在车速为 0.2m/s 的情况下，当杂草面积发生变化时，精确喷施系统的施药量也发生变化，变化的规律符合专家经验，结果表明控制系统能够满足喷施除草系统的需要。

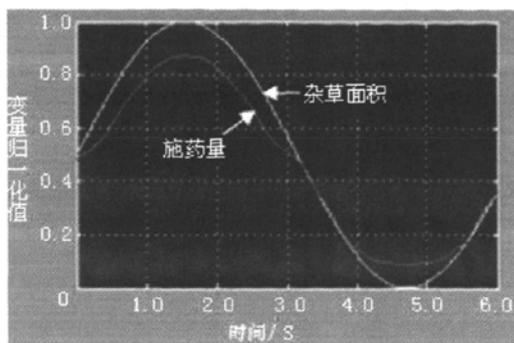


图 3.4 模糊控制仿真结果图

3.2 ARM 的硬件基本构成模块

3.2.1 ARM 简介

ARM 是 Advanced RISC Machines 的缩写，既可以认为是一个公司的名字，也可以认为是对一类微处理器的通称，还可以认为是一种技术的名字^[19]。

1991 年 ARM 公司成立于英国剑桥，主要出售 ARM 技术知识产权 (Intelligence Patent, 简称 IP)。ARM 公司设计的芯核具有功耗低、成本低等显著优点，因此获得了众多半导体厂家和整机厂商的大力支持，目前设计和生产 ARM 的国际大公司已经超过 50 家；国内，中兴通讯和华为通讯等公司也已经购买 ARM 公司的芯核，用于通讯专用芯片的设计。此外，ARM 芯片还获得了许多实时操作系统供应商的支持，比较有名的有：Windows CE、 μ C/OS-II、Linux、pSOS、VxWorks 等。目前，采用 ARM 的 IP 核的微处理器，即通常所说的 ARM 微处理器，已广泛应用于工业控制、消费电子产品、通信系统、网络系统、无线系统等各个领域。基于 ARM 技术的微处理器约占据了 32 位 RISC 微处理器 75% 以上的市场份额。

目前流行的 ARM 芯核有 ARM7TDMI, StrongARM, ARM720T, ARM9TDM ARM922T, ARM940T, ARM946T, ARM966T, ARM10TDMI 等。

3.2.2 基于 ARM 的硬件设计

基于 ARM 的硬件平台设计主要包括：接口、存储器及外设、人机交互接口等方面的内容。嵌入式硬件平台体系结构如图 3.5 所示。

S3C44B0X 是由 Samsung 公司推出的一款 16/32 位精简指令集 RISC 处理器，它

专为手持设备及一般类型应用提供了高性价比和高性能的微控制器解决方案。S3C44B0X 的杰出特性是它的 CPU 内核,它采用了 ARM7TDMI 核,0.25 μ m 的 CMOS 标准宏单元和存储编译器。

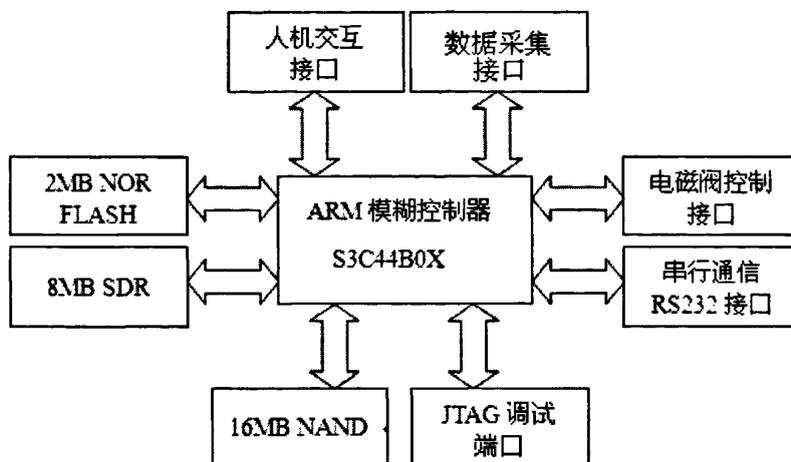


图 3.5 嵌入式硬件平台体系结构图

为了降低成本, S3C44B0X 提供了全面的、通用的片上外设,大大减少了系统电路中除处理器以外的元器件配置,从而最小化系统成本。下面是 S3C44B0X 所提供的各片上功能^[19]:

- ◆ 2.5V ARM7TDMI 内核, 带有 8K 高速缓存器 (SAMBA II 总线体系结构, 工作频率为 66MHz);
- ◆ 外部存储器控制器 (FP/EDO/SDRAM 控制, 片选逻辑);
- ◆ LCD 控制器 (最大支持 256 色 STN, LCD 具有专用 DMA);
- ◆ 2 通道通用 DMA, 2 通道外设 DMA 并具有外部请求引脚;
- ◆ 2 通道 UART, 带有握手协议;
- ◆ 1 通道多主 IIC-BUS 控制器;
- ◆ 1 通道多主 IIS-BUS 控制器;
- ◆ 5 个 PWM 控制器和 1 个内部控制器;
- ◆ 看门狗定时器;
- ◆ 71 个通用 I/O 口/8 通道外部中断源;
- ◆ 8 通道 10 位 ADC;
- ◆ 具有日历功能的 RTC;

3.3 与 PC 串口通信模块设计

该模块实现控制器（下位机）与 PC 机（上位机）之间的数据通信，把视觉识别系统采集并处理后得到的杂草信息传送给控制器，同时控制器向 PC 机发送触发采集信号和一些有关喷施系统的参数与数据。

PC 机的 COM 口采用的是 RS232 电平，而 S3C44B0X 的串行口输入输出的为 TTL 电平，所以两者之间要进行电平转换，本系统中采用 MAX232 芯片。其串口连接电路如图 3.6 所示。

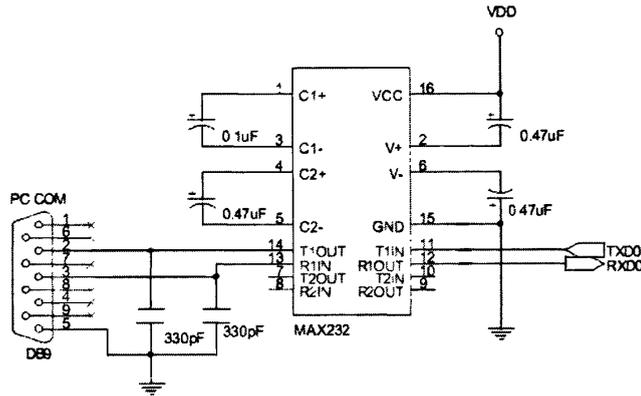


图 3.6 串口连接电路图

3.4 传感器信息读取模块设计

3.4.1 速度/位移传感器信息读取模块设计

在精确对靶变量喷施除草系统中，需要实时采集移动平台的速度信息和相对目标杂草的位置信息，根据速度和位置信息来决定喷头的开启时刻及频率大小。本系统中采用光电旋转编码器根据计数一定时间内脉冲的个数来测量速度和相对目标的位置信息。由于旋转编码器输出的是脉冲信号，故可采用计数器来接收，而 S3C44B0X 本身没有外部脉冲计数器，所以需要在已有的硬件资源基础上扩展外围计数电路。另外，考虑平台将在田间行驶作业，地面的不平整对计数有很大的影响，结合以上情况，设计光电编码器抗干扰计数电路^[23]，如图 3.7 所示。

旋转编码器的 A 相和 \bar{A} (A 相经 74LS04 取反) 分别接在两个单稳态触发器 74LS123 的 A 引脚上，74LS123 的输出端 Q 和旋转编码器的 B 相信号进行相与运算后通过

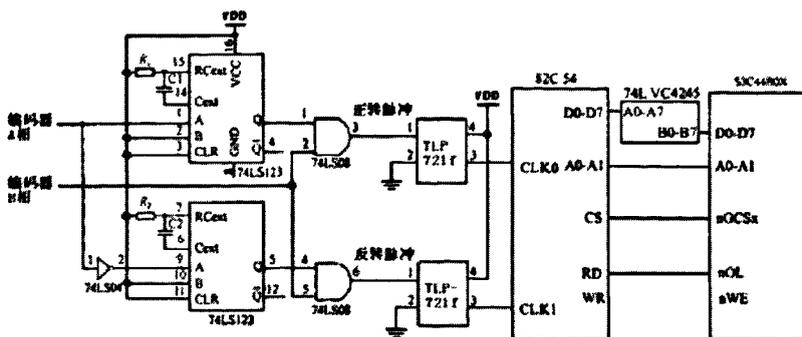


图 3.7 光电编码器抗干扰计数电路

TLP721f 接 82C54 的 CLK0 和 CLK1, 由 82C54 负责对 CLK0 和 CLK1 分别进行计数。

3.4.2 流量传感器信息读取模块设计

精确喷施除草系统在工作过程中, 为了便于人们观察当前系统的药液流量, 需要实时采集系统的流量信息, 并实时显示瞬时流量及累计流量。

系统中使用的涡轮流量传感器输出标准 4~20mA 的电流环信号, 在进行 A/D 转换之前, 需要将其转换成相应的电压信号, 因为 S3C44B0X 的 ADC 输入满刻度电压为 2.5V, 故系统选用 ISO EM-A4-P1-O10 电流/电压信号隔离转换器, 将电流信号转换成 0-2.5V 电压信号。使用 S3C44B0X 芯片自带一个 8 路 10 位 A/D 转换器, 因为其不具备采样保持器, 所以支持的最大转换率为 100K, 非线性度为正负 1 位, A/D 转换器的参考正电压和参考负电压已经在芯片内部分别接电源和地了, 但其 AREFT、AREFB 和 AVCOM 引脚必须外接 100nF 的电容以避免干扰, 如图 3.8 所示。转换好的电压信号通过 AIN 引脚进行采集, 经过软件得到流量信息。S3C44B0X 与流量传感器的接口电路图如图 3.9 所示。

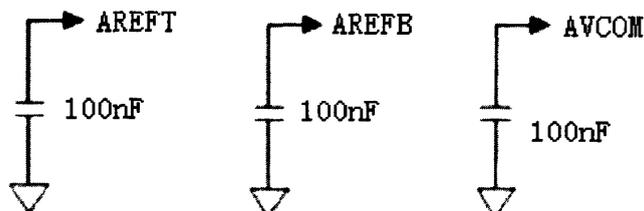


图 3.8 ADC 参考电压抗干扰电路

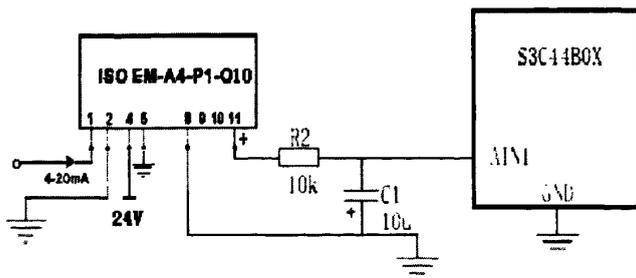


图 3.9 S3C44B0X 与流量传感器的接口电路图

3.5 控制信号输出模块设计

控制信号主要是由 S3C44B0X 输出，分别控制四个电磁阀的开闭频率，并通过调节 PWM 的脉冲宽度，实现对喷施系统中每个喷嘴流量大小的控制。其驱动电路如图 3.10 所示。

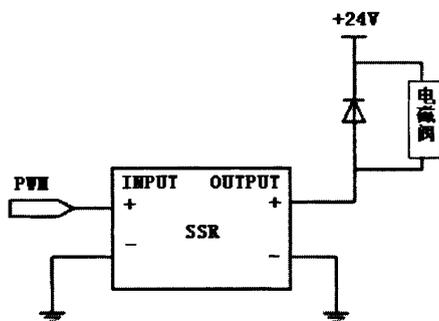


图 3.10 电磁阀驱动电路

其中 SSR 为固态继电器，与电磁阀并联的是续流二极管 IN5819。当 S3C44B0X 输出 PWM 信号，SSR 在高电平时导通，电磁阀通电；在低电平时截止，电磁阀断电，并通过续流二极管 IN5819 快速消耗掉反向电动势，使电磁阀迅速闭合。

3.6 人机交互接口模块设计

3.6.1 LCD 接口设计

S3C44B0X 有内置的 LCD 控制器，它的作用是将显示缓存（在系统存储器中）的 LCD 数据传输到外部 LCD 驱动器，并产生必须的 LCD 控制信号。LCD 控制器逻辑框图如图 3.11 所示。

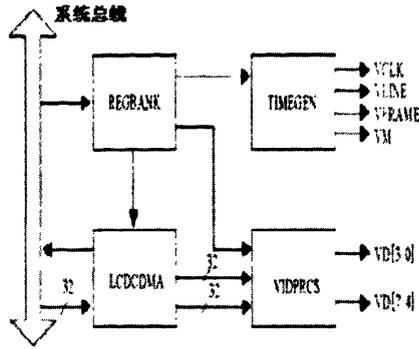


图 3.11 LCD 控制器逻辑框图

LCD 控制器提供以下外部接口信号：

VFRAME: LCD 控制器与驱动器之间的帧同步信号。

VLINE: LCD 控制器与驱动器间的同步脉冲信号。

VCLK: LCD 控制器与驱动器间的像素时钟信号。

VM: LCD 驱动器所使用的交流信号。

VD[3:0]: LCD 像素数据输出端口。

VD[4:7]: LCD 像素数据输出端口。

控制系统中所用到的 LCD 是由 SHARP 公司生产的 8 寸 TFT 显示器，具有 640 × 480 个像素点，使用的是 LZ9FC21 显示控制模块。S3C44B0X 的 LCD 控制器与 LZ9FC21 的接口如图 3.12 所示。在 LZ9FC21 与 LCD 控制器之间接线时，LZ9FC21 的 FRM、LOAD、CP、D[7:0] 分别和 LCD 控制器的 VFRAME、VLINE、VCLK、VD[4:7] 相连。DISP 引脚与 S3C44B0X 的 GPIO 的 GPC15 相连，通过 GPC15 来控制 LCD 显示模块的打开和关闭。

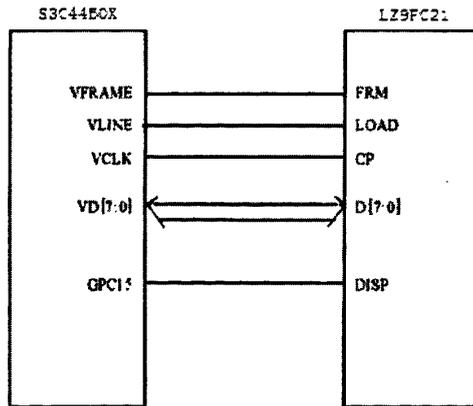


图 3.12 LCD 控制器与 LZ9FC21 接线图

3.6.2 触摸屏接口设计

触摸屏采用的是 4 线电阻式触摸屏，使用的转换芯片是 ADS7843，它是一款具有同步串行接口的 12 位取样模数转换器。在 125kHz 速率和 2.7V 电压下的功耗为 $750\mu\text{W}$ 。ADS7843 与 S3C44B0X 的连接图如图 3.13 所示。

X+、Y+、X-、Y- 为转换器 ADS7843 的 4 个模拟输入端，分别接触摸屏的 4 个输出，DCLK 为外部脉冲输入端，DIN 为串行数据输入端（控制信号由此输入到 ADS 控制器中），DOUT 为转换结果串行数据输出端，它们分别接 S3C44B0X 的 GPC3、GPC2、GPC1、GPC0。片选信号为低电平有效，将其接地，PENIRQ 中断引脚，

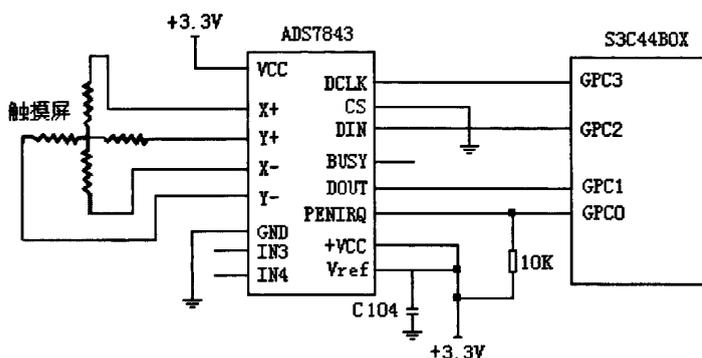


图 3.13 ADS7843 与 S3C44B0X 的连接图

可用于在触摸显示屏后引发一个中断。

3.7 小结

硬件系统设计是本文的重点之一，本章对控制系统硬件部分的设计与实现进行详细的介绍。其中，主要包括与 PC 机通信模块、测速传感器信号读取模块、流量传感器信号读取模块和人机交互接口并给出相应的接口电路图。根据模糊控制理论，对模糊控制器进行设计，并使用 Simulink 中的模糊逻辑工具箱建立精确喷施除草系统模糊模型并对其进行仿真，仿真结果表明其模糊控制规则符合专家经验。

第四章 控制器软件系统设计

对于一个完整的嵌入式系统来说,如果硬件是整个控制系统的骨架,那么软件则是它的灵魂,两者的完美结合,才会使应用系统出色的完成工作。应用系统的程序设计是嵌入式系统设计中一个非常重要的部分,它质量的好坏将直接影响这个应用系统功能的实现。

本章根据硬件设计和系统的整体要求,结合实时嵌入式系统 μ C/OS-II的内核,在ADS1.2集成开发环境中设计相应的软件,实现了精确喷施除草的目的。软件部分主要包括实时嵌入式系统 μ C/OS-II在SC344BOX上的移植、控制器与PC机间的串口通讯、传感器信号采集以及人机界面等。

4.1 ADS1.2 集成开发环境介绍

ADS集成开发环境是ARM公司推出的ARM核微控制器集成开发工具,英文全称为ARM Developer Suite。ADS1.2支持ARM10之前的所有ARM系列微控制器,支持软件调试及JTAG硬件仿真调试,支持汇编、C、C++源程序,具有编译效率高、系统库功能强等特点,可以在Windows XP、Windows2000以及Linux上运行。

1) ADS1.2 集成开发环境的组成

ADS1.2主要有5个部分组成,如表4-1所示。

表 4-1 ADS1.2 的组成部分

名称	描述	使用方式
代码生成工具	ARM 汇编器	由 CodeWarrior IDE 调用
	ARM 的 C、C++编译器	
	Thumb 的 C、C++编译器	
集成开发环境	CodeWarrior IDE	工程管理, 编译连接
调试器	AXD	仿真调试
ARM 开发包	一些底层的例程,	一些实用程序由 CodeWarrior
	实用程序(如 fromELF)	IDE 调用
ARM 应用库	C、C++函数库等	用户程序使用

2) CodeWarrior IDE 简介

ADS 1.2 使用了 CodeWarrior IDE 集成开发环境，它是一套完整的集成开发工具，充分发挥了 ARM RISC 的优势，使开发人员能够很好地应用尖端的片上系统技术。它可以加速或简化嵌入式开发过程的每一个环节，使得开发人员只需通过一个集成软件开发环境就能研发出 ARM 产品。CodeWarrior IDE 集成开发环境为管理和开发项目提供了简单多样化的图形用户界面，并集成了 ARM 汇编器、ARM 的 C/C++ 编译器、Thumb 的 C/C++ 编译器、ARM 连接器，包含工程管理器、代码生成接口、语法敏感(对关键字以不同颜色显示)编辑器、源文件和类浏览器等。CodeWarrior IDE 的主窗口如图 4.1 所示。

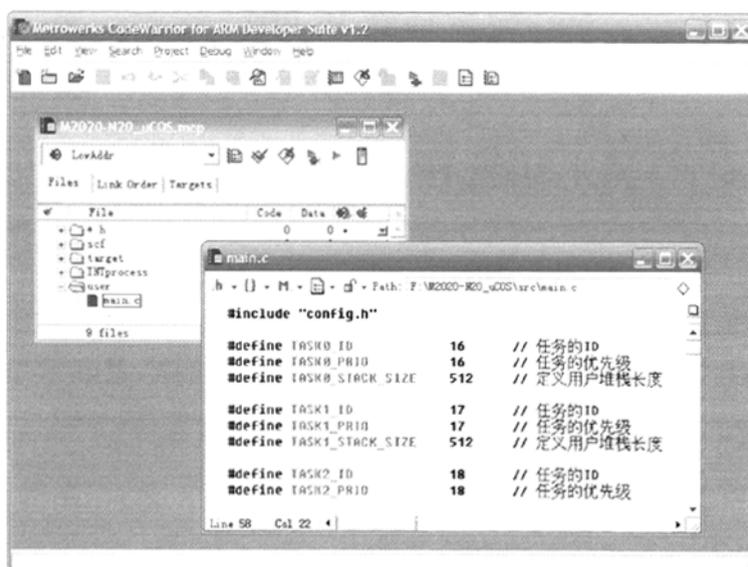


图 4.1 CodeWarrior IDE 开发环境

3) ADX 调试器简介

AXD 调试器为 ARM 扩展调试器（即 ARM eXtended Debugger），包括 ADW/ADU 的所有特性，支持硬件仿真和软件仿真(ARMulator)。AXD 能够装载映像文件到目标内存，具有单步、全速和断点等调试功能，可以观察变量、寄存器和内存的数据等。

4.2 嵌入式操作系统介绍

4.2.1 μ C/OS-II 的简介

μ C/OS-II 读做“Micro COS2”，是一个源代码公开的实时嵌入式内核。 μ C/OS-II 的使用对象为嵌入式系统，并且可以很容易的移植到不同构架的微处理器上，其基于抢占式的实时多任务内核可固化、可剪裁、具有高稳定性和可靠性，便于移植和维护。自 1992 年问世以来， μ C/OS-II 已成功地应用于各种系统，这些实践有力的证明了它的内核的实用性及无误性^[24]。

嵌入式操作系统 μ C/OS 是由美国人 Jean J.Labrosse 编写的一个源代码公开 RTOS， μ C/OS-II 是它的升级版本。下面简单介绍一下它的主要特点：

- ◆ 公开源代码 源代码清晰易读且注释详细，结构协调，组织有序。
- ◆ 可移植性 绝大部分 μ C/OS-II 的源代码是用移植性很强的 ANSI C 编写的，与微处理器硬件相关的那部分是采用汇编语言写的，而且已经压缩到了最低程度。
- ◆ 可裁剪性 用户可以根据自己的寄存器空间的大小和实际需要，只保留 μ C/OS-II 中应用程序需要的那些系统服务，这样可以大大减少产品中 μ C/OS-II 所需要的存储器空间。
- ◆ 稳定性和可靠性高 μ C/OS-II 的应用实践证明了其较高的稳定性和可靠性，且抗干扰能力强。

4.2.2 μ C/OS-II 的内核结构与系统调用

内核负责管理各个任务，或者说为每个任务分配 CPU 时间，并且负责任务之间的通讯。内核提供的基本服务是任务切换，管理系统资源，处理异常和控制任务。 μ C/OS-II 中的系统调用包括任务管理、时间管理、任务间的通信与同步以及内存管理等。

1) 任务与任务管理

一个任务，也称作一个线程，是一个简单的程序，该程序可以认为 CPU 完全只属于该程序自己。实时应用程序的设计过程，就是将实际问题分割成若干个任务，每个任务被赋予一定的优先级，有自己的一套 CPU 寄存器和自己的栈空间。一般来说，

每个任务都是一个无限的循环。

任务管理包括建立任务、删除任务、改变任务优先级、挂起任务和恢复任务，以及获得任务的相关信息等。 μ C/OS-II 可以管理多达 64 个任务，用户可以使用的有 56 个任务（系统保留了四个最高优先级和四个最低优先级的任务供自己使用）。任务的优先级越高，代表优先级的值就越小。

2) 任务切换与调度

[1] 就绪表

每个任务被赋予不同的优先级等级，从 0 到最低优先级 OS_LOWEST_PRIO，包括 0 和 OS_LOWEST_PRIO 在内。当 μ C/OS-II 初始化的时候，最低优先级 OS_LOWEST_PRIO 总是被赋给空闲任务 idle task。

每个就绪的任务都放在就绪表中，就绪表中有两个变量 OSRdyGrp 和 OSRdyTbl[]。在 OSRdyGrp 中，任务按优先级分组，8 个任务为一组。OSRdyGrp 中的每一位表示 8 组任务中每一组中是否有进入就绪态的任务。任务进入就绪态时，就绪表 OSRdyTbl[] 中的相应元素的相应位也置为 1。

使一个任务进入就绪状态，实时内核采用如下算法：

```
OSRdyGrp|=OSMapTbl[prio>>3];
OSRdyTbl[prio>>3]=OSMapTbl[prio&0x07];
```

要找出就绪态中优先级最高的任务，实时内核可以采用如下算法：

```
y=OSUnMapTbl[OSRdyGrp];
x=OSUnMapTbl[OSRdyTbl[y]];
prio=(y<<3)+x;
```

利用这个值，查任务控制块优先级表 OSTCBPrioTbl[]，得到指向相应任务的任务控制块 OS_TCB 的工作就完成了。

[2] 任务调度与切换

μ C/OS-II 总是运行进入就绪态任务中优先级最高的那一个。确定哪个任务的优先级最高、接下来该哪个任务运行的工作是由调度器(Scheduler)来完成任务级的调度由函数 OSSched() 完成，中断级的调度由另一个函数 OSIntExt() 完成。

为了实现任务切换，OSTCBHighRdy 必须指向优先级最高的任务控制块 OS_TCB。这是通过将以 OSPrioHighRdy 为下标的 OSTCBPrioTbl[] 数组中的元素赋给 OSTCBHighRdy 来实现的。接着，统计计数器 OSCtxSwCtr 加 1，以跟踪任务切换次

数。最后，使用宏调用 `OS_TASK_SW()`，完成实际上的任务切换。

3) 任务间的通信与同步

有时还需要任务间或中断服务与任务间的通讯，这种信息传递称为任务间的通信。任务间的信息传递有两条途径：一是通过全程变量，二是发消息给另一个任务。

用全程变量时，必须保证每一个任务或中断服务程序独享该变量。中断服务中保证独享的唯一办法是关中断，也可以是使用信号量。任务只能通过全程变量与中断服务程序通讯，而任务并不知道什么时候全程变量被中断服务程序修改了，除非中断程序以信号量方式向任务发信号或者是该任务以查询方式不断的周期性查询变量的值。要避免这种情况的发生，可以使用邮箱或消息队列。

4) 时钟节拍与时钟管理

时钟节拍是特定的周期中断，这个中断可以看作是系统心脏的脉动。中断之间的时间间隔取决与不同的应用，一般在 10ms 到 200ms 之间。时钟的节拍式中断，使得内核可以将任务延时若干个时钟节拍，以及当任务等待事件发生时，提供等待超时的依据。各种实时内核都有将任务延时若干个时钟节拍的功能。然而这并不意味着延时精度是一个时钟节拍，只是在每个时钟中断到来时对任务延时做一次裁决而已。时钟节拍率越高，系统的额外负荷就越重，时钟节拍的频率取决于应用程序的精度。与时钟节拍有关的系统调用有时钟节拍函数 `OSTimeTick()` 和任务延时函数 `OSTimeDly()` 等。

μ C/OS-II 的时钟节拍服务是通过在中断服务子程序中调用系统函数 `OSTimeTick()` 来实现的。

5) 中断与中断处理

中断是一种硬件机制，用于通知 CPU 有异步事件发生。中断一旦被识别，CPU 将保存部分(或全部)现场(Context)即部分或全部寄存器的值，跳转到专门的子程序(称为中断服务子程序，简称 ISR)运行。中断服务子程序进行时间处理，处理完成后，程序回到：

- ◆ 在前后台系统中，程序回到后台程序；
- ◆ 对不可剥夺内核而言，程序回到被中断了的任务；
- ◆ 对可剥夺内核而言，让进入就绪态的优先级最高的任务开始运行。

中断使得 CPU 可以在时间发生时才予以处理，而不必让微处理器连续不断地查询(Polling)是否有事件发生。通过两条特殊指令：关中断(Disable interrupt)和开中

断(Enable interrupt)可以让处理器不响应或响应中断。在实时环境中,关中断的时间应尽量地短,因为关中断会影响中断延迟时间,关中断的时间太长可能会导致中断丢失。大多数处理器都允许中断嵌套。

在 μ C/OS-II中,与中断有关的系统调用包括中断进入函数OSIntEnter(),中断退出函数OSIntExit()以及中断切换函数OSIntCtxSw()等。中断进入函数OSIntEnter()告知内核用户在做中断服务,然后才能开始服务于其他申请中断的设备或程序。而中断退出函数OSIntExit()则标志着中断服务子程序的结束。

4.3 嵌入式系统 μ C/OS-II在ARM7上的移植

第三章已经提到绝大部分 μ C/OS-II的源代码都是用移植性很强的ANSI C编写的,方便了 μ C/OS-II在不同微处理器上的移植。所谓移植就是使一个操作系统在某个微处理器平台上或微控制器上运行^{[25][26][27]}。

4.3.1 移植条件

要移植 μ C/OS-II到微处理器上,需要满足以下条件:

- (1) 处理器的C编译器能产生可重入代码。

可重入代码指的是一段代码可以被多个任务调用,而不必担心其数据会遭到破坏。也就是说可重入型代码在任何时候都可以被中断执行,过一段时间以后又可以继续执行,而不会因为代码中断的时候被其他任务重新调用,使代码中的数据丢失。 μ C/OS-II中的函数可能被多任务调用,代码的可重入性保证了多任务的顺利进行,保护数据的完整性。

- (2) 用C语言可打开和关闭中断。

在 μ C/OS-II中定义了两个宏(macro)来关闭或者打开中断,它们分别是:OS_ENTER_CRITICAL()和OS_EXIT_CRITICAL()。ARM7处理器内核包含一个CPSR寄存器,该寄存器包括一个全局的中断禁止位,控制它便可打开或关闭中断。

- (3) 处理器支持中断并且能产生定时中断。

μ C/OS-II是通过处理器产生的定时器中断来实现多个任务之间的调度,ARM7TDMI的处理器都支持中断并能产生定时器中断。

- (4) 处理器支持能够容纳一定量数据的硬件堆栈。

(5) 处理器有将堆栈指针和其他 CPU 寄存器读出和存储到堆栈的指令。

4.3.2 移植步骤

由 μ C/OS-II 的文件系统 (如图 4.3) 可知, 在移植过程中, 用户所需要关注的就是与处理器相关的代码。这部分包括一个头文件 `OS_CPU.H`、一个汇编文件 `OS_CPU_A.ASM` 和一个 C 代码文件 `OS_CPU_C.C`。

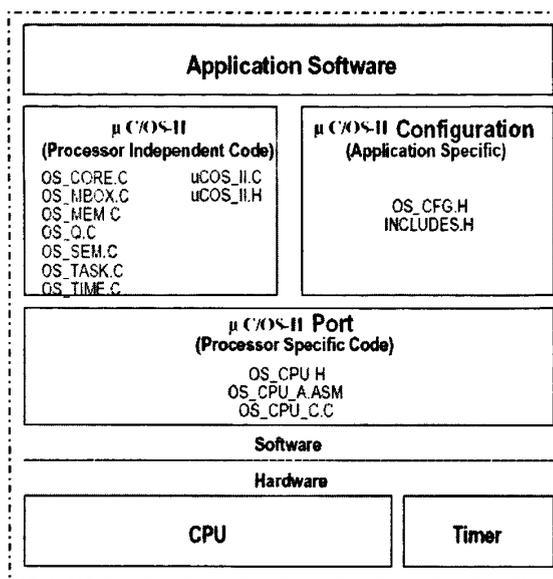


图 4.3 μ C/OS-II 的文件系统图

1) 设置 `OS_CPU.H` 头文件中与处理器和编译器相关的代码

所有与处理器和编译器相关的基本配置和定义全部集中在 `OS_CPU.H` 头文件中, 主要包括以下几个方面的内容:

- ◆ 与编译器相关的数据类型定义
- ◆ 打开和关闭中断函数的设置
- ◆ 定义堆栈增长方向
- ◆ 任务切换的执行代码

2) 在 `OS_CPU_A.ASM` 文件中用汇编语言编写 4 个与处理器相关的函数

μ C/OS-II 移植过程中需要用户编写四个简单的汇编语言函数:

- ◆ `OSStartHighRdy()` 运行优先级最高的就绪任务
- ◆ `OSCtxSw()` 任务级的任务切换函数
- ◆ `OSIntCtxSw()` 中断级的任务切换函数

◆ OSTickISR()中断服务函数

3) 在 OS_CPU_C.C 文件中编写六个简单的 C 语言函数

μ C/OS-II 移植要求用户编写六个 C 语言函数:

OSTaskStkInit()

OSTaskCreateHook()

OSTaskDelHook()

OSTaskSwHook()

OSTaskStatHook()

OSTimeTickHook()

其中只有 OSTaskStkInit()是必须编写的, 其他的只需要声明可以没有代码。

```
OS_STK *OSTaskStkInit(void (*task)(void *pd), void *pdata, OS_STK *ptos, INT16U opt)
{
    unsigned int *stk;
    opt = opt;
    stk = (unsigned int *)ptos;
    *--stk = (unsigned int) task; /* pc */
    *--stk = (unsigned int) task; /* lr */
    *--stk = 0; /* r12 */
    *--stk = 0; /* r11 */
    *--stk = 0; /* r10 */
    *--stk = 0; /* r9 */
    *--stk = 0; /* r8 */
    *--stk = 0; /* r7 */
    *--stk = 0; /* r6 */
    *--stk = 0; /* r5 */
    *--stk = 0; /* r4 */
    *--stk = 0; /* r3 */
    *--stk = 0; /* r2 */
    *--stk = 0; /* r1 */
    *--stk = (unsigned int) pdata; /* r0 */
    *--stk = (SVC32MODE|0x0);
    return ((void *)stk);
}
```

4.4 功能模块的软件设计

4.4.1 与 PC 机间的串口通信模块程序设计

该模块实现控制器(下位机)与 PC 机(上位机)之间的数据通信, 把视觉识别系统采集并处理后得到的杂草信息传送给控制器, 同时控制器向 PC 机发送图片获取

触发信号。

下位机采用中断方式接收和发送数据。SC344BOX 配置的 UART 单元提供两个独立的异步串行 I/O 口，每一个 UART 通道包含了两个 16bit 的分别用于接受和发送信号的 FIFO 通道。控制系统中只用到了 UART0，并且它是通用 I/O 口 GPE 的第二功能，所以在使用前要对 PE 口进行功能寄存器设置：

rPCONE=0x02568; rPUPE=0x1F7;

然后再按照通讯协议的具体要求，对 UART 进行初始化设置。下位机串口通讯程序的流程图如图 4.4、4.5 所示。

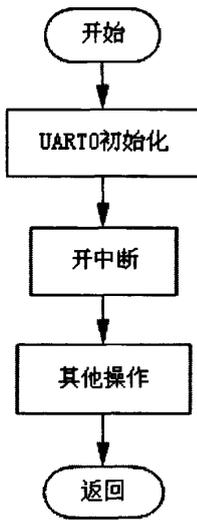


图 4.4 下位机串口通讯主程序

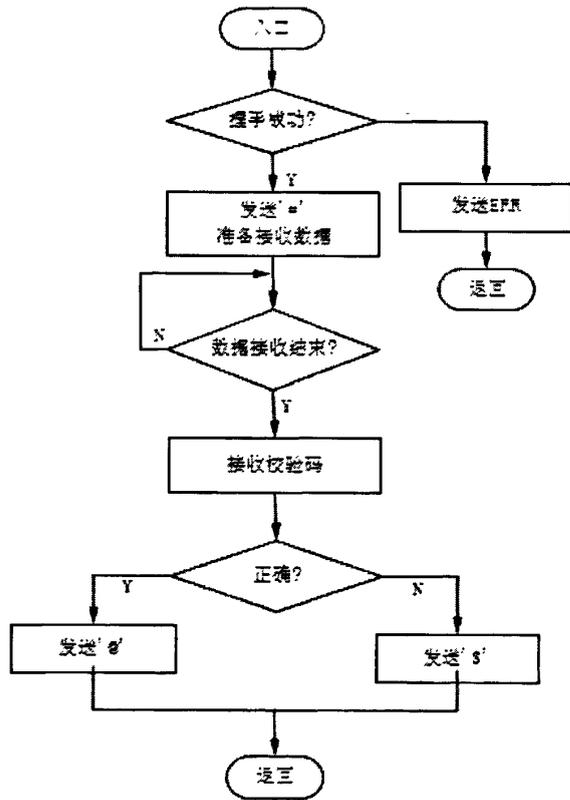


图 4.5 串口中断服务程序

上位机利用基于 VC 开发的串口通讯应用软件与下位机进行数据通讯，使用 WinAPI 对串口进行编程。在接受数据时，采用事件驱动的方式，避免了浪费系统资源，这种方式的原理就是建立一个接收事件线程，它专门用来监视串口的接收事件，一旦有接收事件发生，它就向主线程发送一个 Windows 消息，主线程在消息响应函数中处理已发生的接收事件^[28]。上位机串口通讯程序的流程图如图 4.6 所示。

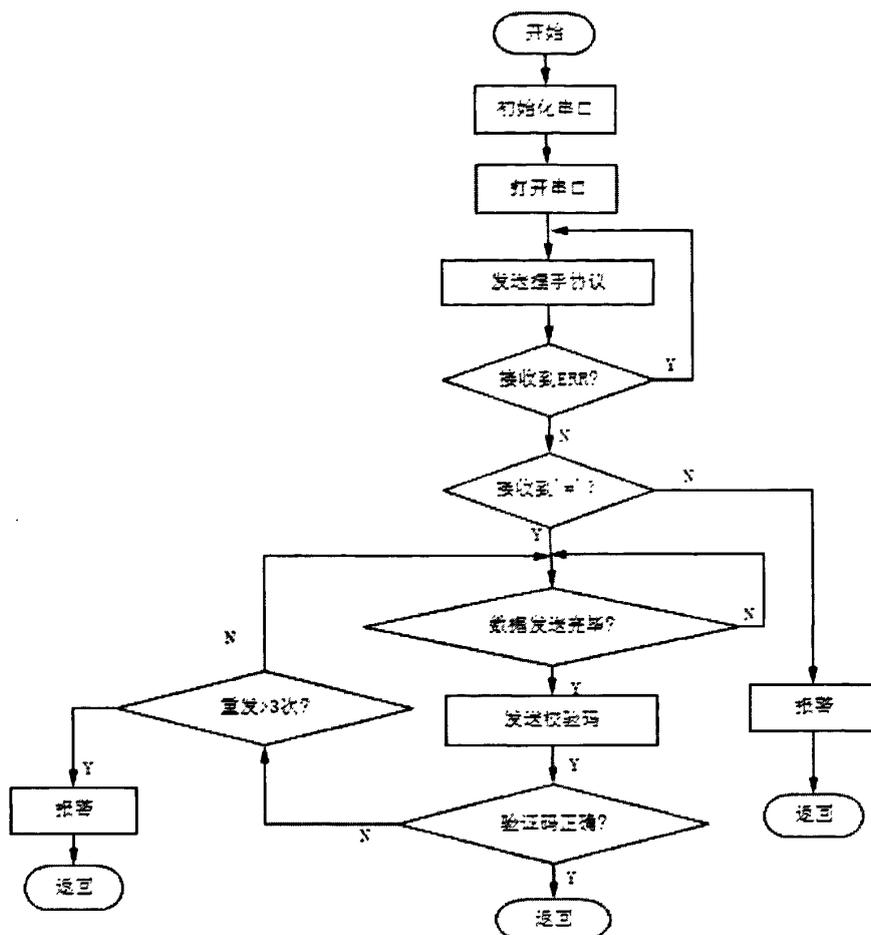


图 4.6 上位机串口通讯主程序

4.4.2 电磁阀控制与编码器信息读取模块的程序设计

该模块主要用于在系统除草过程中,实时读取编码器的脉冲数,然后根据脉冲数确定平台行驶的速度和相对目标杂草的位置,用来控制相应电磁阀完成喷施除草任务。视觉系统获取的每一幅图片为 $676\text{mm} \times 900\text{mm}$,喷头的喷雾角为 60° ,喷头离地安装高度为 30cm ,为了便于喷施控制,喷施系统安装 4 个喷头,并将获取到的图片分割成 4×5 行的网格,中间六个小区域为 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$,四周依据剩余尺寸进行均分如图 4.7 所示,每个喷头对应一列网格,1 号和 4 号喷头对应棉花行间杂草,2 号和 3 号喷头对应棉花株间杂草。系统进行除草工作的时,控制器根据位移信息,通过 RS232 串口将触发信号 'R' 发送给 PC 机,用来控制摄像头获取下一幅图片,待视觉系统将获取到的图片进行处理,将得到的信息以数组的形式传递给控制器,信息

中包括图像中杂草的位置及面积，当喷头经过目标杂草上方时：对于 2、3 号喷头，控制器则控制喷头的开启和关闭，完成喷施除草任务；对于 1、4 号喷头，判断如果需要进行连续喷施，则喷头到达目标杂草上方时，将一直开启，并根据杂草的面积信息和速度信息，采用模糊控制算法，输出控制量，对电磁阀进行 PWM 控制，实现变量喷施。

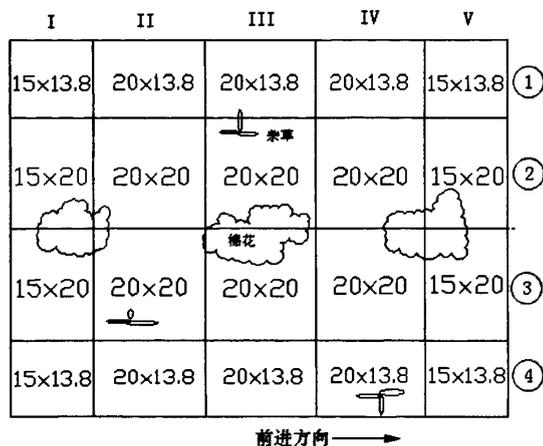


图 4.7 喷施区域网格划分图

程序中有三个参数可以根据不同的作业环境进行设置，分别为 `cpc1`、`cpc2` 和 `spray_delay`。`cpc1` 为 II、III、IV 行，每行走一行编码器输出的脉冲数，`cpc2` 为 I、V 行，每行走一行编码器输出的脉冲数；`spray_delay` 为标定得到的喷头中心到相机镜头中心，编码器输出的脉冲数，此参数作为系统第一次喷施延迟时间的补偿。

系统工作过程中利用定时计数器 8254 来接收并记录脉冲个数，根据公式 (4-1) 可得到行驶的距离：

$$S = \frac{(bp - bp_1) \times D \times \pi}{b_n} \quad (4-1)$$

式中：

bp — 起始计数器中的值；

bp_1 — 当前计数器中的值；

D — 平台的车轮直径；

b_n — 旋转编码器光栅线数。

本系统中喷头中心到相机采集图像边缘的距离 $S=1.2m$ ，所以，根据上述公式可以计算得到：

$\text{spray_delay} \approx 3943$; $\text{cpc1} \approx 212$; $\text{cpc2} \approx 152$;

起初系统上电, 将 spray_delay 的值作为初值装载到计数寄存器中, 计数器根据接收到的编码器脉冲进行减 1, 当计数寄存器中的值为 1 时, 根据上位机传送的杂草信息, 判断第一行网格将要开启的喷头以及喷药量的大小, 接下来将 cpc2 的值作为新的初值装载到计数寄存器中, 同样接收编码器脉冲数进行减 1 运算直至到 1, 再判断第二行网格将要开启的喷头以及喷药量的大小, 然后再将 cpc1 的值装载到计数寄存器中, 判断第三、四行网格的喷施情况, 最后再把 cpc2 的值装载到计数寄存器中, 判断第五行网格的喷施情况, 以此循环下一幅图片中的网格行。电磁阀控制与编码器信息读取的程序流程图如图 4.8 所示。模糊控制的具体流程图如图 4.9 所示。

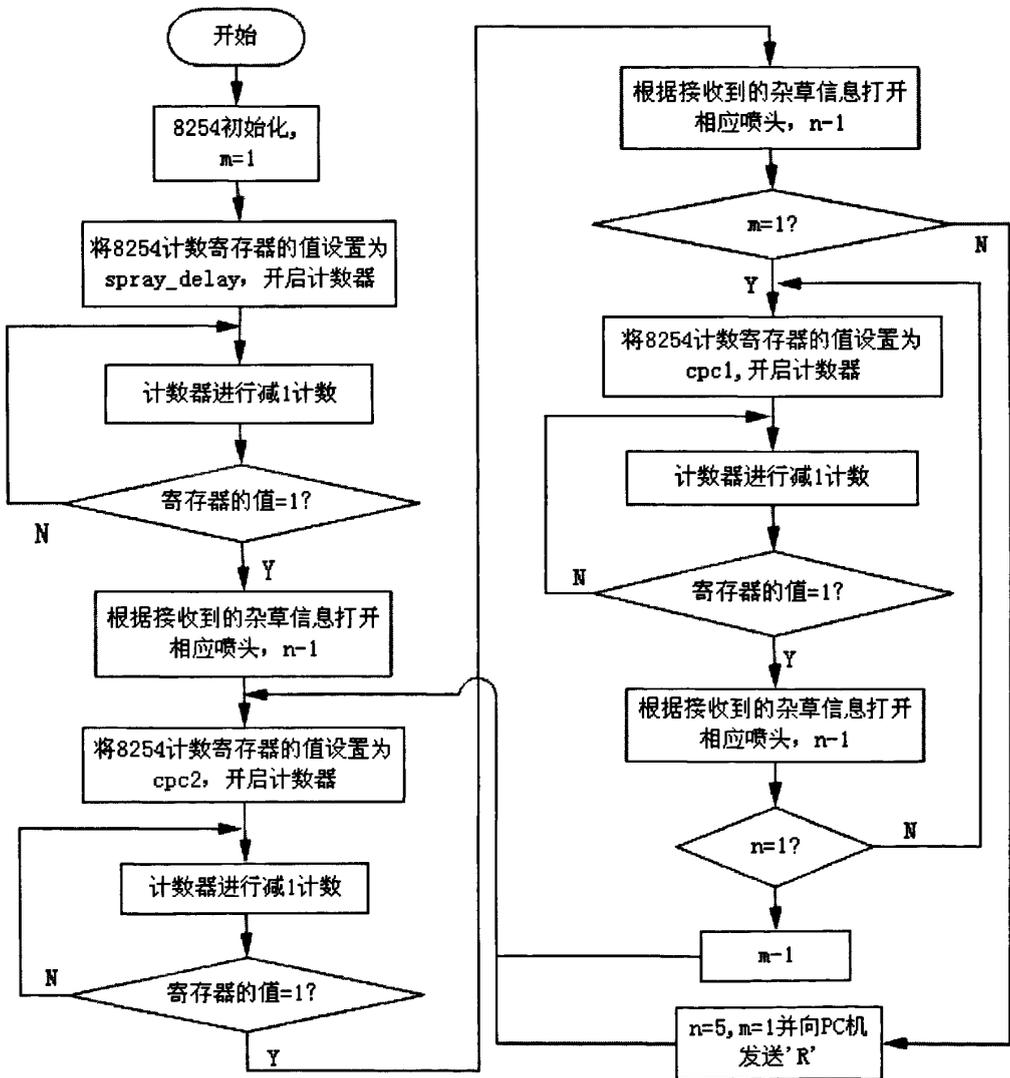


图 4.8 电磁阀控制与编码器信息读取的程序流程图

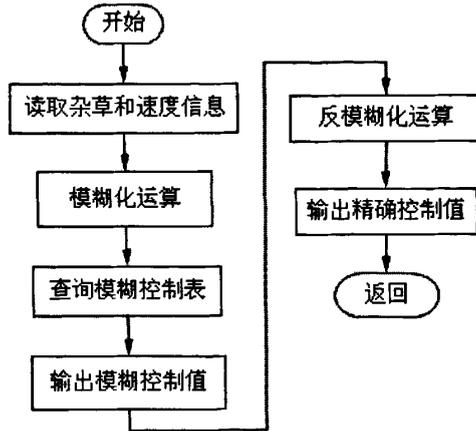


图 4.9 模糊控制的程序流程图

4.4.3 流量传感器模块的程序设计

实时嵌入式控制系统中，为了减小系统 CPU 的开支，我们通常采用循环等待的方法，也就是通过查询 A/D 转换的特殊功能寄存器（ADCCON）中的 FLAG 位来完成 A/D 数据采集，数据采集的流程图如图 4.10 所示。其驱动的伪代码如下：

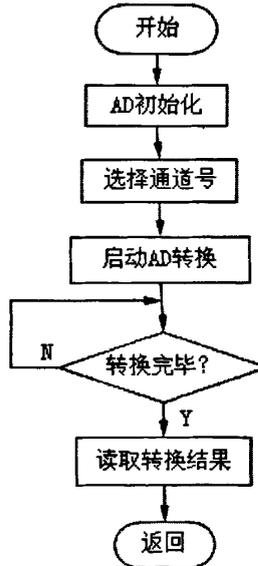


图 4.10 数据采集的流程图

```

ADC_Read (Channalnum) {
    选择要读取的 AD 通道;           //INPUT SELLECT 的设置
    延迟一段时间;
}
  
```

```

启动 AD 转换;                               //rADCCON|=0x1
While(!(rADCCON&0x40));
读取 10bit 转换结果并返回应用程序; //转换结果在 rADC DAT 中
}

```

采集数据的过程中,为了减小外部干扰对转换产生的影响,可采用均值滤波的方法,因为每次循环采样数只要稍微增加,采样数据的平均精度就有大幅度的提高,通常我们所用的范围是每次循环 7-10 次。

4.4.4 人机界面程序设计

人机界面程序设计主要包括 LCD 显示和触摸屏两个模块的设计。

在 SC344BOX 中 LCD 的控制端口是通用 I/O 口 GPD 的第二功能,所以在使用前要对 PD 口进行功能寄存器设置:

```

rPCOND = 0x0AAAA ; //设置为 VD0, VD1, VD2, VD3, VCLK, VLINK,
rPDATD = 0xFF ; //VM,VFRAME 等 LCD 功能
rPUPD = 0x00 ;

```

定义 LCD 显示中用到的颜色常量:

```

#define whitecolor 255 //白色常量
#define blackcolor 0 //黑色常量
#define redcolor 0xe0 //红色常量
#define greecolor 0x1c //绿色常量
#define bluecolor 0x03 //蓝色常量

```

与 LCD 显示有关的函数有:

```

void Lcd_Init(); //LCD 初始化函数
void Lcd_Clr(); //LCD 清屏函数
void Lcd_printf(void *PDC... char *fmt,...) //字符显示函数
void Lcd_Dot(unsigned int x, unsigned int y, unsigned char color) //画点函数
void Lcd_Line(short int usX0, short int usY0...) //画线函数

```

以下是 LCD 初始化程序:

```

void Lcd_Init(void){
unsigned int *pFrameBuffer = (unsigned int*)DC;
rLCDCON1= 0;
rLCDCON1=(0)|(0<<2)|(1<<3)|(1<<4)|(2<<5)|(0<<7)|(0x0<<8)|(0x0<<10)|(CLKVAL

```

```

_MONO<<12);
rLCDCON2=(LINEVAL)|(HOZVAL<<10)|(10<<21);
rLCDSADDR1= (0x0<<27) | ( ((unsigned int)pFrameBuffer>>22)<<21 ) |
M5D(((unsigned int)pFrameBuffer>>1);
rLCDSADDR2=M5D((((unsigned int) pFrameBuffer+(LCD_XSIZE* LCD
_YSIZE))>>1) | 1 << 29);
rLCDSADDR3= (LCD_XSIZE/2) | (((LCD_XSIZE-LCD_XSIZE)/16)<<9);
rDITHMODE=0x12210;
rLCDCON1= rLCDCON1 | 1;
}

```

触摸屏的软件设计包括 ADS7843 初始化程序和坐标转换程序两部分。选择计时器 2 为时钟，定义 20ms 中断 1 次，提供触摸屏采样时间基准，即 10ms 触摸屏采样 1 次。当有触摸时 ADS7843 向 SC344BOX 提出中断请求，然后进入中断服务程序，读取 ADS7843 转换的结果，从而得到触摸点的坐标。以下是初始化程序代码：

```

void Touch7843_Init(void){
    rPCONC &= ~(0xff);
    rPCONC |= (0x50);
    rPUPC &= ~(0x0f);
    rPUPC |= (0x03);
}

```

人机界面如图 4.11 所示。主要功能：杂草位置信息显示；除草装置平台的速度信息显示；系统的参数设置，包括：串口设置、时间设置以及历史记录清除；喷施系统流量显示及实时曲线绘制。

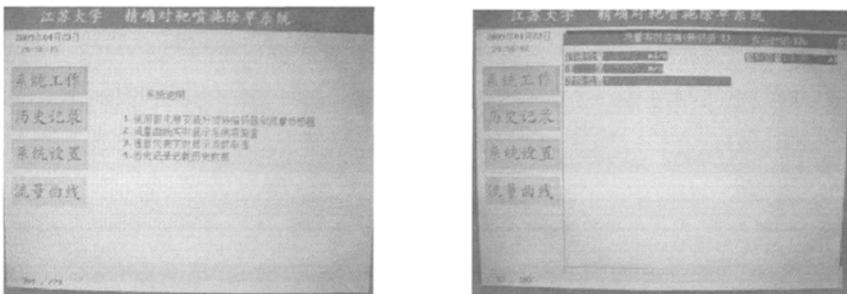


图 4.11 人机交互系统界面显示

人机界面的主程序流程图如图 4.12 所示。

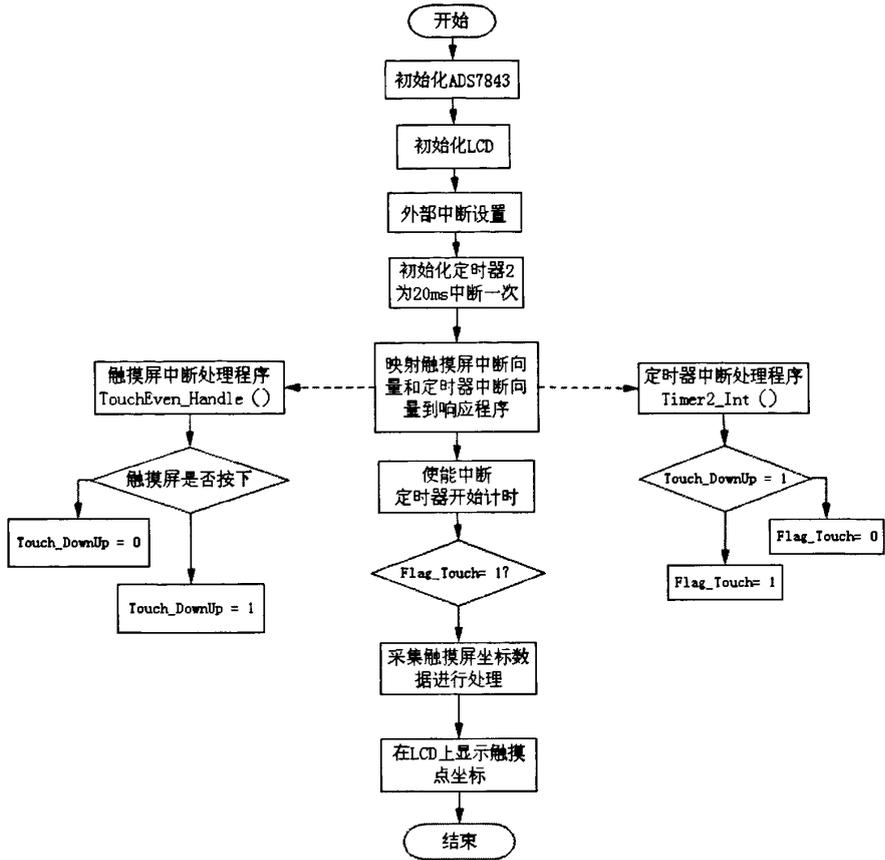


图 4.12 人机界面的主程序流程图

4.4.5 控制系统的应用主程序设计

控制系统应用主程序的流程图如图 4.13 所示。

系统完成初始化后，创建多任务，并对多任务进行调度。下面是任务创建、任务堆栈大小及任务优先级定义：

```
#define Main_Task_PRIO      (1)
```

```
OS_STK Main_Task_Stack[TASK_STACK_SIZE]; //主任务定义
```

```
#define Touch_Task_PRIO    (2)
```

```
OS_STK Touch_Task_Stack[TASK_STACK_SIZE]; //触摸屏及显示任务
```

```
#define Task_Con_PRIO      (3)
```

```
OS_STK Task_Con_Stack[TASK_STACK_SIZE]; //控制任务
```

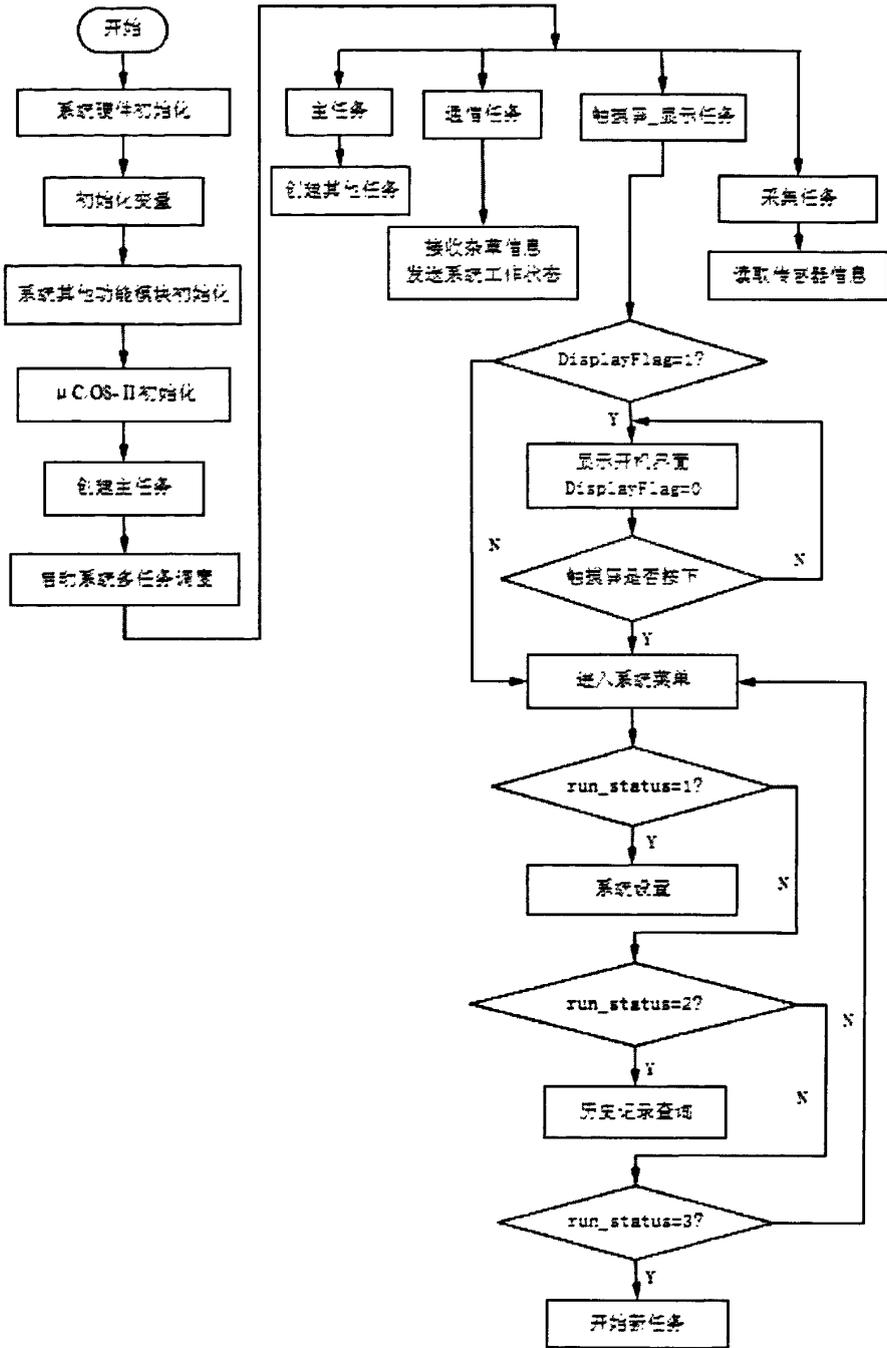


图 4.13 控制系统应用主程序流程图

4.5 小结

本章对精确喷施除草控制系统的软件设计进行介绍。首先，介绍了软件系统的

开发环境及嵌入式 μ C/OS-II 系统；然后，对嵌入式系统 μ C/OS-II 在 ARM7 上的移植过程作了简述；最后，根据精确喷施除草的原理，确定了控制系统采用的方法，利用 C 语言对控制系统中各个模块进行编程，包括：串口通讯模块、电磁阀控制与编码器信息采集模块、流量传感器模块和人机界面。

第五章 实验数据分析

5.1 定位精度标定实验

5.1.1 实验原理

在做定位精度标定实验之前，先在地面上画两条相距 2m 的标定线，从一端出发到另一端结束，读取计数器中的脉冲数，将其显示在 LCD 上以便于操作者观察。由 10 组重复实验得到的数据与理论值进行比较得到脉冲数误差，理论值可由公式 (5-1) 计算：

$$b_p = \frac{S \times b_n}{D \times \pi} \quad (5-1)$$

式中：

S — 行驶距离，本文中取 $S=2\text{m}$ ；

b_p — 接收到的脉冲个数；

D — 车轮直径， $D=0.63\text{m}$ ；

b_n — 编码器光栅线数， $b_n=2000$ ；

将上述各个参数带入公式 (5-1) 可知：

$$b_p = \frac{2 \times 2000}{0.63 \times \pi} = 2022$$

由于驱动链轮与编码器惰轮的齿数比为 3:1，所以要将计算所得的 2022 个脉冲数乘以 3，才得到标定距离 2m 发出的 6066 个脉冲。

5.1.2 实验结果与分析

经过 10 次重复实验，将测得的实验数据与理论值相比，得到误差，具体数据如表 5-1 所示。

将误差代入到下面的公式，得到误差的平均值：

$$\overline{\Delta b_p} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta b_{pi}}{10} \quad (5-2)$$

式中：

Δb_p — 脉冲数误差的平均值;

Δb_{pi} — 每次实验的误差值;

将表 5-1 中的数据带入公式 (5-2):

$$\overline{\Delta b_p} = 100$$

表 5-1 定位实验数据与误差表

实验序号	脉冲个数(个)	脉冲数误差(个)	精度(%)
1	6138	132	97.80
2	5953	113	98.10
3	6058	8	99.90
4	6170	104	98.30
5	6011	55	99.00
6	5950	116	98.00
7	6153	87	98.60
8	5939	127	98.00
9	5983	83	98.60
10	6172	106	98.30
平均值	6003	93	98.50

定位精度折线图如图 5.1 所示。

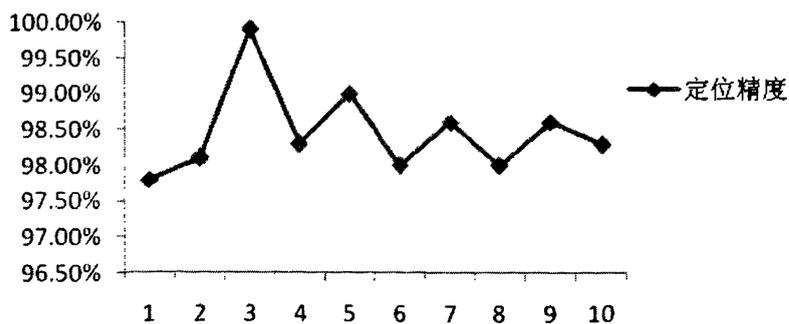


图 5.1 定位精度折线图

从图 5.1 可以看出, 定位精度大部分集中在 98%~99% 之间, 所以利用此方法实

现定位比较精确。在 2 米的范围内，误差范围为 0.2cm~4.5cm,最大的定位误差为 4.5cm，最小误差为 0.2cm，如图 5.2 所示。

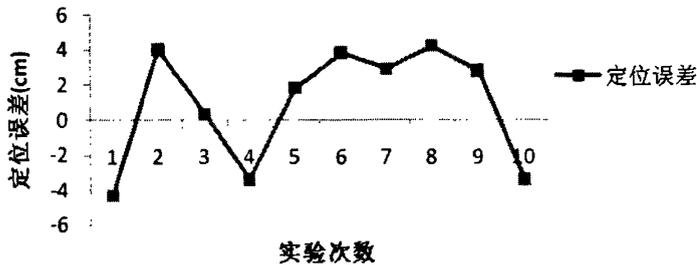


图 5.2 定位误差折线图

5.1.3 误差分析

从实验数据分析，误差可能有以下几个原因造成：

(1) 地面不平或车轮打滑

定位实验选择的场地为江苏大学农业工程研究院农测楼南侧的土槽内，平整性较差，造成直线距离与实际行驶距离有一定的偏差，另外地面高低不平有可能使编码器安装轮与地面不能充分接触，导致车轮悬空，使得测得的距离比实际距离短。

(2) 平台小车的转向机构没有锁死功能，在直线行驶过程中，地面给车轮的反作用力可能导致行驶方向发生偏移，从而使得测得的距离比实际距离大。

(3) 信号干扰：信号干扰主要来自电磁场的影响，如传感器电缆无屏蔽或屏蔽不良的话，信号就会受到干扰，所以应将信号线的屏蔽网充分接地。

对于定位误差，可以通过在控制程序中增加校验值进行校正，并且在每次定位完一个喷施网格后，对计数器中的值清零，然后重新定位下一个喷施网格，以减小误差累计对定位造成的影响。

5.2 压力与喷施流量的关系实验

喷施流量与压力成正比例关系，当压力增加时，喷头的喷施流量也相应的增加。具体的数据见表 5-2 所示。

表中喷量 $i(i=1, \dots, 4)$ 表示 i 个喷头同时开启时的喷施流量。从表 5-2 中我们可以看出，多个喷头同时开启时，每个喷嘴的平均喷施流量与相同实验条件下单个喷嘴的喷

施流量存在一定的偏差,产生的原因可能是由于喷施系统管路中压力变化而引起的流量变化。

开启喷头个数的不同对喷施系统的压力有明显的影响,图 5.3 所示为开启的

表 5-2 不同压力下的喷施量

压力(Mpa)	喷量 1(L/min)	喷量 2(L/min)	喷量 3(L/min)	喷量 4(L/min)
0.15	1.055	2.023	3.065	4.105
0.20	1.285	2.506	3.707	4.872
0.25	1.423	2.705	3.932	5.285
0.30	1.762	3.421	4.859	6.221
0.35	1.936	3.758	4.932	6.412
0.40	2.211	3.940	5.048	6.878
0.45	2.392	4.291	5.260	7.032
0.50	2.533	4.409	5.757	8.036
0.55	2.735	4.802	6.242	8.804

喷头数在不同工作压力条件下的压力损失情况。从图中我们可以看出,当工作压力小于 0.25Mpa 时,压力损失较小;当工作压力大于 0.25Mpa 时,压力损失较大。

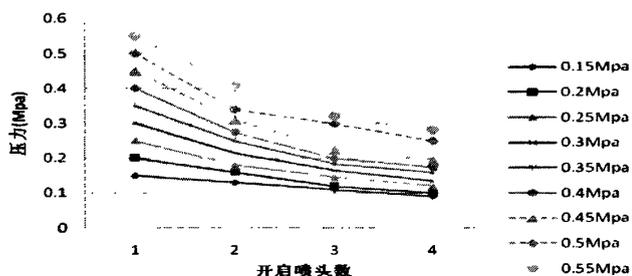


图 5.3 压力损失与开启喷头数的关系

喷施系统中有多多个喷头同时开启时,其理论喷施流量等于相同条件下单个喷头的

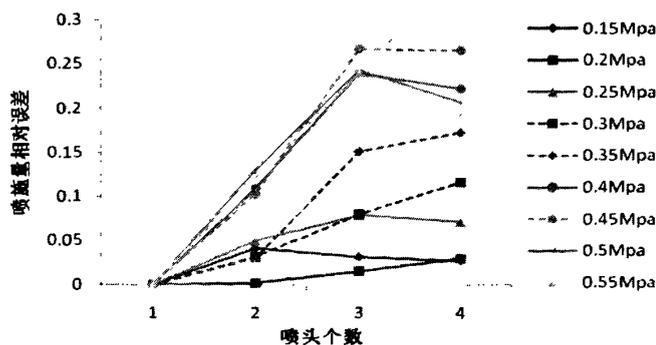


图 5.4 实际喷施流量与理论喷施流量相对误差图

喷施流量乘以开启的喷头个数。然而,压力损失将造成实际喷施流量与理论喷施流量

存在误差，具体的喷施流量相对误差如图 5.4 所示。

综合以上对压力与喷施流量关系的实验结果进行分析，喷施系统工作压力小于 0.25Mpa 时，系统中的压力损失相对较小，由其引起的喷施流量损失也较小，所以喷施系统的工作压力应选择在小于 0.25Mpa 的范围内。

5.3 脉宽调制变量喷施的流量特性实验

喷施流量特性的研究方法很多，主要包括称重法和使用流量传感器测量法，称重法就是收集并计算出一定时间内所喷施液体的质量，使之除以时间即可得实际的流量；使用流量传感器测量法就是利用现代传感器技术，测得管路中的流量。以上各种流量的测量方法，各有优缺点，称重测量法较为准确，却不可实时记录。流量传感器测量法可以实现实时在线读取流量数据。本系统中对流量特性的研究采用的就是使用涡轮式流量传感器测量法，测得系统中的瞬时流量和累计流量，使用多次测量取平均值的方法以减小实验误差。

图 5.5 和图 5.6 为喷施系统在工作压力 0.25Mpa 下，脉宽调制型变量喷施的流量的实验数据，其中图 5.5 为在不同频率下流量随占空比的变化规律，从图中可以看出，在同一频率下流量随着占空比的增加而增加，当频率低于 5Hz 时，流量与占空比的关系近似认为是 $Q = \tau \times Q_{\max}$ ，当频率为 8Hz，占空比超过 60% 时，流量基本上不

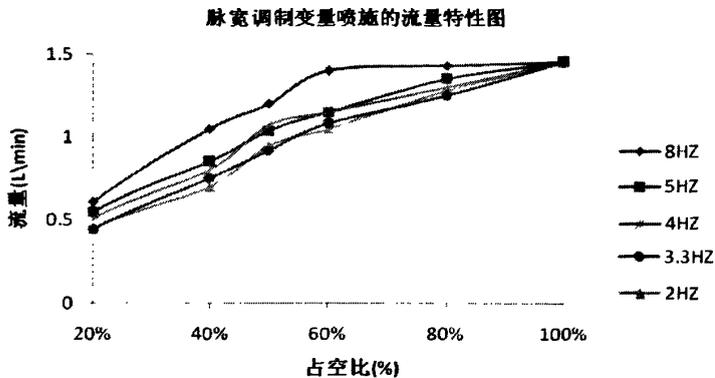


图 5.5 不同频率下流量随占空比的变化规律

再随占空比变化而变化。图 5.6 为同一占空比下流量随频率的变化规律，从图中可见在同一占空比下，当占空比小于 60% 且频率高于 3.3Hz 时，流量随着频率的增加而略有增加。当占空比为 80% 且频率高于 4Hz 时，流量基本上不随频率的增加而变化。

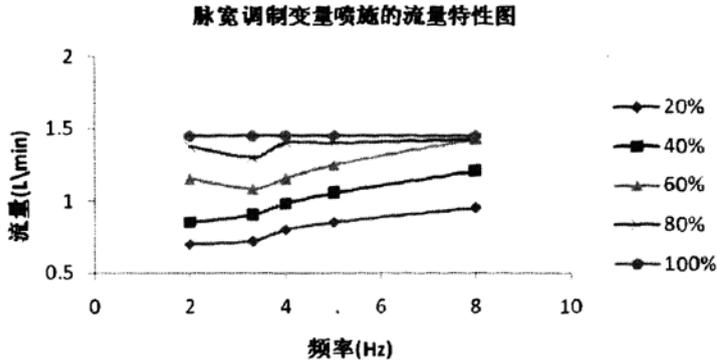


图 5.6 不同占空比下流量随频率的变化规律

5.4 喷施控制系统延迟时间的测定实验

喷施控制系统延迟时间是指从控制器发出控制指令到药液喷施到目标杂草上的时间。延迟时间对于整个系统来说是非常重要的,它决定能否将药液准确地喷施到每个网格的中心,是影响对靶准确率的重要因素。测定的方法如图 5.7 所示:采用压电式传感器测定药液喷施到地面瞬间产生的压力信号,同时使用 DT800 数据采集仪,对

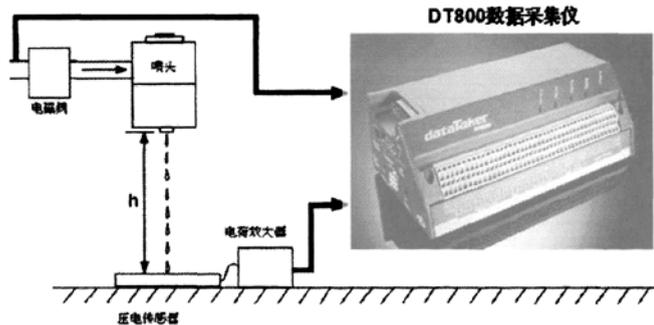


图 5.7 延迟时间的测定原理

控制器的控制信号和压力信号的进行采集,从而得到两路信号的延迟时间,该时间即为喷施控制系统延迟时间。

喷嘴被放置在压电传感器上方的 30cm 处,将 DT800 数据采集仪的采样频率设置为 200Hz,当控制器的信号输出端送出控制指令,电磁阀打开,药液喷施到压电传感器上的同时,压电传感器输出压力信号,经过电荷放大器后被 DT800 数据采集仪接收,DT800 数据采集仪将其与一同采集到的控制信号,通过串口送至电脑并显示,如图 5.8 所示,得到延迟时间大约为 50ms~60ms。

Date	Time	Temp1	Temp2
2008/09/25	15:14:11	0.007446	0.02032
2008/09/25	15:14:11	0.007446	4.8339
2008/09/25	15:14:11	0.007446	0.27943
2008/09/25	15:14:11	0.007446	4.8339
2008/09/25	15:14:11	0.007446	0.20257
2008/09/25	15:14:11	0.007446	4.8339
2008/09/25	15:14:11	0.007446	0.27943
2008/09/25	15:14:11	0.007446	4.8339
2008/09/25	15:14:11	0.007446	0.46197
2008/09/25	15:14:11	0.007446	4.8339
2008/09/25	15:14:11	0.007446	0.06372
2008/09/25	15:14:11	0.007446	4.8339
2008/09/25	15:14:11	0.007446	0.04373
2008/09/25	15:14:11	0.007446	4.8339
2008/09/25	15:14:11	0.007446	0.04026
2008/09/25	15:14:11	0.007446	4.8339
2008/09/25	15:14:11	0.007446	0.01321
2008/09/25	15:14:11	0.007446	4.8339
2008/09/25	15:14:11	0.007446	2.936609
2008/09/25	15:14:11	0.007446	4.8339

图 5.8 DT800 数据显示窗口

5.5 实验室内精确喷施实验

为了评估精确喷施除草系统的性能，在实验室内进行精确喷施除草实验。首先，由视觉识别系统将事先采集好的图像进行处理，然后将杂草的位置及面积信息通过串口传送给控制器，控制器结合编码器的位移信息，打开相应的喷头。实验结果表明，依据杂草的位置和面积信息，70%的杂草被精确对靶喷施上农药，10%的杂草虽然被对靶喷施上农药，但喷施的药量没有达到预先根据杂草面积设定的药量，20%的区域被误喷或漏喷农药。受硕士论文时间影响，误差分析及后续的实时精确喷施除草实验还在进行中。

5.6 小结

本章对系统的主要功能进行了相应的调试和标定，旨在找出系统各个部分的最佳工作状态，并对调试过程中出现的错误及时的进行修正。定位精度标定实验结果显示定位误差在2%以内。喷施流量与压力的关系实验表明当工作压力小于0.25Mpa时，压力损失较小；当工作压力大于0.25Mpa时，压力损失较大。使用PWM技术进行变量喷施，当频率低于5Hz时，流量与占空比的关系近似认为是 $Q = \tau \times Q_{\max}$ 。喷施控制系统延迟时间经测定大约为50ms~60ms。在实验室内进行精确喷施除草实验结果表明，根据杂草的位置和面积信息，70%的杂草被精确对靶喷施上农药，10%的杂草被对靶喷施上农药，但喷施的药量还不够精确。20%的区域被误喷或漏喷农药。

第六章 总结与展望

6.1 全文总结

本论文以实现精确农业保护农业生态环境为根本出发点,研制了精确喷施智能除草装置,同时设计了除草装置的控制系統。提出依据杂草的面积和位置信息的方法,实现精确喷施除草,通过理论研究、编程实现、试验验证,取得了一定的成果。对论文期间的工作及结论阐述如下:

1) 综合考虑田间通过性、平稳性和可控性因素,设计了除草装置底盘、转向机构、驱动机构和喷施系统等关键部件,在此平台上研制了适合田间除草作业的精确喷施智能除草装置移动平台。

2) 对控制系统的硬件部分进行研制,包括:与PC机通信模块、测速传感器信号读取模块、流量传感器信号读取模块和人机交互接口并给出相应的接口电路图。使用 Simulink 中的模糊逻辑工具箱建立精确喷施除草系统模糊模型对模糊控制器进行仿真,仿真结果表明其模糊控制规则符合专家经验。

3) 基于 ARM 开发环境和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式实时操作系统,运用 C 语言编程实现了整个控制系统的基本功能,包括:串口通讯模块、电磁阀控制与编码器信息采集模块、流量传感器模块和人机界面。

4) 对系统的主要功能进行了相应的调试和标定,旨在找出系统各个部分的最佳工作状态,并对调试过程中出现的错误及时的进行修正。定位精度标定实验结果显示定位误差在 2% 以内。喷施流量与压力的关系实验表明当工作压力小于 0.25Mpa 时,压力损失较小;当工作压力大于 0.25Mpa 时,压力损失较大。使用 PWM 技术进行变量喷施,当频率低于 5Hz 时,流量与占空比的关系近似认为是 $Q = \tau \times Q_{\max}$ 。喷施控制系统延迟时间经测定大约为 50ms~60ms。在实验室内进行精确喷施除草实验,结果表明依据杂草的位置和面积信息,70%的杂草被精确对靶喷施上农药,10%的杂草虽然被对靶喷施上农药,但喷施的药量没有达到预先根据杂草面积所设定的药量,20%的区域被误喷或漏喷农药。

6.2 展望

国外对于除草机器人研究较早，而国内目前研究相对较少，由于受研究时间和条件的限制，加之作者本人的知识水平和能力有限，还有一些不足之处有待完善：

1) 控制系统的软件代码的测试需要大量的时间，虽然程序能完成相关的工作，但编程的质量还有待提高，程序有待进一步完善。

2) 由于时间原因，对于喷施系统中由于压力损失造成的喷施流量损失，控制系统没有对其进行补偿。在以后的工作中，可以从以下两个方面考虑补偿：一方面可以在喷施系统总管路中增加蓄能器，保证各个分支管路中压力的平稳；另一方面，可以通过在程序中添加补偿系数，对喷施流量进行补偿。

参考文献

- [1] Robert. An information Revolution in Agriculture [J]. Agriculture Outlook Forum,1999,1-5.
- [2] 董美对,何勇,赵云飞.精确农业——21 世纪的农业工程技术[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2000,26(4):433-436.
- [3] 郭振东.农田杂草的危害及防除[J].河南农业,2003,9:32.
- [4] 陈艳巧,张晓辉等.我国植保机械现状及发张策略[J].农业装备与车辆工程, 2006, 2: 3~5.
- [5] B. L. Steward, L. F. Tian. Real-time machine vision weed-sensing [J]. Department of Agricultural Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign, 1998.
- [6] L. Tian, J. F. Reid, J. W. Hummel. Development of a Precision Sprayer for Site-specific Weed Management [J]. Transactions of the ASAE, 1999 Vol. 42(4):893-900.
- [7] BJÖ RN ÅSTRAND, ALBERT-JAN BAERVELDT. An agriculture mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control [J]. Autonomous Robots 13,21-35,2002
- [8] Hong Yong Jeon, Lei F. Tian, Tony E. Grift. Development of an individual weed treatment system using a robotic arm [J]. ASAE Annual International Meeting, 2005
- [9] W. S. Lee, Slaughter D C, Giles D K. Robotic Weed control system for tomatoes [J]. Precision Agriculture.1999,1:95~113.
- [10] R. D. Lamm, D. C. Slaughter, D. K. Giles, Precision weed control system for cotton [J]. Transactions of ASAE, Vol45(1):231-138, 2002.
- [11] J. Blasco, N. Aleixos. Robotic weed Control using Machine vision[J]. Biosystems Engineering, 2002, 83(2), 149-157.
- [12] N. WANG, Q. Stoll,D.E.Peterson. A Real-time embedded Weed detection system for using in wheat fields[J]. Biosystems Engineering, 2007, 98: 276-285.
- [13] Claus G. Sørensen, Michael Nøremark, Rasmus Nyholm Jørgensen. Hortibot:Feasibility study of a plant nursing robot performing weeding operations-part [J]. ASABE Annual international meeting, 2007.
- [14] Thomas Bak, Jan Bendtsen. Hybrid Control Design for a Wheeled Mobile Robot [D]. Aalborg University of Denmark, 2001.
- [15] Gerhards.R, Sokefeld M. Site-specific weed control in maize, sugar beet, winter wheat and winter barley [J]. Precision Agriculture.2002,3,25-35.

- [16] R.Tangwongkit, V.M.Salokhe.Development of Real-time, Variable Rate Herbicide Applicator Using Machine Vision for Between-row Weeding of Sugarcane Fields [J]. Precision Agriculture.2006,8,1-12.
- [17] 陈勇等. 自动施药机器人及可变量控制系统的研究 [D]. 博士学位论文, 2005.
- [18] 王锦江. 农药变量控制系统研究[D]. 硕士学位论文. 中国农业机械化科学研究所.2007.
- [19] 吴学智,戚玉华.基于 ARM 的嵌入式系统设计与开发[M].北京:人民邮电出版社, 2007.
- [20] Kevin M. Passino, Stephen Yurkovich. Fuzzy Control [M]. Addison-Wesley Longman, Inc, 1998.
- [21] Jan Jantzen. Design Of Fuzzy Controllers [D]. Technical University of Denmark, 1998.
- [22] 诸静.模糊控制理论与系统原理[M].北京:机械工业出版社, 2005.
- [23] 崔晓红,陈宏利.光电编码器抗干扰防振动电路设计[J].交通与计算机, 2005,1(23): 110~112.
- [24] Jean J.Labrosse.MicroC/OS-II The Real-Time Kernel Sencond Edition[M].北京:北京航空航天大学出版社, 2003.
- [25] 罗强,徐家品. μ C/OS- II 在 ARM7 处理器中的移植[J].嵌入式操作系统应用, 2007, 2(23): 53~54.
- [26] 蒋方华,程耿国. 实时操作系统 μ C/OS- II 在 ARM7 上的移植[J].嵌入式操作系统应用, 2008, 7(24): 95~97.
- [27] μ C/OS- II Reference Manual.
- [28] 张钧莉,刘书智.Visual C++ 实践与提高(串口通信篇)[M].北京:中国铁道出版社, 2007.
- [29] Won Suk Lee, David C. Slaughter, D. Ken Giles. California. Development of a machine vision system for weed control using precision chemical application [j]. 1996.
- [30] Chen Yong, Lei Tian, Jia qiang Zheng. Direct Herbicide Application With an Autonomous Robot for Weed Control [J]. ASAE Annual International Meeting, 2005.
- [31] H.T.Søgaard, I.Lund. Application Accuracy of a Machine Vision-controlled Robotic Micro-dosing System [J]. Biosystems Engineering, 2007, 96 (3), 315-322.
- [32] R.GERHARDS, H.OEBEL. Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying [J]. weed research, 2006 46,185-193.
- [33] CHUN-CHIEH T. Hague, N. D. Tillett, H. Wheeler. Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals [J]. Precision Agric (2006) 7:21-32.
- [34] YANG,O.PRASHER, JACQUES-ANDRÉ LANDRY, HOSAHALLI S. RAMASWAMY.

- Development of an Image Processing System and a Fuzzy Algorithm for Site-Specific Herbicide Applications [J]. Precision Agriculture, 4,5-18,2003.
- [35] Hans J_rgen Andersen. Outdoor computer vision and weed control[D]. Ph.D. 2002.
- [36] Ross David Lamm. Robotic weed control for cotton. Ph.D. California University. 2000.
- [37] Ning Wang. Design of a real-time embedded weed-detection and spray control system. Ph.D. Kansas state University. 2002.
- [38] Tommy Ertbølle Madsen & Hans Lavdal Jakobsen. Mobile robot for weeding. Master. Technical University of Denmark. 2001.
- [39] 李丽君. 基于 ARM7 微处理器的变量喷药控制器设计[D]. 硕士学位论文. 吉林大学.2007.
- [40] 徐琳. 基于 GPS 的变量喷药机设计[D]. 硕士学位论文. 吉林大学.2008.
- [41] M.J.Aitkenhead, I.A.Dalgetty, C.E.Mullins, A.J.S. McDonald [J]. Computers and Electronics in Agriculture. 39(2003) 157-171.
- [42] Won Suk Lee. Robotic weed control system for tomatoes. Ph.D. California University. 1998.
- [43] 千锦辉. 推算定位变量施肥控制系统研究[D]. 硕士学位论文. 吉林大学.2006.
- [44] 王锦江. 农药变量施药控制系统研究[D]. 硕士学位论文. 中国农业机械化研究所.2007.
- [45] 彭敏. 嵌入式数据系统的研究与实现[D]. 硕士学位论文. 吉林大学.2007.
- [46] 刘宏伟. 基于单片机的模糊控制方法及应用研究[D]. 硕士学位论文. 武汉大学.2007.
- [47] 江明,陈其工等. 基于模糊控制的精确喷灌系统[J].农业工程学报, 2005, 10(21): 71~73.
- [48] 陈勇,郑加强. 精确施药可变量控制系统研究[J].农业工程学报, 2005, 5 (21): 69~72.
- [49] 赵茂程,郑加强. 树形识别与精确对靶施药的模拟研究[J].农业工程学报, 2003, 6(19): 69~72.
- [50] 田静. 高速开关阀 PWM 控制电路的设计[J].中国民航学院学报, 2003, 6 (21): 26~29.
- [51] S3C44B0X 中文数据手册[EB/OL].V0.1.
- [52] [http:// www.embedded.com/code.htm](http://www.embedded.com/code.htm).
- [53] [http:// www.mcuzb.com](http://www.mcuzb.com).