

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.037

微型植物工厂智能控制系统*

艾海波¹ 魏晋宏¹ 邱权² 郑文刚²

(1. 太原理工大学机械电子工程研究所, 太原 030024; 2. 北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 利用嵌入式技术,设计了一种基于STM32的微型植物工厂智能控制系统。该系统以STM32微处理器为硬件核心,结合 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 操作系统,实现了微型植物工厂内部温湿度、光照等多个环境因子的实时显示和精确控制,提出了温湿度模糊解耦方法并采用模糊控制算法进行温度和湿度控制,有效解决了温度和湿度控制存在大滞后、强耦合的问题。微型植物工厂智能控制系统具有较高的实用性。

关键词: 微型植物工厂 智能控制 模糊控制 解耦

中图分类号: TP273; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0198-07

Design of Intelligent Control System for Micro Plant Factory

Ai Haibo¹ Wei Jinhong¹ Qiu Quan² Zheng Wen'gang²

(1. Institute of Mechatronics Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China

2. Beijing Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: An intelligent control system for micro plant factory was designed based on embedded technology, which took the STM32 microprocessor as its core control part and programmed in the $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ environment. Furthermore, the real-time display and accurate control of environmental factors (temperature, humidity, light, etc) in the micro plant factory were achieved by the control system. In order to control the temperature and humidity, a fuzzy control and fuzzy decoupling method for the control of the temperature and humidity was proposed which could solve the problem of long time delay and strong coupling between them. It had high practicability.

Key words: Micro plant factory Intelligent control Fuzzy control Decoupling

引言

微型植物工厂是近年设施农业行业出现的新事物,它将大型植物工厂技术进一步浓缩,在有限密闭的环境中通过智能自动控制系统控制作物生长环境,为作物提供适宜的温湿度、光照强度、 CO_2 浓度以及合理比例的营养液,实现作物的周年连续种植^[1-3]。目前,由于成本和技术等方面的限制,微型植物工厂的推广和应用尚处于研究和探索阶段。

微型植物工厂具有很大的应用潜力,在植物工

厂技术比较发达的日本、美国和荷兰等国家,针对家庭使用的微型植物工厂已有应用,在美化家居净化空气的同时能满足人们对安全无公害蔬菜的需求^[4-5]。鉴于此,近些年国内一些科研单位也开始着手微型植物工厂的研制,并取得了显著成果^[6-7]。

在现阶段的植物工厂控制系统研究中,多采用PLC作为控制器,以PID控制作为控制算法,这使得控制系统的成本较高,且传统的PID控制应用在微型植物工厂这类非线性、大滞后系统时无法很好地满足控制要求。本文针对以上问题,设计基于嵌入式平台的微型植物工厂控制系统。

收稿日期: 2013-06-25 修回日期: 2013-07-11

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2013AA103005)

作者简介: 艾海波,硕士生,主要从事机电系统智能控制及嵌入式系统设计研究,E-mail: alexai_wave1988@126.com

通讯作者: 邱权,助理研究员,博士,主要从事农业机器人、农业物联网及智能植物工厂系统设计研究,E-mail: qiunercita@hotmail.com

1 控制器系统整体设计

1.1 系统总体结构

控制系统由环境因子采集模块、数据存储模块、人机交互模块、处理器模块以及执行控制模块等组成。控制系统整体结构如图 1 所示。

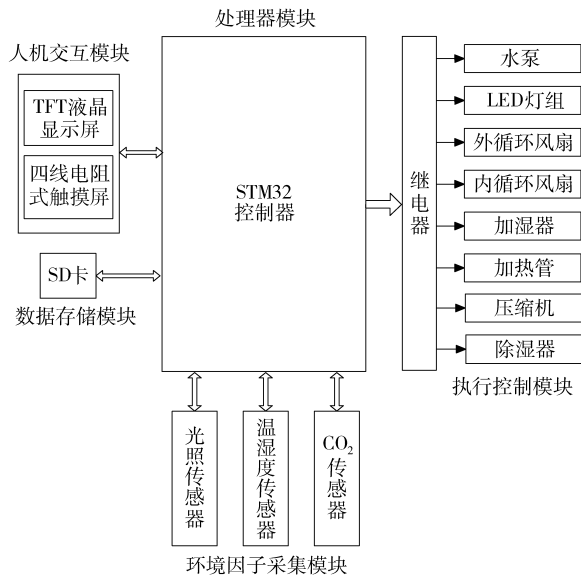


图 1 控制系统结构图

Fig. 1 Structural diagram of control system

环境因子采集模块包括光照传感器、温湿度传感器和 CO_2 传感器,该模块能准确、实时地对微型植物工厂内部温度和湿度等多个环境因子信息进行采集;数据存储模块利用 Micro SD 卡作为存储介质,存储微型植物工厂内部温湿度等环境因子历史数据,并采用 FATFS 文件系统对采集的数据按日期和类型进行分类管理;系统采用 XPT2046 驱动的触摸屏进行人机交互操作,可以进行参数的设定以及环境信息的实时显示;STM32 控制器是系统的核心,它通过对传感器采集数据的分析决策,进而发送命令,控制继电器的开/关,通过执行机构间的协调工作使微型植物工厂内部环境维持在适宜作物生长的范围内。

1.2 系统工作过程

STM32 控制器定时向相应的传感器发送数据采集命令,传感器收到命令后对微型植物工厂内部环境数据进行采集,之后将采集到的数据返回给控制器,控制系统将采集到的数据进行融合处理后送 SD 卡存储,然后按照已经设定的作物生长需要的环境因子阈值的判定,控制相应继电器的开/关,进而控制相关加热管、压缩机等执行机构的开启/关闭。控制系统不断重复之前的过程,进行环境因子的不断检测,构成了一个闭环的自动控制系統。

系统采用 LED 灯组进行人工补光,使用水泵进行营养液的循环控制,微型植物工厂内部环境中 CO_2 和 O_2 与外部环境气体的交换是通过外循环风扇实现的,这 3 种执行器都采用定时方式控制。温度和湿度则根据设定的阈值进行自动控制。当温度低于设定值时,加热器启动,热空气从植物工厂底部向上流动,通过内循环风扇的输送使内部热空气分布均匀,当温度达到设定值时,关闭加热器。当温度过高或湿度变化时采用同样的方式进行智能调控,使温湿度等环境参数维持在设定的范围内,满足作物生长需要。

2 硬件系统设计

2.1 主控芯片

控制系统采用 STM32F103 单片机为主控芯片,该款芯片是基于 ARM Cortex - M3 内核的高性能、低功耗微控制器,工作频率达 72 MHz,集成了 512 KB FLASH 和 64 KB SRAM,具有 I^2C 、SPI、USART、FSMC、SDIO 等接口模块,并且具有 8 个 16 位的定时器,满足本系统的设计要求^[8]。

2.2 传感器系统

传感器系统主要包括温湿度传感器、光照传感器和 CO_2 传感器。温湿度传感器采用 AM2311 型,它是一款含有已校准数字信号输出的传感器,可以进行远距离信号传输,适合在微型植物工厂内部通过长线缆分层布置,该模块通信接口采用标准 I^2C 接口模式。光照度的测量采用 RHOM 的数字型光强度传感器 BH1750FVI 型,此传感器内置高精度的 16 位 A/D 转换器,可以直接输出照度值,采用 I^2C 总线连接,系统通过 STM32 自带的 I^2C 接口实现光照强度信息的采集。 CO_2 浓度的测量使用固态电化学型传感器 TGS4160 型,由于传感器本身接口比较复杂,本系统选用的是成型的传感器模块,可以直接输出数字信号。

2.3 数据存储

系统采用 1GB 的 Micro SD 卡存储采集到的温湿度信息,该卡的接口和普通 SD 卡的接口是兼容的。STM32 处理器自身具有一个 SDIO 接口模块,为其 AHB 外设总线和 SD 存储卡之间提供了互联接口。图 2 为 SD 卡和 STM32 处理器的接口电路。系统采用的是 SD 存储卡接口支持的 4 位 SD 模式,每个有效信号都需要接 10 k Ω 电阻。SDIO_D[3:0] 是 4 位数据传输线,SDIO_CK 信号线是 SD 卡的时钟信号,每个时钟周期在命令和数据线上传输 1 位命令或数据,SDIO_CMD 是 SD 卡的双向命令/响应信号线。

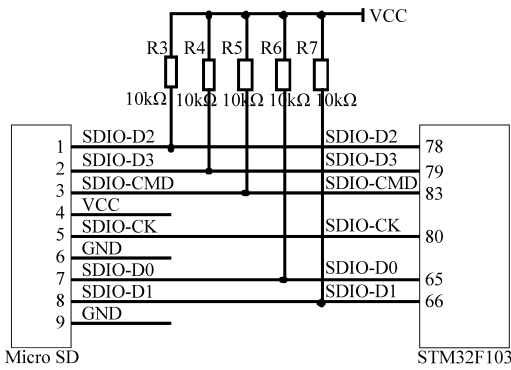


图2 SD卡接口电路图

Fig.2 Interface circuit of SD card

2.4 执行机构驱动电路

系统的执行机构采用开关量控制,STM32的GPIO口直接输出的信号较弱,通常不足以直接驱动设备运行,所以在GPIO口与环境控制设备之间增加了光耦 TLP521-4、驱动器 MC1413 以及中间继电器 HF49F,利用光耦降低强电设备在启动/关闭过程中电流波动对系统整体稳定性的影响,驱动器 MC1413 可以增强输出信号进而通过继电器的开/关控制执行机构的动作。同时在电路设计上采用单独的电源和接地来减少干扰。执行机构驱动电路如图3所示。

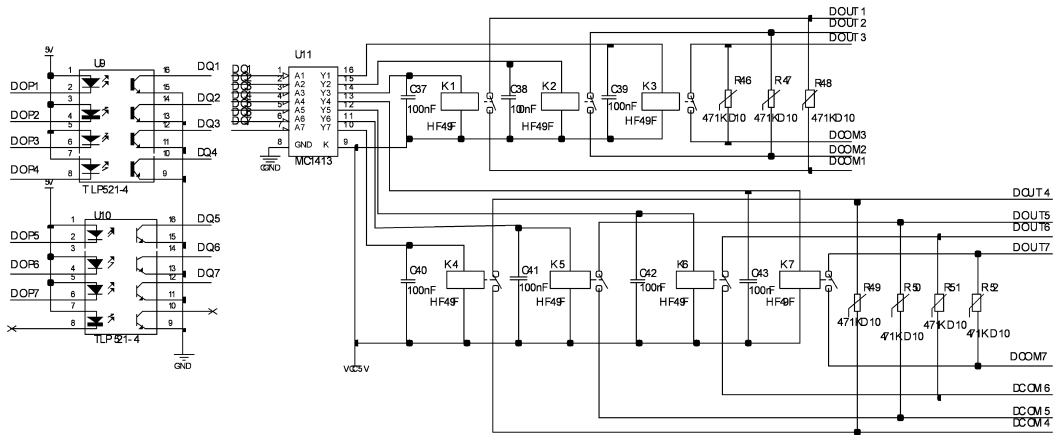


图3 执行机构驱动电路图

Fig.3 Driver circuit of actuators

3 系统软件设计

3.1 人机界面设计

在液晶屏主界面上设置了“系统时间设置”、“系统参数设置”、“历史数据查询”、“关闭系统”4个子界面图标,点击相应图标可以在各功能子界面下实现相应的功能。其中,系统时间设置子界面可以显示并设置当前的时间;参数设置子界面可以对系统的参数进行设定,包括根据作物生长要求增减生长阶段以及分别设定各阶段的温度、湿度和运行时间等参数;查询历史数据子界面不仅能够按日期显示历史数据,而且可以根据用户要求导出或删除某些数据;关闭系统子界面可以根据用户需要关闭控制系统,然后对植物工厂进行某些操作,避免直接操作对控制系统造成不良的影响。系统人机界面总体框图如图4所示。

3.2 系统任务设计与实现

为了增强系统的实时性和后续功能的易扩展性,在STM32中移植了一个μC/OS-II内核,采用嵌入式实时操作系统μC/OS-II进行程序设计^[8]。

μC/OS-II是基于优先级的抢占式实时多任务操作系统,控制系统通过7个任务来完成所要求的

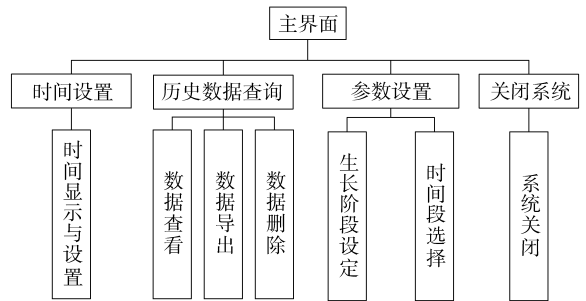


图4 系统人机界面总体框图

Fig.4 Diagram of man-machine interface

功能,主要有系统主任务、数据采集任务、数据处理任务、数据写入SD卡任务、μCGUI图形用户接口任务、触摸屏任务以及控制决策任务。主任务的建立是通过调用App_TaskStart()函数完成的,再由该函数调用App_TaskCreate()建立其他6个任务,给这些任务赋予不同的优先级,同时采用信号量进行任务间调度的协调。这些任务按功能可分为信息采集、数据处理和存储、控制决策以及人机交互4个模块。信息采集模块控制传感器定时采集环境因子信息;数据处理和存储模块把采集来的数据进行融合处理后送SD卡进行存储,使用FATFS文件系统对SD卡中的数据文件进行读写和管理;控制决策模块

则根据采集到的数据,利用智能控制算法控制环境调控设备,使微型植物工厂内部各环境因子维持在预定值;人机交互模块完成微型植物工厂内温湿度的显示和历史数据的查询,采用开源的图形界面软件 μ CGUI 编程实现。

3.3 温湿度模糊控制及解耦方法

作物的生长与微型植物工厂内各环境因子密切相关,温度、湿度、 CO_2 浓度和光照度都影响着作物的生长发育,其中, CO_2 浓度和光照度采用定时控制方式进行单独控制,温度和湿度则根据系统要求采用智能控制算法控制。温湿度控制是一种非线性、大滞后的复杂过程且温度和湿度之间存在交叉耦合,无法建立系统精确数学模型,在这种情况下经典控制理论和现代控制理论都无法达到满意的效果^[9-12]。鉴于以上原因,本系统采用了不需要被控对象数学模型的模糊控制算法,同时考虑到温湿度之间的耦合特性,设计了针对本系统的温湿度解耦策略。温湿度控制系统分为 2 部分,第 1 部分是温度-湿度模糊解耦单元,第 2 部分是 2 个独立的模糊控制单元:温度模糊控制和湿度模糊控制。温湿度模糊控制系统结构如图 5 所示。首先采用模糊解耦单元对温度和湿度 2 个主回路进行解耦补偿,消除耦合回路对温度和湿度主回路的影响,然后分别对温度和湿度两个回路进行独立的控制。

3.3.1 模糊解耦单元设计

模糊解耦器是温湿度模糊解耦单元的核心。如图 6 所示,模糊解耦器是一个 2 输入、2 输出的二维

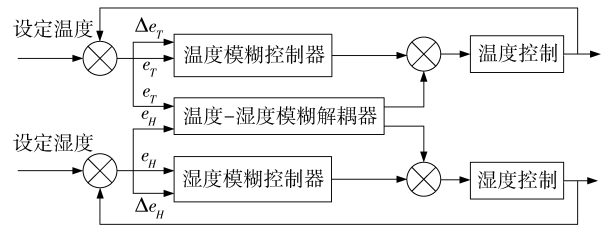


图 5 温湿度控制系统结构图

Fig.5 Structural diagram of control system of temperature and humidity

模糊解耦器,它的输入 e_T 为温度偏差, e_H 为湿度偏差,输出 C_T 和 C_h 分别是温度回路补偿量和湿度回路补偿量。

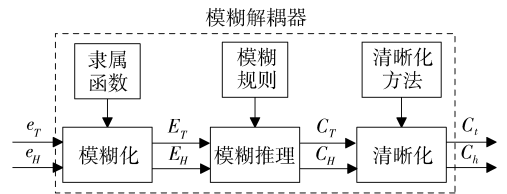


图 6 温湿度解耦器原理图

Fig.6 Schematic diagram of temperature and humidity fuzzy decoupler

本系统中温度偏差 e_T 变化范围为 $[-4, 4]$, 根据系统控制要求模糊论域取为 $\{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$, 量化因子 $k_1 = 1.25$ 。湿度偏差 e_H 变化范围为 $[-20\%, 20\%]$, 模糊论域取为 $\{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$, 量化因子 $k_2 = 25$ 。 e_T 和 e_H 的语言变量选取 7 个语言值: $\{\text{NB}, \text{NM}, \text{NS}, \text{ZO}, \text{PS}, \text{PM}, \text{PB}\}$, 选择三角形隶属函数, 温度变化量 E_T 和湿度变化量 E_H 的隶属度如表 1 所示。

表 1 温度和湿度变化量 E_T 和 E_H 隶属度

Tab.1 Membership of E_T and E_H

E_T, E_H	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
PB	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.8	1
PM	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1	0.5	1
PS	0	0	0	0	0	0.1	1	0.8	1	0	0
ZO	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0
NS	0	0	0.1	0.8	1	0.1	0	0	0	0	0
NM	0.1	0.5	1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0
NB	1	0.8	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0

系统中温度和湿度的调控设备都采用开关量进行控制,模糊解耦器输出 C_T 和 C_h 为系统继电器的闭合时间,即调控设备持续的工作时间。温度和湿度回路补偿量 C_T 和 C_h 的基本论域为 $[-10, 10]$ min, 即最大补偿是 10 min, 最小补偿是 -10 min。模糊论域取为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 量化因子 $k_3 = 0.6$ 。 C_T 和 C_h 的语言变量选取 7 个语言值: $\{\text{NB}, \text{NM}, \text{NS}, \text{ZO}, \text{PS}, \text{PM}, \text{PB}\}$, 总结操作经

验可得 C_T 和 C_h 的隶属度如表 2 所示。

根据试验经验和实际测试对模糊规则进行优化,得出 25 条模糊规则,以其中一条为例进行说明。当温度偏差 E_T 为 ZO(零),湿度偏差 E_H 为 NB(负大),此时温度补偿 C_T 为 PM(正中),湿度补偿 C_h 为 ZO(零)。当微型植物工厂内温度正好而湿度比设定值小很多时,湿度控制回路的闭环控制会有一个启动加湿器的控制量,使湿度快速上升,然而加湿会

表2 温度和湿度回路补偿量 C_T 和 C_H 隶属度Tab.2 Membership of C_T and C_H

C_T, C_H	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.9	1.0	0.7	0.2	0	0
ZO	0	0	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0
NS	0	0	0.2	0.7	1.0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
NM	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.8	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

导致内部温度的下降,所以需要对温度控制回路进行中度的补偿。由总结出来的模糊规则,经过模糊推理并采用最大隶属度法对推理结果进行反模糊化处理可以得出温度补偿和湿度补偿的模糊决策值,再乘以比例因子 k_3 便能够得到实际的补偿值。

3.3.2 模糊控制器设计

温度和湿度控制经过模糊解耦后转换成2个独立变量控制,即温度单回路控制和湿度单回路控制。控制系统设计了温度模糊控制器和湿度模糊控制器,系统中温度偏差 e_T 的变化范围为 $[-4, 4]$, 其变化率 Δe_T 变化范围为 $[-0.6, 0.6]$, 湿度偏差 e_H 及其变化率 Δe_H 的范围分别为 $[-20\%, 20\%]$ 和 $[-8\%, 8\%]$, 以温度模糊控制器的设计为例进行说明,湿度模糊控制器与之类似。

温度模糊控制器是一个两输入、单输出的二维模糊控制器,输入变量为被控对象的温度偏差 e_T 和偏差的变化率 Δe_T , 输出变量为温度调控设备的工作时间 t , 相应的模糊集为 E 、 ΔE 和 T 。 E 、 ΔE 的模糊语言变量定义为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$, 相应的模糊论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 温度偏差的量化因子 $k_1 = 1.5$, 温度变化率的量化因子 $k_2 = 10$ 。输出变量执行机构工作时间 t 最长为 20 min, 其基本论域为 $[-20, 20]$, T 的模糊集为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$, 模糊论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 量化因子 $k_t = 0.3$ 。系统在模糊控制器设计过程中根据对环境因子的影响将执行机构控制进行了合并处理,如温度控制中,当输出为正值时则加热器工作开始升温,负值时压缩机工作开始降温,将原本两输入、两输出的温度模糊控制器简化为两输入、单输出结构。选择三角形隶属函数,各变量的隶属函数如图7和图8所示。

本系统中模糊规则采用“IF... AND... THEN”的结构模式,根据实际试验总结和专家的有关知识,得到49条规则,并制定出如表3所示的模糊控制规则表。

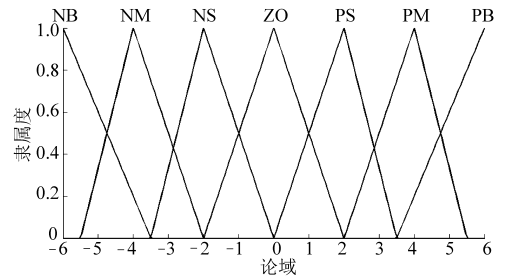
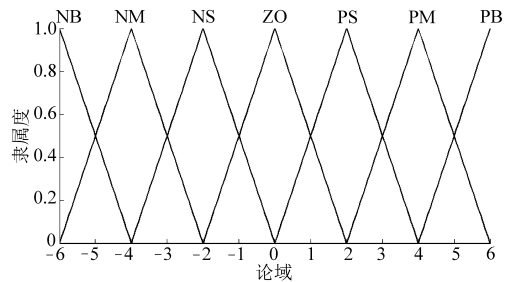
图7 温度偏差 E 及其变化率 ΔE 隶属函数曲线Fig.7 Membership function curves of E and ΔE 图8 输出变量 T 隶属函数曲线Fig.8 Membership function curves of T

表3 模糊控制规则

Tab.3 Fuzzy control rule

ΔE	E						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NM	NM	NM	NM
PM	ZO	ZO	NM	NB	NB	NB	NB
PB	ZO	ZO	NM	NB	NB	NB	NB

由表3中每一条规则,可求出相应的模糊关系 R_1, R_2, \dots, R_{49} , 模糊控制总规则对应的模糊关系矩阵 R 为: $R = R_1 \vee R_2 \vee \dots \vee R_{49}$ (\vee 为取大运算符)。然后根据 E 和 ΔE 的量化整数值进行模糊推理合成规则运算,得出输出模糊集 $T = (E \times \Delta E) \circ R$ 。最后采用最大隶属度法对此模糊集合进行清晰化处理,最终得出输出量的模糊控制决策表如表4所示。

表 4 控制量 T 的模糊决策表Tab.4 Fuzzy decision of T

ΔE	E													
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
-6	6	6	6	5	4	4	4	3	3	1	0	0	0	
-5	6	6	6	5	4	4	4	3	2	1	0	0	0	
-4	6	6	6	5	4	3	3	2	1	0	-1	-1	-1	
-3	5	5	5	5	4	3	3	2	1	0	-1	-1	-1	
-2	4	4	4	4	4	3	3	1	0	-1	-3	-3	-3	
-1	4	4	4	3	3	2	1	0	-1	-2	-4	-4	-4	
0	4	4	4	3	3	1	0	-1	-3	-4	-6	-5	-6	
1	3	3	3	2	1	0	0	-1	-3	-4	-5	-5	-5	
2	3	2	3	1	0	0	-2	-2	-3	-4	-6	-5	-6	
3	1	1	1	0	0	-1	-2	-2	-3	-4	-5	-5	-5	
4	0	0	0	0	-2	-2	-3	-3	-3	-4	-6	-5	-6	
5	0	0	0	0	-1	-2	-3	-3	-3	-4	-5	-5	-5	
6	0	0	0	0	-2	-2	-3	-3	-3	-4	-6	-5	-6	

3.3.3 控制算法的实现

温湿度控制系统输出控制量是模糊控制输出加上模糊解耦补偿值,利用离线程序设计的方法,将最终的控制输出以查询表的形式存放在 STM32 的 Flash ROM 中,在控制决策任务中编制一个查找查询表的子程序。实际控制过程中,在每个控制周期中根据采集计算到的温湿度偏差及其偏差变化率查询得出实际的控制输出量。系统温湿度数据采集与控制流程图如图 9 所示。根据查表求出的控制量去控制执行机构,能够实现对微型植物工厂内部温湿度的智能控制。

4 结束语

针对微型植物工厂智能化控制的需要,设计了一种新型的基于嵌入式平台的微型植物工厂控制系统,该系统采用高性能的 STM32 芯片和嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 进行硬件和软件设计,并利用模糊解耦和模糊控制的方法实现了温湿度的解耦和

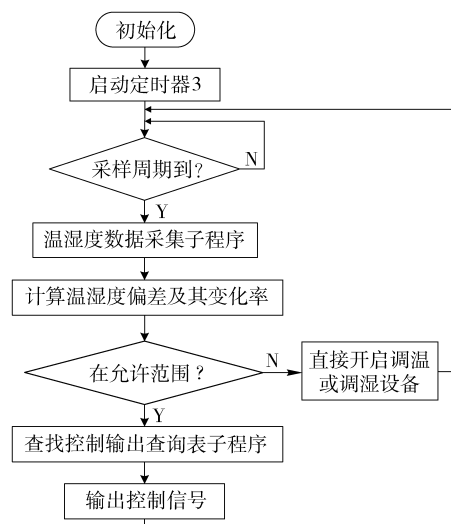


图 9 数据采集与控制流程图

Fig. 9 Flow diagram of data acquisition and control

有效控制,系统运行稳定。该智能控制系统的成功研制为微型植物工厂快速进入市场应用奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 杨其长,张成波. 植物工厂概论[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2005.
- 2 杨其长,魏灵玲,刘文科,等. 植物工厂系统与实践[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
- 3 Katsumi Ohyama, Toyoki Kozai, Changhoo Chun. Development of closed-type transplant production system and its application[J]. Journal of Society of High Technology in Agriculture, 2003, 15(1): 1~10.
- 4 Katsumi Ohyama, Toyoki Kozai, Chieri Kubota, et al. Coefficient of performance for cooling of a home-use air conditioner installed in a closed-type transplant production system[J]. Journal of Society of High Technology in Agriculture, 2002, 14(3): 141~146.
- 5 Stipanicev D, Marasovic J. Networked embedded greenhouse monitoring and control[C]// Proceedings of 2003 IEEE Conference on Control Application, 2003, 2: 1350~1355.
- 6 魏灵玲,杨其长,段发民,等. 一种微型蔬菜工厂:中国,201010225792.4[P]. 2011-01-12.
- 7 商守海,周增产,卜云龙,等. JPWZ-1型微型植物工厂的研制[J]. 农业工程, 2012, 2(1): 44~47.
Shang Shouhai, Zhou Zengchan, Bu Yunlong, et al. Development of JPWZ-1 micro plant factory[J]. Agricultural Engineering, 2012, 2(1): 44~47. (in Chinese)

- 8 刘波文,孙岩. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 经典实例-基于 STM32 处理器[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2012.
- 9 余泳昌,胡建东,毛鹏军. 现代化温室环境参数的模糊控制[J]. 农业工程学报,2002,18(2):72~75.
Yu Yongchang,Hu Jiandong,Mao Pengjun. Fuzzy control for environment parameters in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2002,18(2):72~75. (in Chinese)
- 10 彭勇刚,韦巍. 人工气候箱温湿度模糊控制[J]. 农业工程学报,2006,22(8):166~169.
Peng Yonggang,Wei Wei. Fuzzy control over temperature and humidity of artificial climate chest[J]. Transactions of the CSAE, 2006,22(8):166~169. (in Chinese)
- 11 李迎霞,杜尚丰. 中国温室环境智能控制算法研究进展[J]. 农业工程学报,2004,20(2):267~272.
Li Yingxia,Du Shangfeng. Advances of intelligent control algorithm of greenhouse environment in China[J]. Transactions of the CSAE,2004,20(2):267~272. (in Chinese)
- 12 冯帆,邱立春,刘维佳. 模糊控制在温室温湿度控制系统中的应用[J]. 农机化研究,2009,31(6):148~150.
Feng Fan,Qiu Lichun,Liu Weijia. Application of fuzzy control in greenhouse temperature and humidity control system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2009,31(6):148~150. (in Chinese)
- 13 严妍,雷波,汪力威,等. 不同昼夜温度对水培生菜生长和品质的影响[J]. 长江蔬菜,2010(24):39~42.
Yan Yan,Lei Bo,Wang Liwei,et al. Effects of different day and night temperature on the growth and quality of hydroponic lettuce [J]. Journal of Changjiang Vegetables,2010(24):39~42. (in Chinese)