

# Design of an Intelligence Water Saving Irrigation System

Xiaoqing Ou<sup>1,2</sup>, Minsheng Yang<sup>1</sup>, Yu Wang<sup>1</sup>, Jinfei Wu<sup>1</sup>, Maolin Li<sup>1</sup>, Zhigang Zhou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Computer and Electrical Engineering, Hunan University of Arts & Science, Changde Hunan

<sup>2</sup>School of Physics & Electronics, Hunan University, Changsha Hunan

Email: yms1234@163.com

Received: Oct. 8<sup>th</sup>, 2019; accepted: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2019; published: Oct. 30<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In order to improve the utilization rate of water resources and the intelligent level of irrigation, a water-saving irrigation control system applied in sprinkler irrigation environment was designed. The system is mainly composed of STM32 minimum system, temperature and humidity detection module, WIFI module, auxiliary power module and irrigation control module. Through the Internet of Things cloud platform, the main controller and the mobile APP are exchanged data. At the same time, a mobile phone APP based on the Android platform is designed and implemented, which enhances the human-computer interaction friendliness. Using the simulink tool of MATLAB, the simulation of fuzzy control algorithm based on the initial flowering period of cucumber was realized. The humidity and humidity error values were used as input to control the irrigation time and achieve the purpose of water-saving irrigation under sprinkler irrigation mode. Through simulation and corresponding experiments, the system can realize both automatic and manual irrigation modes, save manpower and convenient operation, and has certain promotion.

## Keywords

Water-Saving Irrigation, Microprocessor, Android APP, Temperature and Humidity Acquisition, Fuzzy Control

---

# 一种智能节水灌溉系统的设计

欧晓晴<sup>1,2</sup>, 杨民生<sup>1</sup>, 王宇<sup>1</sup>, 吴金飞<sup>1</sup>, 李茂林<sup>1</sup>, 周志刚<sup>1</sup>

<sup>1</sup>湖南文理学院, 计算机与电气工程学院, 湖南 常德

<sup>2</sup>湖南大学, 物理与微电子科学学院, 湖南 长沙

Email: yms1234@163.com

收稿日期：2019年10月8日；录用日期：2019年10月23日；发布日期：2019年10月30日

## 摘要

为了提高水资源利用率以及灌溉的智能化水平，设计了一个应用于喷灌环境下的节水灌溉控制系统。系统主要由STM32最小系统、温湿度检测模块、WIFI模块、辅助电源模块以及灌溉控制模块组成。通过物联网云平台实现了主控制器与手机APP进行数据交换，同时设计并实现了一款基于Android平台的手机APP，增强了人机交互友好性。采用MATLAB的simulink工具实现了以黄瓜初花期为例的模糊控制算法仿真，将湿度以及湿度误差值作为输入量，控制灌溉时间，达到喷灌模式下节水灌溉的目的。通过仿真以及相应实验证明该系统可以实现自动及手动两种灌溉模式，节省人力操作方便，具有一定的推广性。

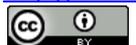
## 关键词

节水灌溉，微处理器，Android APP，温湿度采集，模糊控制

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

自动化农业在国外普及较早，如英国等发达国家设计并实现了模仿天然降雨的喷灌系统。国内相对于国外在智能灌溉特别是节水灌溉起步比较晚，如冯兆宇等人设计了基于灰色神经网络与模糊控制的寒地水稻系统，该系统能预测作物灌水量达到适时适量灌溉的目的[1]。智慧农业是当今国际社会的发展趋势，仅凭个人经验决定是否灌溉的粗犷式传统农业也在逐步地淘汰[2]。把物联网技术与适当的灌溉模型结合起来，推动产业升级换代为新模式[3]，更适合作物生长同时人机交互也更加友好。

不同的作物不同的生长周期对水的需求量也不同，而作物的生产是湿度与光照强度、温度等因素相互耦合起来的非线性系统。这两点给灌溉的精准化控制增加了很大的难度。而模糊控制算法是以模糊集合理论、模糊语言变量及模糊推理为基础的一类控制方法[4]。它是人类智能活动的体现，结构简单、适应性好，能够较好地适用于农业灌溉领域。

## 2. 系统方案

采用STM32作为主控制器，选取入土式湿度传感器以及DS18B20温度传感器作为检测装置并搭建传感器网络，检测信号经过主控制器处理后一方面控制电磁阀灌溉，另一方面由ESP8266 WIFI模块通过以太网传送到物联网云平台，手机APP与物联网云平台可以进行数据交换，既能实时监控又能用手机APP直接控制灌溉。由于农田灌溉系统是一个非线性、大惯性系统，设计采用模糊控制算法，以湿度以及湿度误差值作为输入量，控制灌溉时间，达到节水灌溉的目的。方案框图如图1所示。

灌溉布局图如图2所示。将农田分为多个灌溉区域，灌溉水源引出主灌溉支路，每个主支路又可以分出多个毛细管支路，每一个区域采用五点采样法采集温湿度，经过相应数据处理后用来衡量该区域的温湿度。每个区域都有独立的电磁阀控制灌溉。以此实现大范围喷灌。



Figure 1. Solution diagram

图 1. 方案框图

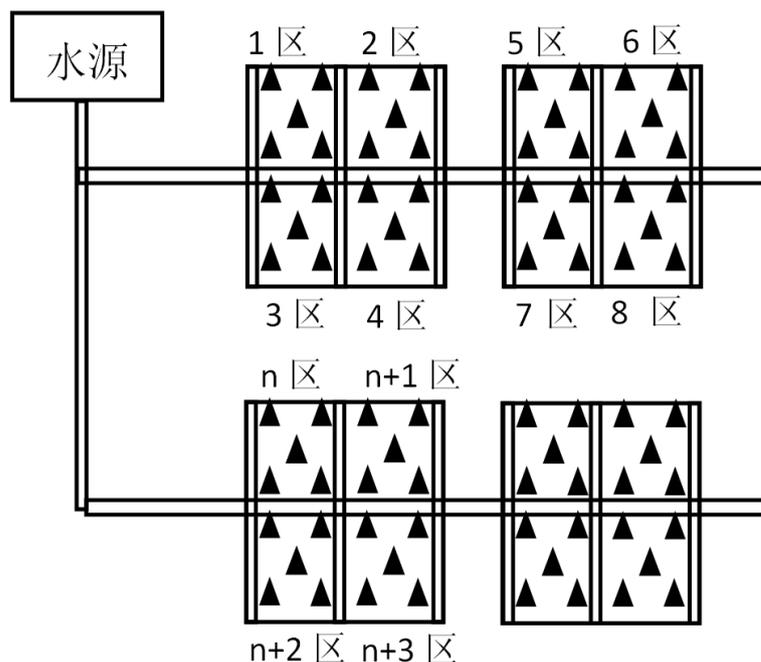


Figure 2. Irrigation layout

图 2. 灌溉布局图

### 3. 硬件设计

#### 3.1. STM 最小系统模块

本设计采用 STM32F103C8T6 作为主控芯片，最小系统电路图如图 3 所示。最小系统包括电源电路、晶振电路、复位电路以及下载仿真电路。芯片第五脚 OSCIN 与第六脚 OSCOUT 是时钟电路引脚，外接一个 8MHZ 的晶振，为芯片提供“心跳”。芯片第七脚 NRST 为复位引脚，将其接成上拉复位，构成复位电路。芯片 34 脚 SWDIO 与 37 脚 SWTCK 用来进行 SWD 仿真调试，构成下载仿真电路[5]。另外，芯片一号引脚接 3.3 V，给芯片以及其他组件提供正常工作电源。

#### 3.2. 温湿度检测电路

采用入土式土壤湿度传感器检测湿度。当湿度变化时，湿敏电阻值也跟着相应的变化。将其与分压电阻串联，通过 AD 转换测出电阻的分压值，以此来衡量土壤湿度。

采用防水型 DS18B20 作为温度传感器。该数字型温度传感器测温范围为 $-55^{\circ}\text{C}$ ~ $+125^{\circ}\text{C}$ ，固有测温分辨率为 $0.5^{\circ}\text{C}$ ，使用方便无需外接电路，可编程分辨率为 9~12 位[6]。

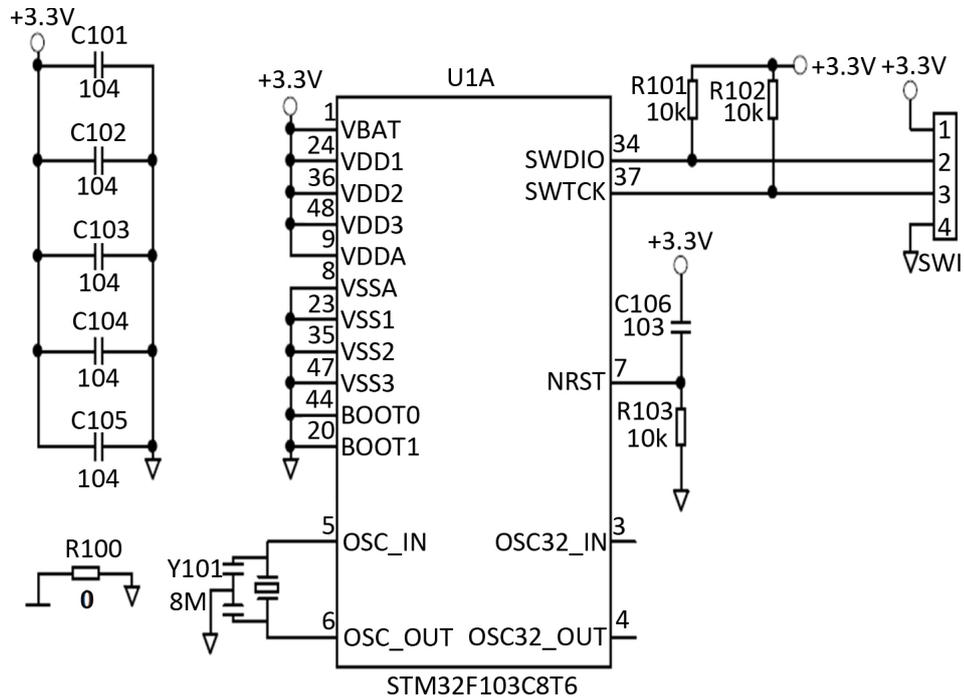


Figure 3. STM32 minimum system

图 3. STM32 最小系统

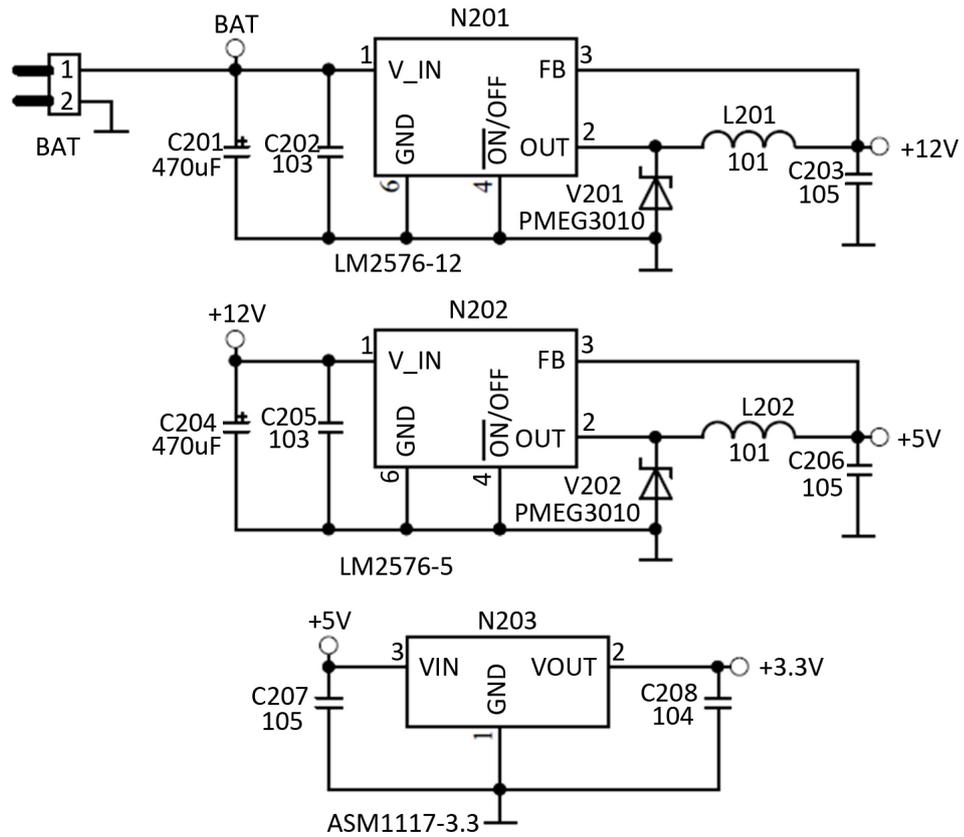


Figure 4. Schematic diagram of auxiliary power module

图 4. 辅助电源模块原理图

### 3.3. 灌溉控制电路

PNP 三极管作为开关管与继电器线圈部分串联, 为了保护继电器, 在线圈两端并联一个二极管。继电器开关部分接常开开关, 通过单片机 I/O 口电压变化来控制电磁阀两端电压。

选用型号为 2W-025-08 的常闭型电磁阀[7], 该电磁阀额定电压为 12 V, 流量孔径为 2.5 mm, 采用平板式膜片结构启闭可靠, 大大增强产品的寿命。

### 3.4. 辅助电源电路

辅助电源电路如图 4 所示。整个系统所需的电压等级为 12 V、5 V、3.3 V, 其中, 12 V 为电磁阀额定工作电压。为了给电磁阀提供较为稳定的电压, 选用 15 V 的电池为整个系统供电。15 V 电压经过 LM2576-12 芯片以及一个 BUCK 型降压电路将电压降为 12 V, 12 V 电压经过 LM2576-5 芯片降为 5 V 对 ESP8266-WIFI 模块进行供电, 接着通过 LM2576-3 芯片降至 3.3 V 对 STM32 进行供电。

### 3.5. WIFI 模块电路

WIFI 模块原理图如图 5 所示。ATK-ESP8266 是 ALIENTEK 推出的一款高性能的 UART-WIFI 模块。该模块采用串口与 MCU 通信方式, 内置 TCP/IP 协议栈, 能够实现串口与 WIFI 之间的转换[9]。通过 ATK-ESP8266 模块, 传统的串口设备只是需要简单的串口配置即可通过网络传输自己的数据, 它支持 LVTTTL 串口, 兼容 3.3 V 和 5 V 单片机系统, 可以很方便的与产品进行连接。

## 4. 软件设计

### 4.1. 主程序

主程序流程图如图 6 所示, 程序运行, 执行完所有内部资源配置以及外围设备初始化之后, 进入定时器中断。定时器中断中设置两个不同时间的定时任务, 如图 7 所示, 图中 flag 为控制模式选择的标志位。每隔 200 ms 通过 WIFI 将数据发送至服务器, 同时每隔 600 ms 查询标志位状态。当标志位为“0”

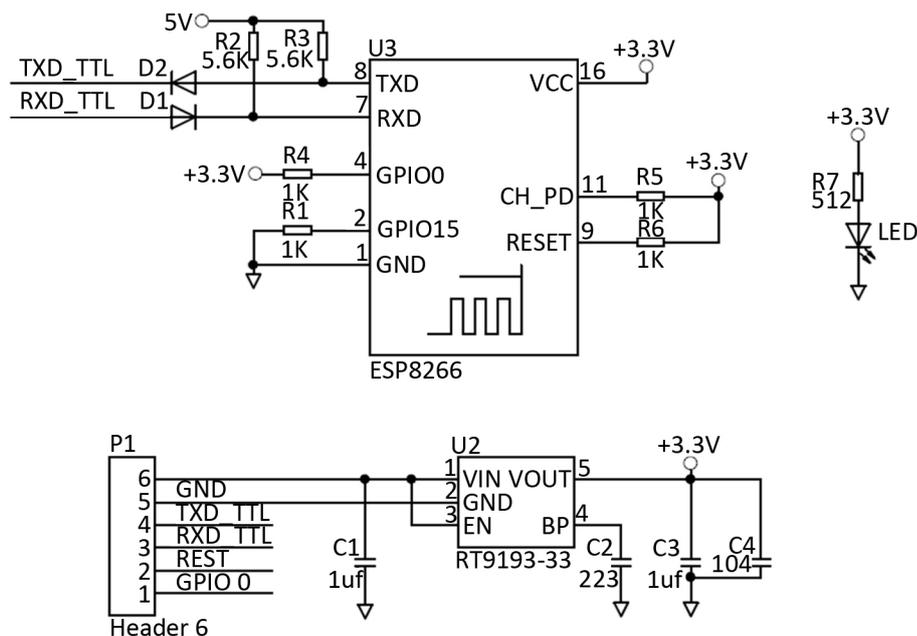


Figure 5. Schematic diagram of WIFI module [8]

图 5. WIFI 模块原理图[8]

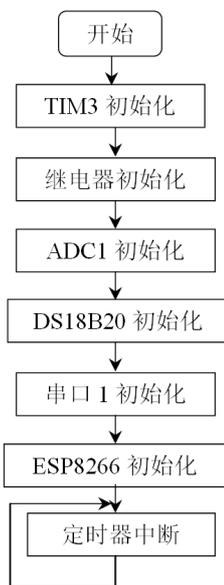


Figure 6. Main program flow chart  
图 6. 主程序流程图

时为自动灌溉模式，系统检测湿度是否达到指定范围，当低于指定湿度值则开启电磁阀灌溉；当 APP 发送指令使标志位置“1”时，切换到手动灌溉模式，可以通过手机 APP 发送控制指令到云平台直接控制电磁阀的开断。

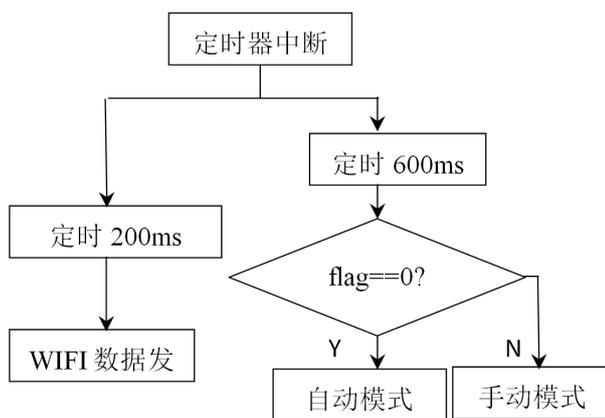


Figure 7. Timer interrupts flowchart  
图 7. 定时器中断流程图

#### 4.2. 灌溉控制部分程序

对测试区域温湿度进行采集处理后，判断当此时处理后数据是否达到设定值，未达到时控制电磁阀开启进行灌溉，若已达到则关闭电磁阀。

#### 4.3. 数据处理部分程序

检测模块采用五点采样法，对五组温湿度采集十次数值，取十次数据的平均值，接着对五组数据进行滤波，排除传感器非正常工作情况，取滤波后五组数据的平均值，通过模糊控制器处理后执行指定灌溉动作。

#### 4.4. 通信部分程序

串口 1 初始化完成后, 开始自动搜寻指定 WIFI, 当搜寻到 WIFI 时进行连接, WIFI 连接到服务器时返回指定字符“OK”并开始进行数据传输。

### 5. 上位机 APP 设计

基于 Android 平台的智能灌溉 APP 控制终端设计采用 Android studio 实现设计。这是一个基于 IntelliJ IDEA 的 Android 集成开发工具[10], 它在页面 xml 样式参数配置方面强, 参数可直接选择配置, 代码提示和搜索功能非常强大。

#### 5.1. 设计步骤

- 1、根据项目要求, 对 APP 的功能进行定位, 确定功能需求;
- 2、构建节水灌溉系统 APP 的雏形, 设计出框图;
- 3、根据设计的框图搭建基本框架;
- 4、根据需求, 编写程序, 实现所需功能;
- 5、对 APP 功能进行测试, 构建与主控制器之间联系, 上机测试;
- 6、对 APP 功能进行完善。

#### 5.2. 界面介绍

进入 APP 后跳转进入登录界面, 输入正确的账号以及密码登录成功后, 手机 APP 从云平台获取“ACCESSTOKEN”, 这个 ACCESSTOKEN 就相当于开门的钥匙, 获取之后手机 APP 就能与平台进行通信。接着进入图 8 所示控制区域选择界面, 当选中 A 区时, 进入 A 区控制界面, 该界面可以实时显示该区域的温湿度, 可通过如图 9 所示的开关按钮操控电磁阀执行灌溉操作。



Figure 8. Area selection interface  
图 8. 区域选择界面



Figure 9. Operation interface  
图 9. 操作界面

## 6. 系统仿真及实物制作

### 6.1. 系统仿真

模糊控制是以模糊集理论、模糊语言变量和模糊逻辑推理为基础的一种智能控制方法，它从行为上模仿人的模糊推理和决策过程[4]。本设计采用以黄瓜初花期为例利用模糊推理的思想将将被控量  $e$  以及误差值  $eu$  作为模糊控制器的两个输入，输出量为灌溉时间，误差值等于设定值减去测量值  $eu = h_0 - h$ ，该结构框图如图 10 所示。

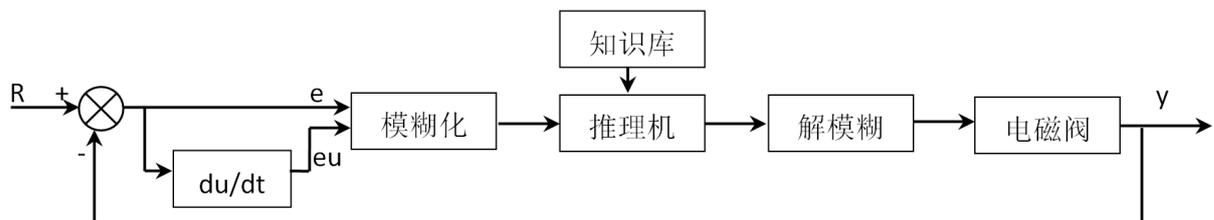


Figure 10. Block diagram of fuzzy control structure  
图 10. 模糊控制结构框图

模糊控制器采用二维的 *mandani* 控制器，采用重心法解模糊化处理，即取隶属度函数曲线与横坐标围成面积的重心作为模糊推理的最终输出值，即使输入信号只有微小变化，输出也会发生变化，灵敏性更好[4]。连续论域中，输出

$$V_0 = \frac{\int_v v \mu_v(v) dv}{\int_v \mu_v(v) dv} \quad (1)$$

### 6.1.1. 黄瓜水分需求特点

黄瓜是较为常见的蔬菜，本系统以黄瓜为例进行系统仿真。黄瓜的生长分为幼苗期、初花期、初果期和盛瓜期，对于不同的生长时期需水量也不同，需要分情况讨论。

为了使黄瓜产量以及水分利用率达到最大化，通过查找大量资料可以得出以下结论：

幼苗期最佳土壤湿度范围大约为[26%, 32%]，最佳土壤湿度约为 30%；

初花期最佳土壤湿度范围大约为[19%, 32%]，最佳土壤湿度约为 23%；

初瓜期最佳土壤湿度范围大约为[25%, 32%]，最佳土壤湿度约为 26%；

盛瓜期最佳土壤湿度范围大约为[25%, 32%]，最佳土壤湿度约为 28% [11]。

### 6.1.2. 模糊规则表建立

将湿度以及湿度的误差作为模糊输入变量。首先将湿度  $e$ 、湿度误差  $eu$  以及灌溉时间  $u$  划为 5 个等级， $e = \{\text{干燥, 较干燥, 适中, 较潮湿, 潮湿}\}$ ； $eu = \{1 \text{ 级, 2 级, 3 级, 4 级, 5 级}\}$ ； $u = \{T1, T2, T3, T4, T5\}$ ；根据系统要求查找资料，取  $e$ ， $eu$  的论域均为： $\{1, 2, 3, 4, 5\}$ ，输出量  $u$  的论域为 $\{0, 1, 2, 3\}$ 。将上述控制规则采用“IF A, B THEN C”的形式来描述可得到 25 种规则，规则表如表 1 所示。

Table 1. Table of fuzzy control rules

表 1. 模糊控制规则表

eu \ e	eu_hum1	eu_hum2	eu_hum3	eu_hum4	eu_hum5
hum1	T1	T1	T2	T2	T3
hum2	T1	T2	T2	T3	T3
hum3	T2	T3	T3	T3	T4
hum4	T3	T3	T3	T4	T4
hum5	T3	T4	T4	T4	T4

### 6.1.3. 仿真结果

构建规则完成后，得到该模糊控制输出曲面如图 11 所示。当湿度值与误差值不同时，对应的灌溉控制时间也不同。如误差小且所需要的湿度值小时灌溉时间较小为 T1，该时间值根据不同的实验环境而变化。

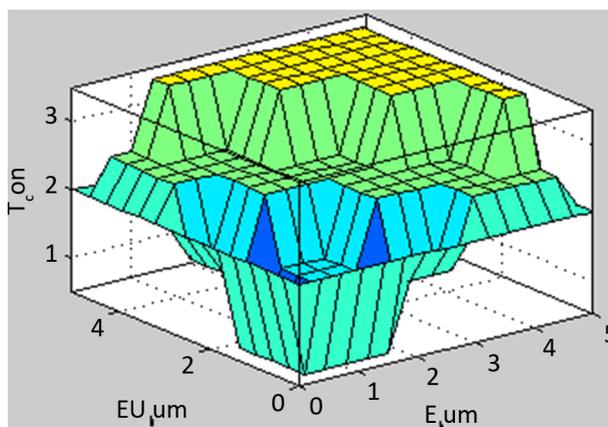


Figure 11. Fuzzy control output surface

图 11. 模糊控制输出曲面

通过仿真调节参数得到被控对象传递函数为

$$G(s) = \frac{10}{10s+1} \quad (2)$$

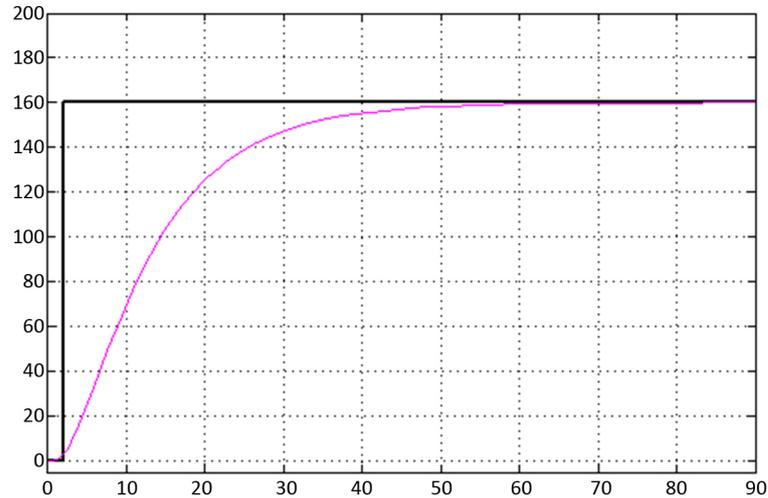


Figure 12. Fuzzy control response curve  
图 12. 模糊控制响应曲线

通过 simulink 搭建模糊控制模型，设定初始值为 160，仿真时间为 100 s，用 scope 查看波形如图 12 所示。仿真证明该控制模型能够平稳地达到设定值，尽管快速性不够好，但是总的来说能够达到节水灌溉的要求。

## 6.2. 实物制作

实物图如图 13 所示。设置好传感器摆放位置后将各个部位进行固定，并检查确认导管没有漏水现象。



Figure 13. Picture of real products  
图 13. 实物图

## 7. 总结

本文对节水灌溉模型的设计、仿真与制作进行了详细的阐述。考虑了农田灌溉系统的滞后性与非线性

性, 设计了基于模糊控制算法的控制系统, 通过 MATLAB 仿真选取了合适的参数来调节电磁阀的导通时间, 达到节水灌溉的目的。通过需求分析、建立框图以及程序编写, 使用 Android Studio 设计了一款操作简单, 界面清爽的基于 Android 系统的手机应用程序[12]。系统成本较低、操作方便、控制系统较为稳定, 满足了智能节水灌溉的基本要求, 但是快速性相对较差。

## 基金项目

论文受到湖南省教育厅科学研究项目支持(编号: 10C1005)和国家大学生研究性学习计划项目支持(基于土壤湿度检测的智能灌溉系统设计)。

## 参考文献

- [1] 冯兆宇, 崔天时, 张志超, 等. 基于灰色神经网络与模糊控制的寒地水稻灌溉制度[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(4): 71-79.
- [2] 吴迪, 刘天宇, 宋涛, 等. 基于模糊控制的智能节水灌溉控制系统设计[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 245-249.
- [3] 刘晓娟, 孙文峰, 陈宝昌, 等. 我国节水灌溉发展前景及喷灌设备市场发展趋势[J]. 农机使用与维修, 2012(4): 9-10.
- [4] 孙增圻. 智能控制理论与技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [5] 刘军. 例说 STM32[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014.
- [6] 杨辉. 基于 ZigBee 技术的智能灌溉系统设计[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2018.
- [7] 纪昌青. 基于 ZigBee 和 Web 技术的远程温室监控系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2017.
- [8] 深圳市安信可科技有限公司. ESP8266WiFi 模块用户手册[EB/OL]. <http://www.ai-thinker.com>, 2014.
- [9] 汪腾. 基于 STM32 的扫地机器人控制系统设计[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- [10] 郭森. 第一行代码[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.
- [11] 孙静. 基于模糊控制的智能灌溉系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2014.
- [12] 王运红, 何灵娜. 基于 Android 平台智能家居客户端的设计与实现[J]. 机电工程, 2014, 31(8): 1086-1089.