

基于模糊控制的温室内土壤湿度智能监控系统设计

钱 稷¹ 周 娟² 张广华¹ 刘 杨³ 邸 葆¹

1. 河北农业大学园艺学院, 保定 071000; 2. 河北农业大学机电工程学院, 保定 071000;

3. 河北软件职业技术学院软件工程系, 保定 071000

摘要 为提高温室管理水平, 针对有线系统监测布线不灵活或长时无人监测和无线系统数据传输不稳定等问题, 设计一种基于 GSM 技术具有远程交互功能的土壤湿度监控系统。该系统由 MSP430 控制器、GSM 模块灌溉控制电路等组成。通过 GSM 模块以短信的方式实现与用户之间的交互功能, 并利用模糊控制算法进行精确灌溉。运行试验结果表明: 设计的系统工作稳定, 数据传输距离不受限, 节水灌溉效果显著, GSM 模块收发信息的正确率达 100%; 接收数据正确率达 98.73%, 实时监控灌溉性能稳定; 能够实现精确灌溉, 与人工漫灌相比节省 20%~30% 的用水量, 节水效果显著。

关键词 土壤湿度; GSM 短信模块; 模糊控制; 自动灌溉

中图分类号 S 275 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)05-0121-06

土壤湿度对温室作物生长发育有重要影响, 而温室环境的监控仅靠人工去完成已远远不能满足需要, 因此, 为温室环境监控配备一个良好的监控系统, 不仅可取得显著的经济效益, 而且还有不可估量的社会效益。国内现有的控制系统中能够实现信息的采集、处理、传递、存储、检索等各个环节, 但其通信方式普遍采用的是基于 485 总线或 232 总线的有线通信方式和 CC1000 或 NRF 系列的无线频段通讯方式。有线通信方式存在线缆错综复杂、安装维护难度大、成本高等缺点; 无线频段通讯方式存在数据传输距离短、传输信号不稳定、时效性差等不足, 并因智能化程度不高、便携性差等, 已经跟不上温室精细管理的步伐。在国外, 如美国、澳大利亚、巴西等国家, 对土壤水分的研究投入相当大, 而且也具备一定的实力, 研制出一些先进的仪器, 像美国 METZER TOLEDO 公司的土壤水分测试仪、Moistest 土壤水分检测仪等, 因其价格比较昂贵, 对于科研院所和精确测量实验室等尚可接受, 但在农业生产中难以推广, 因此, 研制、开发具有适合我国国情的功耗低、性能稳定、通讯距离不受限制的监控系统具有重要意义。

土壤湿度需要进行实时监测, 才能达到及时、精准控制、有效节水的效果^[1]。本试验设计的系统应

用 GSM 无线通讯技术和模糊控制技术, 实现温室内土壤参数的实时检测和节水灌溉控制。GSM 模块能够实现远程数据传输, 并具有信号稳定、覆盖范围广、价格便宜、永远在线等特点, 特别适用于需频繁传送小流量数据的监测领域^[2]。系统通过模糊控制规则对给水阀执行有效控制, 实现温室作物的智能精细灌溉功能, 可达到节水灌溉的目的。

1 系统整体设计

温室湿度监控系统主要是以 MSP430F149 单片机为核心部件, 通过对数据采集、数据传输、人机交互、电源处理等模块的设计, 实现系统的自动采集、实时显示、无线传输、自动控制灌溉等功能。系统整体结构如图 1 所示。

2 主要功能模块设计

2.1 系统低功耗的设计

本系统选用 MSP430F149 单片机作为系统核心处理芯片。CPU 中包含 16 位寄存器用于缩短指令执行时间, 可以在 1 个时钟周期内完成寄存器与寄存器间的操作。CPU 的额定工作电流为 0.1~400 μA , 额定电压为 1.8~3.6 V, 从待机到唤醒模式相应时间不超过 6 μs , 并可以使启动更加迅速。

本设计系统采用 PDU 模式收发短信。此模式被所有手机支持,可以使用任何字符集。系统将 SMS 地址、中心电话号码、用户电话号码和湿度信息通过 UCSII 方式进行编码并压缩成 PDU 数据包,以 UCSII 码的格式发送出去,实现中文短消息的发送^[10]。

1)发送的 PDU 数据格式分析。假设中心号码是+8613800312500,目标号码是 13731692689,消

息内容是“当前湿度值为 52%”。从 GSM 模块发出的 PDU 数据包是 0891683108301105F0/1000D91683137612986F/000800125F53524D6E7F5E/A6503CFF1A FF15FF120025。编码格式见表 1。

2)GSM 发送信息程序段的编写。系统通过 send string 函数实现通过串口发送一串字符串,通过 comp string 函数实现字符串的比较功能。发送流程如图 3 所示。

表 1 PDU 编码格式
Table 1 PDU encoding format

PDU 段 Protocol data unit	分段含义 Wise meaning
0891	SMSC 地址的长度和格式 The length and format of The SMSC address
683108301105F0	在中心号码 8613800312500 的后面加"F",再将相邻的两位数字颠倒得到的 SMSC 地址 Add "F" in the back of center number 8613800312500, then two digit reversed adjacent obtained SMSC address
1100	文件头字节和信息类型 The file header bytes and the type of information
0D91	目标号码长度类型 The target number length type
683137612986F9	目标号码 8613731692689 的后面加"F",再将相邻的两位数字颠倒得到的目标地址 Add "F" behind the target number 8613731692689, then the target address two digits reversed adjacent to get
000800	协议标示,采用 UCSII 编码方式 The agreement marking, the system uses the UCSII coding
12	发送信息的 UCSII 码的长度除以 2,以十六进制表示 The length divided by the UCSII code to send information 2, sixteen hexadecimal representation
5F53524D6E7F5EA6503-CFF1AFF15FF120025	用户信息“当前湿度值:52%”的 UCSII 码 User information “the current humidity: 52%” UCSII code

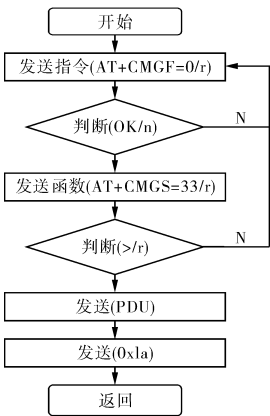


图 3 GSM 模块发送信息流程图

Fig.3 Send information flow for GSM module

3 智能控制的设计

3.1 模糊控制器的设计

模糊控制是将由精确量转化来的模糊信息,按照总结手动控制策略取得的语言控制规则进行模糊推理,给出模糊输出判决,并再将其转化为精确量,作为反馈送到被控对象(或过程)的控制作用^[11]。本设计中作物的需水量模糊推理系统是一个双输入单输出的模糊推理系统,以土壤湿度实际输出值与设定期望值的误差 E 和误差变化率 EC 作为输入,以给水时间 T 作为输出^[12]。模糊控制系统的结构如图 4 所示。

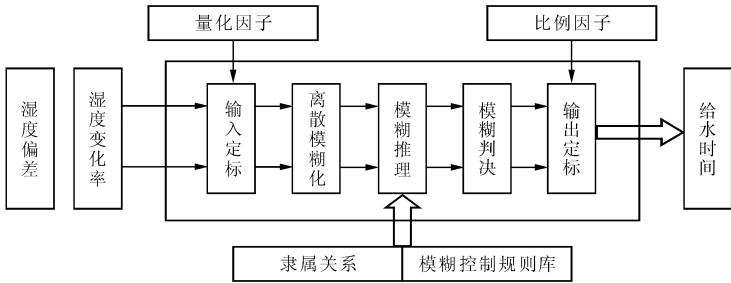


图 4 模糊控制系统结构框图

Fig.4 Wireless hardware modules

3.2 模糊控制表的计算

取偏差 E 、偏差变化率 EC 的论域为 $[-4, 4]$, 给水时间的范围可取 $[0, 30]$ min。首先, 连续变化量使之离散化, 构成 7 个整数的离散集合, E 和 EC 的论域设为 $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ 。然后, 对其语言变量进行取值, 模糊语言变量分为 {正大 (PB), 正中 (PM), 正小 (PS), 零 (ZO), 负小 (NS), 负中 (NM), 负大 (NB)}。输出控制量 U 取 4 个语言值, 分别为 {关闭 (ZO), 短时间灌溉 (PS), 中等时间灌溉 (PM), 长时间灌溉 (PB)}。量化因子 KE 和 KEC 由下式确定:

$$KE = n/xE, KEC = n/xEC$$

式中 xE 、 xEC 表示 E 和 EC 的实际范围, n 表示整个论域的范围^[11-13]。

表 2 模糊控制规则
Table 2 Fuzzy control rule

E	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	0	0	0	0	0	0	PS
NM	0	0	0	0	0	PS	PM
NS	0	0	0	0	0	PS	PM
ZO	0	0	0	0	PS	PM	PB
PS	0	0	0	0	PS	PM	PB
PM	0	0	0	PS	PM	PB	PB
PB	0	0	PS	PM	PM	PB	PB

3.3 模糊控制规则及模糊推理

模糊控制规则是根据有经验的操作者或专家的

控制知识和经验制定出若干模糊控制规则, 对于双输入单输出的控制系统, 其规则具有如下形式:

$$R_1: \text{IF } E \text{ is } E_1 \text{ AND } EC \text{ is } EC_1 \text{ THEN } T \text{ is } T_1$$
$$R_2: \text{IF } E \text{ is } E_2 \text{ AND } EC \text{ is } EC_2 \text{ THEN } T \text{ is } T_2$$

.....

$$R_n: \text{IF } E \text{ is } E_n \text{ AND } EC \text{ is } EC_n \text{ THEN } T \text{ is } T_n$$
$$R = \{R, R_1, \dots, R_n\}$$

式中 E_i, EC_i 和 $T_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是 E, EC 和 T 在其论域上的语言变量值。所有规则组合在一起构成了规则库。把上述模糊规则列成模糊状态表形式, 逐渐形成最佳灌溉方案。其中的一条规则: R_i 如果 E 是 E_i and EC 是 EC_i , 则 T 是 T_i , 其模糊蕴含关系定义为

$$\mu_{Ri} = \mu_{(E_i \text{ and } EC_i \rightarrow T_i)}(E, EC, T) = [\mu_{E_i}(E) \text{ and } \mu_{EC_i}(EC)] \rightarrow \mu_{T_i}(T) \tag{5}$$

其中, “ E_i and EC_i ”是定义在模糊集合 $E * EC$ 上。 $E_i * EC_i, T_i = (E \text{ and } EC) \rightarrow T$ 是定义在 $E * EC * T$ 上的模糊蕴含关系。

根据模糊推理所得结果乘以比例因子, 得到系统所需控制量的精确输出值。本系统的去模糊化采用平均最大隶属度法 (mom), 控制给水阀门打开时间的长短。

3.4 模糊控制器的算法设计

本设计的控制规则采用分段模糊控制。监控过程总流程如图 5 所示。

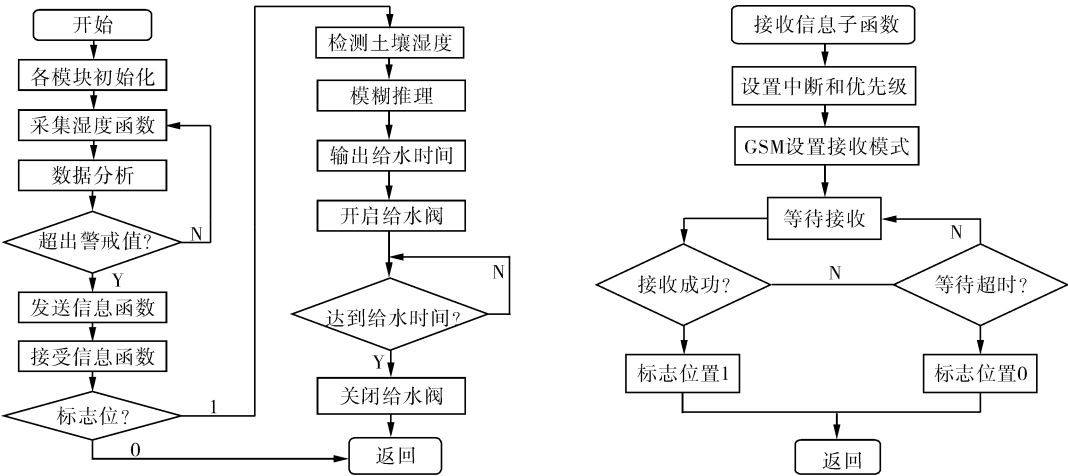


图 5 监控系统总流程
Fig.5 Total flowchart control system

4 检测试验

试验地点在河北农业大学园艺学院温室,主要检测传输距离和天气情况对 GSM 信号的接收是否有影响,以及发送短信的正确率和模糊控制灌溉的精确度。

1)发送正确率。将试验样机随机放入温室中作为 GSM 发射点,同时设置 3 个接收点。接收点 1:园区大门,与样机距离为 340 m;接收点 2:教学楼,与样机距离为 2.4 km;接收点 3:办公室内,与样机距离 34.9 km。为检验发送和接收的正确率,本系统设计为每天发送 2 条信息,上午 9:00 发送 1 次,下午 4:00 发送 1 次,每 1 个月作为 1 个试验周期。通过试验数据的分析比较,可以看出 GSM 模块在系统试运行阶段的发送短信正确率可达到 100%,接收情况根据天气的影响也可以达到 98.73%的正确率(表 3)。这表明将 GSM 应用于温室土壤采集系统的通讯方面是可行的。

表 3 检测试验结果¹⁾

Table 3 Test results					
接收点 Receiving point	日期 Date	天气情况 Weather conditions	SC	RC	
1	8 月 Aug.	大风 12 d Wind 12 d	100	98.39	
		雷雨 23 d Thunderstorm 23 d	100	96.77	
		晴天 15 d Sunny day 15 d	100	100.00	
2	9 月 Sep.	大风 18 d Wind 18 d	100	98.33	
		雷雨 10 d Thunderstorm 10 d	100	96.66	
		晴天 10 d Sunny day10 d	100	100.00	
3	10 月 Oct.	大风 21 d Wind 21 d	100	98.39	
		雷雨 9 d Thunderstorm 9 d	100	100.00	
		晴天 18 d Sunny day 18 d	100	100.00	

1) SC:发送正确率/% Sending correct rate; RC:接收正确率/% Receiving correct rate.

2)灌溉的精确度。为便于精确测量灌溉时间及流量,将样机置于实验室内。将样机的湿度传感器插入土壤中,同时把进水端口(直径 3 cm)接上水源,中间接电磁阀及流量传感器,出水端口用水管连接滴头(直径 16 mm),滴头置于植物主根系部位。当系统检测到土壤湿度达到警戒值(40%)时,会将当前湿度值送入模糊控制器,模糊控制器经过处理和分析比较,输出灌溉时间(表 4)。试验结果表明:该系统中采用模糊控制算法可以有效实现精确灌溉功能;系统根据温室内作物不同生理阶段的需水要求适时适量供水,与人工漫灌方式相比可省 20%~30%的用水量,灌溉的质量和均匀度都较高,可提高水资源利用率。

表 4 试验数据

Table 4 Experimental data

灌溉前 湿度/% Humidity before irrigation	输出灌溉 时间/s Output of irrigation time	流量/m ³ Rate of flow	灌溉后 湿度(5 h)/% Humidity after irrigation
0.0	0	0.00	0.0
11.5	25	23.75	43.6
25.4	15	14.25	42.5
35.8	5	4.75	44.6
50.0	0	0.00	45.3

5 讨 论

本试验温室土壤湿度智能监控系统软硬件的设计都是按照实际需求进行的,利用 GSM 通信技术和模糊控制技术实现对温室土壤湿度的监测和控制。基于西门子公司生产的 TC35i 芯片,设计了 GSM 电源电路、SIM 卡接口电路、GSM 与单片机的接口电路等,并编制相关软件,实现单片机对 GSM 模块的通信与控制,使系统传输距离不受限制,收发信息正确率基本达到 100%,实时监控性能稳定,因此,GSM 模块应用于农业通讯方面,可达到一个稳定的工作状态,实现远程监控的特点。本系统的模糊控制规则是长时灌溉经验的总结,通过合理的输入和输出控制,达到优化控制的效果。以土壤湿度实际输出值与设定的期望值(湿度阈值)的误差 E 和误差变化率 EC 作为输入,推算果树灌溉时间,并做出相应的灌溉措施。这种控制方法不仅能节约大量的灌溉水,同时有利于作物的生长和水肥耦合利用,从而提高作物产量。

参 考 文 献

[1] 魏景斌.便携式土壤湿度检测仪的研究与设计[D].保定:河北农业大学机电工程学院,2010.

[2] 梁健,戈振扬,齐亚峰.基于 GSM 无线传输的温室温度监控系统的设计[J].湖南农业科学,2010(7):135-136.

[3] 沈建华. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.

[4] 张小驰,陈天华.基于 MSP430 单片机的红外便携式心率监测系统[J].制造业自动化,2014,36(6):154-156.

[5] ORIN D L, LEECH S M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 46(1/3): 11-43.

[6] TOP G C, DAVIS J L, NNAN A P. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines [J]. Water Resources Research, 1980, 16(3): 574-582.

[7] 王贵彦. TDR 法、中子法、重量法测定土壤含水量的比较研究[J].河北农业大学学报,2000,23(3):23-26.

[8] 黄术.基于 GSM 网络的水情测报系统软件设计与实现[D].成都:西南交通大学图书馆,2006.

[9] 姜婷.基于 GSM 短消息方式的温度监测仪的研制[D].合肥:合肥工业大学图书馆,2007.

[10] 张曾科.模糊数学在自动化技术中的应用[M].北京:清华大学出版社,1997.

[11] 孙增圻,邓志东,张再兴.智能控制理论与技术[M].2 版.北京:清华大学出版社,2011.

[12] 江明,陈其工,晏行芳.基于模糊控制的精确灌溉系统[J].农业工程学报,2005,21(10):17-20.

[13] 谢守勇.基于 PLC 的模糊控制灌溉系统的研制[J].农业工程学报,2007,23(6):208-210.

Design of intelligent monitoring system for soil moisture
in greenhouse based on fuzzy control

QIAN Ji¹ ZHOU Juan² ZHANG Guang-hua¹ LIU Yang³ DI Bao¹

1.College of Horticulture ,Agricultural University of Hebei ,Baoding 071000,China ;
2.Mechanical and Electronical College ,Agricultural University of Hebei ,Baoding 071000,China ;
3.Software Engineering Department ,Hebei Software Institute ,Baoding 071000,China

Abstract Due to the fact that the wiring and long-term unattended monitoring is inconvenient, a system was designed by using the remote control of soil moisture, in order to improve the production management level of the greenhouse. This system contains a MSP430 controller, a GSM module, and a solar power module and irrigation control circuit. The interaction between the environmental factors and the users was achieved by the GSM module, and the precision irrigation was implemented by using the fuzzy control algorithm. The actual operating test shows that the system is stable, the data transmission distance is unlimited, the effect of water-saving was apparent, the GSM module sends messages whose accurate rate can be up to 100%, and it is capable of receiving 98.73% of the data accurately. It also shows that this system can realize precision irrigation, it economizes 20%-30% of the water compared with the flood irrigation.

Key words soil moisture; GSM wireless transceiver; fuzzy control; auto-irrigation

(责任编辑:陈红叶)