

# 模糊控制在太阳能自动灌溉系统中的应用\*

朱海龙, 吴开华\*, 赵伟杰

(杭州电子科技大学 生命信息与仪器工程学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:**根据农作物的需水量实施适时适量的自动灌溉,是提高农业用水效率和增加农作物产量的重要方法。为解决农作物适时适量灌溉的问题,设计了一种以茶树为灌溉对象,适用于太阳能自动灌溉系统的模糊控制灌溉模式。通过检测茶树园的实际土壤温湿度,并与茶树生长的最适湿度进行比较,以该偏差及其变化率为输入,根据实际农业灌溉过程中建立的模糊控制规则,实现了茶树园的自动节水灌溉,最后通过 Matlab 进行了仿真。仿真结果显示,该太阳能自动灌溉系统时间常数为 1.5 s,系统运行稳定,响应时间符合实际灌溉的要求。

**关键词:**太阳能自动灌溉;模糊控制;时间常数

中图分类号:TK519;TP393;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)11-1310-04

## Application of fuzzy control in solar automatic irrigation system

ZHU Hai-long, WU Kai-hua, ZHAO Wei-jie

(College of Life Information Science and Instrument Engineering,  
Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** According to crop water demand, the implementation of timely and appropriate automatic irrigation is an important method to improve agricultural water use efficiency and increase crop yields. In order to solve the problem of timely and appropriate irrigation, a fuzzy controlled solar automatic irrigation system for tea trees was designed. By detecting actual soil temperature and moisture of the tea tree garden, and comparing with the optimal humidity of the growth of tea trees, taking the deviation and its change rate as the inputs, according to the fuzzy control rules established in the actual process of agricultural irrigation, automatic water-saving irrigation for the tea tree garden was achieved. Finally, simulation results in Matlab show that the system time constant is 1.5 seconds. The system is stable, and the response time meets the actual irrigation requirements.

**Key words:** solar energy automatic irrigation; fuzzy control; time constant

## 0 引 言

我国水电资源较为短缺,但是有着丰富的太阳能资源。因此,研究者可以考虑设计一种以太阳能光伏供电的自动灌溉系统,系统不仅可以实现节水节电,更能实行科学灌溉,实现农作物的增产。茶树是我国的主要经济作物之一,适宜生长在温暖湿润的环境中。传统的灌溉方式一般都是过量灌溉,虽然满足了茶树

的需水要求,但水资源的浪费较严重,同时也会导致土壤中营养成分的流失。因此,对茶树园实施适时、适量灌溉,不仅能节约水资源,更能提高茶树的产量。

近年来,我国越来越重视节水自动灌溉技术的研究,并将模糊控制系统<sup>[1]</sup>运用到农业灌溉中,例如文献[2-3]分别介绍了模糊控制在水稻和棉田节水自动灌溉中的应用,都取得了不错的效果。模糊控制运用模糊数学理论,根据人的经验和知识进行控制决策,无

收稿日期:2012-06-11

基金项目:浙江省重大科技专项资助项目(2009C12006)

作者简介:朱海龙(1987-),男,浙江诸暨人,主要从事测试计量技术方面的研究. E-mail:hdzhuhaolong@163.com

通信联系人:吴开华,男,教授,博士. E-mail:wukaihua@hdu.edu.cn

需建立精确的数学模型。文献[4-6]介绍了通过建立误差  $E$  和误差变化率  $EC$  的隶属度,以得到合适的模糊控制规则,利用合理的模糊控制决策,设计出双输入单输出的模糊控制器。通过合理的 Simulink 仿真,即可得到系统的时间常数及其稳定性,文献[7-8]介绍了模糊控制的 Simulink 仿真,系统较为简单,根据文献[9]介绍,传递函数可以采用一阶系统来实现。

本研究通过采集土壤湿度,计算与最适湿度的误差及误差变化率,建立一套适用于农业灌溉的模糊控制规则,即可得到所需的灌溉时间,实现双输入单输出的模糊控制灌溉模式。

## 1 太阳能自动灌溉系统

太阳能自动灌溉系统综合了光伏和测控技术,使节水和节能相结合,系统框图如图 1 所示。该系统采用模块化设计,主要由检测控制模块、抽蓄水模块、通讯模块、灌溉模块和光伏模块等组成。检测控制模块主要完成对土壤和大气温湿度的检测以及灌溉控制;抽蓄水模块主要完成对水泵抽水和蓄水池蓄水的控制;通讯模块完成上下位机之间数据和控制命令的传输;灌溉模块是指茶树灌溉区域喷灌、滴灌等节水灌溉类型的选择。系统最大的特点是采用了太阳能光伏系统供电,可以解决茶树园处于山上或偏远地区时供电麻烦的问题。光伏供电模块利用光伏列阵的光生伏特特性,经过充电控制器,向蓄电池提供稳定的充电电压,蓄电池进行充电。当需要供电时,蓄电池的输出通过逆变器转变成各模块所需的额定电压。

太阳能自动灌溉系统设计了手动控制、时间控制、模糊控制 3 种灌溉模式,研究者可以根据实际情况选择合适的灌溉模式。手动控制模式下,研究者首先要选定所需灌溉的目标区域,然后要对土壤湿度的上限值进行设置,一旦灌溉超出设定的值,无论预设灌溉持续时间或灌溉结束时间是否已经达到,都应即刻自动关闭该点阀门,停止灌溉。时间灌溉模式是在气候变化较小时期的一种简单却非常有效的控制模式,该模式下,操作者只需要预先设定好所需参数值即可由系统根据参数进行自动判断决定是否进行灌溉。对于模糊控制模式实现的灌溉自动化,操作者只需设定所要灌溉作物生长的最适湿度,系统会根据土壤的实时湿度,判断是否执行灌溉。相比手动控制和时间控制,模糊控制模式能在保证土壤湿度为作物生长最佳的情况下,充分节约灌溉用水,同时也增加了作物的产量。评判模糊控制系统最重要的参数是响应时间和稳定性,

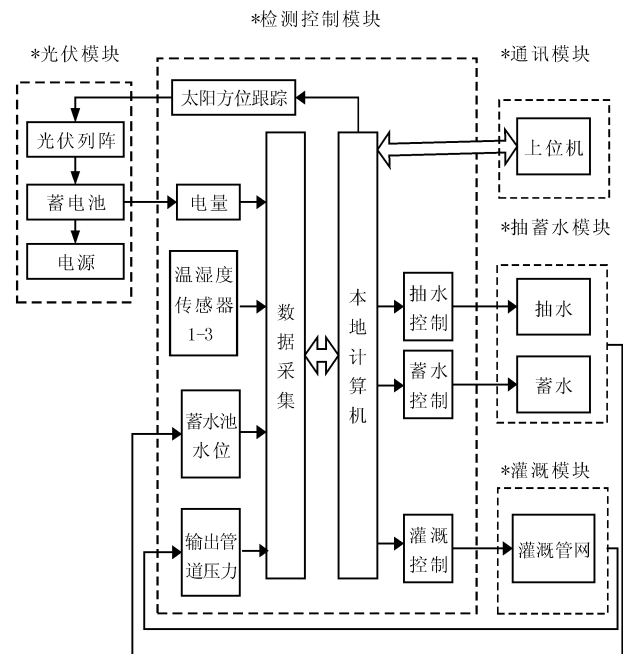


图 1 太阳能自动灌溉系统框图

对于茶树园灌溉来说,响应时间的要求不是很高,达到 3 s 左右就能满足灌溉要求。

## 2 模糊控制系统的设计

### 2.1 控制的要求

土壤水分是茶树生理与生态需水的主要来源,又是土壤肥力的重要组成部分,与茶树生养关系密切。茶树的芽叶生长强度、叶片形态结构及其内含物的生化成分等指标,均以土壤相对含水率 80% ~ 90% 为最佳,而根系生长则以 65% ~ 80% 为好。受气候、树龄、土壤、肥力及田间管理技术等因素的影响,茶树的需水量变化与差异较大。一般成龄茶园日平均耗水量,冬季为 1.3 mm 左右;春茶期间(3 ~ 5 月)达 3 mm ~ 4 mm;夏秋季(7 ~ 8 月)高达 5 mm ~ 7 mm,9 月以后随气温下降日渐减少。全年需水量为 1 300 mm 左右,其中 4 ~ 10 月生长季节的需水量占全年的 70% 以上,气温较低的寒冬和早春(12 月 ~ 翌年 2 月),茶树月需水量仅为 50 mm 左右。

### 2.2 模糊控制器的结构

本研究设计的模糊控制系统如图 2 所示。

图 2 中属于论域  $X$  的模糊集合  $E$  取自系统偏差的模糊化,即采集模块取得土壤水分精确值与给定值比较所得的误差信号  $e$  的模糊化,属于论域  $Y$  的模糊集合  $EC$  取自系统偏差变化率  $de/dt$  的模糊化,此处取前一时刻  $e$  与当前时刻  $e$  相减除以时间  $dt$  的模糊化,

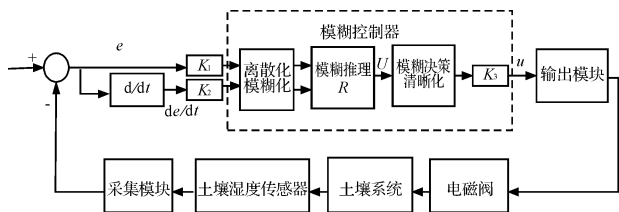


图 2 模糊控制系统结构框图

二者构成了模糊控制器的二维输入。这种控制器反映了非线性比例加微分(PD)的控制规律,控制效果好,是目前被广泛使用的一种模糊控制器。研究者由  $E$ 、 $EC$  和模糊控制规则  $R$ ,利用模糊推理的合成规则进行模糊决策,得到属于论域  $Z$  的模糊集合  $U$ ,再通过清晰化算法,得到精确的数字控制量  $u$ ,通过输出模块控制电磁阀开闭的时间,实现对土壤水分的控制。由于数据采集是分段进行的,控制过程也是分段进行的,第 1 段采集到控制完成,接着第 2 段、第 3 段等等循环下去,以此实现整体模糊控制。

### 2.3 模糊控制器的语言变量

本研究设计的模糊控制器的输入变量是土壤湿度的误差  $e$  和误差变化率  $ec$ 。假定最适合茶树生长需求的最适湿度作为给定值  $r_g$ ,采集到的实际土壤湿度为  $r$ ,则双输入变量的计算公式如下:

$$e = r_g - r \quad (1)$$

$$ec = \frac{de}{dt} \quad (2)$$

输出变量  $u$  表示灌溉时间,设  $e$ 、 $ec$ 、 $u$  相应的语言变量为  $E$ 、 $EC$ 、 $U$ ,这样就可以构成一个双输入单输出的模糊控制器。设误差的基本论域为  $[-x_e, x_e]$ ,其变量的模糊子集的论域为  $\{-n, -n+1, \dots, 0, \dots, n-1, n\}$ ,误差变化的基本论域为  $[-x_{ec}, x_{ec}]$ ,其变量的模糊子集的论域为  $\{-m, -m+1, \dots, 0, \dots, m-1, m\}$ ,输出变量的论域为  $[-y_u, y_u]$ ,其变量的模糊子集的论域为  $\{-l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l\}$ ,则误差的量化因子  $K_1$ 、误差变化率的量化因子  $K_2$  以及输出控制量的比例因子可由 3 个公式来确定<sup>[10-11]</sup>,即:

$$K_1 = n/x_e \quad (3)$$

$$K_2 = m/x_{ec} \quad (4)$$

$$K_3 = y_u/l \quad (5)$$

茶树在春夏季的需水量较大,可以设定最适生长的土壤湿度为 85%,误差  $e$  的论域为  $[-5\%, 5\%]$ ,误差变化率  $ec$  的论域为  $[-1\%, 1\%]$ ,输出变量  $u$  的论域为  $[0, 30 \text{ min}]$ 。误差  $E$  和误差变化率  $EC$  的模糊集各选取 7 个语言值  $\{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\}$ ,量

化论域都为  $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ,输出量  $U$  的模糊集为  $\{ZO, PS, PM, PB\}$ ,量化论域为  $\{0, 1, 2, 3\}$ 。

### 2.4 模糊控制决策

由于  $E$  和  $EC$  都选取了 7 个语言值,系统共有  $7 \times 7 = 49$  条模糊推理规则。当  $E$  为 NB 或 NM 时,无论  $EC$  如何变化,都不需要灌溉;当  $E$  为 NS 时,只有  $EC$  为 PM 或者 PB 时,才进行灌溉;当  $E$  为 ZO 时,此时只有  $EC$  为 PS 或者 PN 或者 PM,即土壤趋于缺水时,才进行灌溉。根据农业部门的长期实践经验可以得到的模糊推理规则表如表 1 所示。

表 1 模糊推理规则表

	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
NM	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
NS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PM
ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PM
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PB	PB	PB

研究者根据表 1,利用最大隶属度法,可以得到输出变量  $U$  的量化等级,然后再将量化等级乘以比例因子,得到灌溉的控制量等级,即可得到茶树需要灌溉的时间。例如,控制量等级为 3,则表示需要实施最大量的灌溉,对应的灌溉时间为 30 min。如果要进行实地应用,则要根据实际情况对  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  等进行调整,使灌溉更精确。

### 2.5 模糊控制的软件设计

模糊控制系统的程序流程图如图 3 所示。在控制过程中,研究者先设定土壤最适湿度及基本论域,并将事先计算好的控制系统查询表放到程序中,采集到土壤湿度后得到实测偏差  $e$ ,计算偏差变化率  $ec$ ,通过模糊控制处理得到模糊控制变量,然后进行精确化处理,最后得到需要灌溉的时间。

## 3 仿真与分析

为了验证所设计的方案,该系统采用了 Matlab 的模糊逻辑工具箱(Fuzzy Logic)设计模糊控制器,并用 Matlab 的 Simulink 进行仿真。设系统采用的被控对象为  $G(s) = 2/(s+1)$ ,输入信号为单位阶跃信号,根据公式(3,4,5)可得量化因子  $K_1 = 3/5 = 0.6$ , $K_2 = 3/1 = 3$ ,比例因子  $K_u = 30/3 = 10$ 。根据 Simulink 仿真步骤设计的模糊控制仿真系统如图 4 所示。

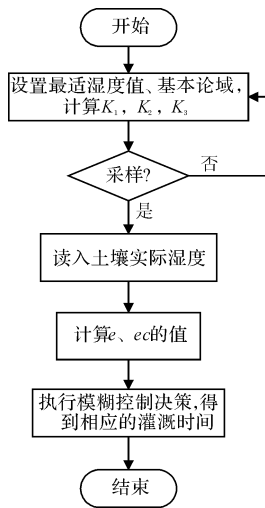


图 3 模糊控制流程图

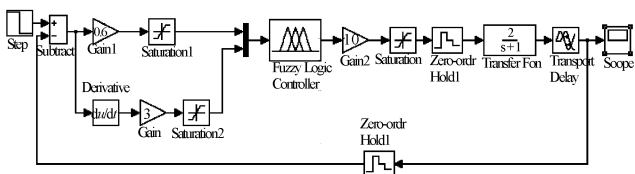


图 4 模糊控制系统框图

系统的仿真结果如图 5 所示,温、湿度传感器的相应输出滞后于物理量的变化,会带来误差。该误差可以用一阶系统的时间响应参数  $T$  来表示,时间常数越小其响应变化就越快,反之就越慢。对于一阶系统来说,当输入是阶跃信号时,取系统输出值达到最终稳态值的 63.2% 所经过的时间作为时间常数。从图 5 中可以看出,系统的最终稳态值为 1,当曲线上升到 0.63 时,其对应的时间大概为 1.5 s,对于茶树园灌溉来说,这个响应时间已经能够满足实际的灌溉需求,稳定性也较强,说明设计合理。

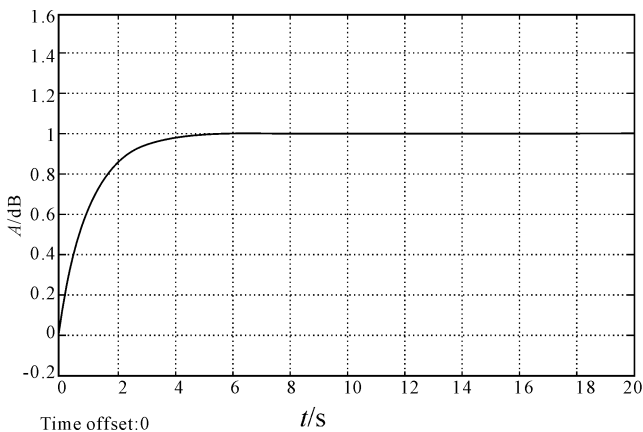


图 5 仿真曲线图

## 4 结束语

传统的灌溉方式无法达到节水增产的目的。为了使茶园灌溉用水比传统的人工控制灌溉更加节约,本研究采用了模糊控制的灌溉模式,根据土壤实时采集到的湿度及其变化率,利用模糊控制规则,得出了需要灌溉的水量和时间。该系统可以解决根据土壤水分适时适量、自动灌溉的问题,这对于茶树生长发育、节约用水都具有非常重要的意义。

从实验仿真结果来看,该自动灌溉系统响应时间仅为 1.5 s,运行稳定,可以满足灌溉要求。同时,模糊控制的灌溉模式应用范围十分广泛,不仅在茶树园中具有实际应用效果,只要修改系统的输入输出隶属度函数,即可改变系统性能,以满足不同灌溉对象的要求,并可以推广到其他农作物适时适量的节水灌溉中。

## 参考文献 (References):

- [1] 郭正琴,王一鸣,杨卫中,等. 基于模糊控制的智能灌溉系统[J]. 农机化研究,2006(12):103-105.
- [2] 匡迎春,沈岳,段建南,等. 模糊控制在水稻节水自动灌溉中的应用[J]. 农业工程学报,2011,27(4):18-21.
- [3] 周洁,周新志. 模糊控制滴管系统设计—以哈密市现代农业园区为例[J]. 安徽农业科学,2012,40(1):567-568,572.
- [4] 靳兆容,徐敏杰,魏学良,等. 基于模糊控制决策的自动节水喷灌控制器的设计[J]. 排灌机械,2004,22(5):26-28.
- [5] 杨文君,刘生福. 模糊控制自动灌溉系统设计[J]. 灌溉排水学报,2007,26(4):154-155.
- [6] 陶建华,刘晓初,张斐,等. 模糊控制在太阳能灌溉器中的应用[J]. 机电工程技术,2009,38(10):88-90.
- [7] 王路,殷明远. 基于 Matlab 的模糊控制系统仿真[J]. 科技创新导报,2009(6):73-74.
- [8] 石辛民,郝整清. 模糊控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社,2008.
- [9] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 5 版. 北京:科学出版社,2007.
- [10] 李士勇. 模糊控制[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2011.
- [11] 赵景波. Matlab 控制仿真与设计[M]. 北京:机械工业出版社,2010.

[编辑:李辉]