

# 现代化温室环境参数的模糊控制

余泳昌, 胡建东, 毛鹏军

(河南农业大学)

**摘 要:** 该文在分析了传统控制算法不足的基础上, 提出了将模糊控制算法应用于现代化温室环境参数的检测和控制。首先确定输入输出变量的模糊语言值及隶属度值, 然后给出了实现该模拟算法的硬件和软件设计。通过模拟的模糊运算, 得出总控制表, 采用软件查询的方法进行控制。实验表明, 模糊控制技术应用于现代温室环境参数的检测和控制具有优良的性能。

**关键词:** 模糊控制算法; 现代化温室; 隶属度; 模糊语言值

中图分类号: S62515<sup>+</sup> 1

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0220072204

随着计算机技术的进步, 现代化温室环境参数测控技术以相当快的速度发展, 研究提高测控技术有极大的意义。控制系统的性能在很大程度上取决于控制算法, 常用的比例、积分、微分三模式算法(PD)以其结构简单、速度快得以广泛应用。PD控制算法是在对被控对象建立数学模型(传递函数、状态方程)的基础上表达实现的, 但实际的生物环境系统是复杂的, 往往很难确定这些变化过程的传递函数和状态方程。近年来在模糊控制理论上发展起来的模糊控制技术适应了复杂系统的控制。

模糊控制算法主要是把各种环境参数综合起来分析参考, 然后进行模糊控制<sup>[1]</sup>。温室中有多个环境参数(温度、湿度、光照度、营养液浓度等), 如果他们分别由各自的闭环系统控制, 因这些受控参数常常相互影响而得不到很好的结果, 如光照度增加, 室温相应升高, 室温升高又造成温室相对湿度降低等, 所以, 采用多变量综合控制法, 通过模糊控制, 将受控参数之间的相互影响拟合到最佳状态。

## 1 模糊控制系统的形成<sup>[2]</sup>

本文所研究的控制系统是针对河南农业大学毛庄农业现代化温室设计的, 其环境参数包括温度、湿度和光照度等, 各环境因子均由相应的传感器进行检测。该控制器的设计是以空气温度、相对湿度和光照度三个过程变量作为输入量, 三个执行机构的功率调整作为输出量, 采用三维模糊控制技术实现。

### 1.1 三维模糊控制系统框图

其中每个参数的偏差  $e$ 、偏差一阶变化率  $\Delta e$ 、偏

差二阶变化率  $\Delta^2 e$  是通过放大器放大后再送入模糊控制器中去处理的, 这三个偏差经模糊化、执行控制规则和反模糊化后作用于被控对象。

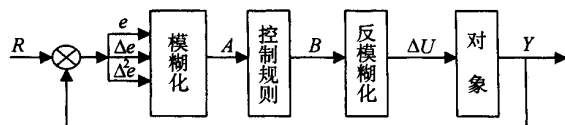


图 1 三维模糊控制系统框图

Fig 1 Flow chart of three-dimensional fuzzy control system

### 1.2 模糊量的确定

在模糊控制中, 得到的观测数据往往是精确量, 而模糊控制中的控制规则所用的都是模糊的语言量。为了利用这些数据, 进行下一步处理, 就要进行输入精确量的模糊化。如果将每个模糊量都对应一个模糊子集, 则这样的模糊子集就有无限多个。为了简化起见, 可将精确量离散化, 即将精确量分成几档, 每一档一个模糊子集。实际上就是将一个精确值化成一个或几个模糊值的单点, 即定义为从观测空间到控制输入论域中若干模糊值的映射, 这样就使问题大大简化了。

选取语言变量温度偏差  $BT$ 、湿度偏差  $BD$  和光照度偏差  $BL$  的论域分别为:

$$BT = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \quad (1)$$

$$BD = \{-5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5\} \quad (2)$$

$$BL = \{-5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5\} \quad (3)$$

设选取语言变量温度偏差  $BT$ 、湿度偏差  $BD$  和光照度偏差  $BL$  的语言值分别为:

收稿日期: 2001202219 修订日期: 2001211230

作者简介: 余泳昌, 男, 教授, 硕士生导师, 从事农业工程教学和科研, 郑州 河南农业大学机电学院, 450002

$B\ T = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$  (4)

$B\ D = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$  (5)

$B\ L = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$  (6)

设选取输出语言变量  $U1$  (调温功率)、 $U2$  (湿帘风机功率)、 $U3$  (遮阳网电机功率) 的论域分别为:

$U1 = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$  (7)

$U2 = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$  (8)

$U3 = \{-4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4\}$  (9)

设选取输出语言变量  $U1$ 、 $U2$ 、 $U3$  的语言值分别为:

$U1 = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$  (10)

$U2 = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$  (11)

$U3 = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$  (12)

其中湿帘风机功率和遮阳网电机功率均可调, 而且相互影响。湿帘风机是用于改变温室内的温度和湿度, 遮阳网调节电机是用于决定是否开启天窗以改变光照度, 同时也影响温室温度。

为了完成输入的模糊化, 还必须知道输入精确值对模糊集的隶属函数。在每一个输入变量的论域上, 根据经验划分了几个模糊子集, 对每个模糊子集用输入隶属函数来赋予量的含义—隶属度 (0~1), 输入隶属函数的形状, 常可采用钟形 (正态分布)、梯形和三角形等 3 种函数。依据经验和统计可确定各个语言变量值的隶属函数值。

设温度偏差  $B\ T$ 、湿度偏差  $B\ D$  和光照度偏差  $B\ L$  三者偏差  $e$ , 偏差变化率  $e^1$ , 偏差二阶变化率  $e^2$  及输出控制量  $u$  具有相同的模糊子集, 这三个物理量都要从物理论域通过量化变换到整数论域, 再在整数论域给出若干语言变量值, 从而实现整数论域元素的模糊化过程。

设温度偏差的语言变量值的隶属函数如表 1。

表 1 偏差  $e$ 、 $e^1$ 、 $e^2$  语言变量值

Table 1 The variable values of deviation  $e$ 、 $e^1$ 、 $e^2$

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	7	0
PS	0	0	0	0	0	0	0	3	0	8	1	0	0	0
PO	0	0	0	0	0	0	1	0	6	0	1	0	0	0
NO	0	0	0	0	1	0	6	1	0	0	0	0	0	0
NS	0	0	1	0	5	1	0	8	0	3	0	0	0	0
NM	0	2	0	7	1	0	0	7	0	2	0	0	0	0
NB	1	0	0	8	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0

对于控制量  $u$  可将其物理论域通过量化变换到整数论域  $\{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6, +7\}$ , 并取“正大”(PB), “正中”(PM), “正小”(PS), “零”(ZE), “负小”(NS), “负中”(NM), “负大”(NB) 一共 7 个档次, 各个语言变量值的隶属函数同上。

1.3 控制规则的形成

对于三维的模糊控制器, 由于其输入量为  $e$ 、 $e^1$  和  $e^2$ , 而输出量  $u$ , 模糊控制器本身是一个非线性控制器, 所以模糊控制器的模型可以用非线性函数  $f$  表示

$u = f(e, e^1, e^2)$

对于一般的 PD 控制器, 其增量控制式可以用下式表示

$u = (K_p T \ddot{O}T_i) \cdot e + K_p \cdot e + (K_p T_d \ddot{O}T_i) \cdot e^2$  (13)

令

$K_p T \ddot{O}T_i = K_1, K_p = K_2, K_p T_d \ddot{O}T_i = K_3$  (14)

则有

$u = K_1 e + K_2 e + K_3 e^2$  (15)

$e$ ,  $e^1$ ,  $e^2$  都是模糊量, 用模糊结构描述为

$u = g(e, e^1, e^2)$  (16)

采用模糊加的运算产生模糊控制规则, 设  $R$  是实数论域, 有模糊数  $A$ 、 $B$ 、 $D$  包含于  $R$ , 对于任何数  $X$ 、 $Y$ 、 $D \in R$ , 有模糊加运算如下

$D = A (+) B$  (17)

即有

$L_D = L_A (+) B = \bigwedge_{d=x+y} [L_A(x) \wedge L_B(y)]$  (18)

其中  $(+)$  表示模糊加,  $\bigwedge_{d=x+y}$  表示对  $d = x + y$  元素的隶属度求最大值。

1.4 模糊控制规则的执行<sup>[1]</sup>

根据模糊推理合成, 控制规则对应的模糊关系

$R = (E_i \times U_k) = (E_i \times U_{\langle i \rangle})$  (19)

式中  $E_i$  表示输入语言变量值  $B\ T$ 、 $B\ D$ 、 $B\ L$ 。

此控制器的模糊关系  $R$  是一个多级条件语句, 它是操作人员的经验总结, 模糊矩阵运算, 应遵循“先取小, 再取大”的原则。求出模糊关系  $R$  以后, 根据相应的输入模糊语言变量值, 经模糊推理合成规则运算, 即可求出相应的输出模糊语言变量值, 即相应的控制决策  $U^3$ 。例如, 如果温度偏差  $B\ T$  输入的模糊语言变量值为  $PB$ , 则相应的输出模糊语言变量值

$U^3 = PB \times R$  (20)

1.5 系统的模糊量转为精确量<sup>[5]</sup>

通过模糊控制决策所得到的的是模糊量  $U^3$ , 要

进行控制, 必须把模糊量转变为精确量。方法是取模糊子集中隶属程度最大的那个元素  $u^3$  作为执行量。若对应的模糊决策的模糊集为  $C$ , 则决策(所确定的精确量)  $u^3$  应满足在模糊集中隶属度最大, 即:

$$L_C(u^3) > L_C(u) \quad u \in U \quad (21)$$

2 系统设计

系统的硬件结构如图 2 所示, 它由单片机、输入部件、输出控制部件、显示部件和电源组成。

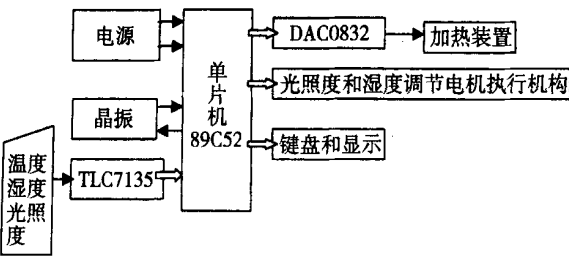


图 2 系统硬件结构图

Fig 2 Hardware system structure

从温度测量范围、灵敏度和低成本出发选择易于与 89C52 接口的温度传感器 AD7416。计算机系统选用 89C52 外扩展一些接口芯片等组成。89C52 是高性能 CMOS 工艺制成的芯片, 可靠性很高, 抗干扰能力强, 本身带 8K Flash 程序存储器。

键盘是用于输入数据和指令的输入装置。一般设有 4 个数字键, 其中一个 Enter 键、两个上下档键和一个确定键, 不同作物生长环境参数可通过键盘进行修改和输入。

显示器采用长沙太阳人公司生产制造的 128 × 64 点阵图形 12864 LCM 显示器, 用于显示实测环境参数值和工作状态。电源部分采用开关电源, 使其恒压输出 ± 5 V、± 12 V。晶振是用于给 89C52 提供时钟信号, 这里选择 12 MHz, ADC7135, 它的分辨率为  $4 \frac{1}{2}$  位, BCD 码输出。它具有精度高、抗干扰能力强、对温度及电源变化稳定性高、高输入阻抗、自动调零和自动判断极性等特点。

DAC0832 是一种分辨率为 8 位, 具有两个输入数据寄存功能的 8 位 DAC, 它能直接与单片机接口, 具有数字量的输入锁存功能, 电流稳定时间 1 Ls, 使用单电源供电。

在模糊控制系统运行时, 控制器需要进行模糊模糊推理和逆模糊化等运算, 按上述过程进行在线运算时, 需要很长时间, 但可以通过离线计算, 产生一个模糊控制总表的方法解决。

以上叙述了模糊控制器的 5 个部分, 即输入输出量的确定, 对精确量进行模糊化, 模糊控制算法,

最后经过模糊判决和解模糊过程, 可得到确切的控制量并加到控制对象上。经过上述步骤后就得到了总控制表。

有了模糊控制总表, 在系统运行时控制器的在线运算就简单了。它只需要将起初的实测值离散并量化到相应的论域中, 再根据它们的量化值查模糊控制总表, 便可得到控制量在量化论域中的值, 最后再利用公式求出实际的控制量, 施加到被控对象上去, 驱动控制设备, 对对象进行控制。

3 主程序设计<sup>[4]</sup>

软件设计部分采用模块化设计方法, 将软件部分划分成如下几个模块: 主程序模块、读 A/D 转换值的外部中断处理及模糊算法程序模块、键盘和显示子程序模块。不同的模块独立编程、独立调试, 待各模块调通后再进行系统连接统调, 然后将其固化在 89C52 中。

主程序主要对系统各芯片进行初始化工作, 使整个系统在通电后即进入初始状态, 响应键盘的输入, 完成采集数据的处理。主程序框图如图 3。

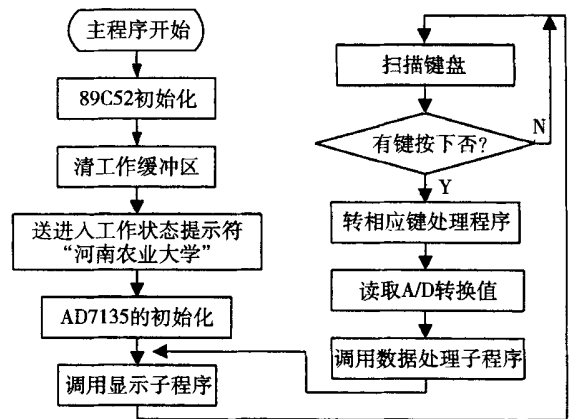


图 3 主程序框图

Fig 3 Flow chart of main program

4 结果与分析

4.1 实验调试

利用 PROTEL 98 完成了电路原理图的设计, 制做印刷电路板并焊接。针对硬件电路, 用汇编语言编制源程序, 并利用 Insight AE252 型仿真器进行了调试。调试工作是在反复实验中进行的。实测结果如下: 1) 温度: 测试范围 10~ 40 , 绝对误差 ± 0.15 ; 2) 空气相对湿度, 测度范围 10% ~ 100%, 绝对误差 ± 5%; 3) 步进电机的控制用一种高度非线性, 强耦合的位置执行元件, 采用 PID 控制方法, 使系统性能有了根本改善, 但仍不甚理想, 有待进一步改善。

412 结论与分析

人工智能技术虽然在我国已有多年的研究及开发历史,但温室自动控制系统智能化研究还刚刚起步。由于目前现代温室已越来越多地走进我们的生活,实现温室环境参数控制的智能化是很有意义的。

本文将模糊控制技术与单片机结合起来,实现温室环境参数控制的智能化。采用模糊数学、模糊语言形式的知识表示和模糊逻辑的规则推理为理论基础,应用计算机技术构成具有闭环反馈结构的数字控制形式实现温室的参数模糊控制。

[参 考 文 献]

[1] 李友善, 李 军 模糊控制理论及其在过程控制中的应用[M] 北京: 国防工业出版社, 1993 85~ 120

[2] NTERSL, NC Component Data Catalog 1990[Z] Print in U. S A 1990 , 3: 74~ 86

[3] 李 华 MCS2系列单片机实用接口技术[M] 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996 324~ 350

[4] 戎月莉 计算机模糊控制原理及应用[M] 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995 130~ 300

[5] 郑学坚, 汪懋华, 自广存等 计算机在农业生物环境测控与管理中的应用[M] 北京: 清华大学出版社, 1998 102~ 140

[6] 毛鹏军 智能化温室环境参数微机监控系统的设计研究[D] 郑州: 河南农业大学, 2000 170

Fuzzy Control for Environment Parameters in Greenhouse

Yu Yongchang, Hu Jiandong, Mao Pengjun

(Henan Agricultural University, Zhengzhou, 450002, China)

**Abstract:** This paper analyzes the defect of conventional controlling algorithm and suggests to apply fuzzy controlling algorithm to modern greenhouse environment parameter testing. Firstly, the function of fuzzy language and grade value of input/output variable were determined. Then the software and hardware of the fuzzy controlling algorithm. Through fuzzy operating and adopting the approach of software query on controlling, a total controlling table was finally obtained. The experiments indicated that it was an effectively controlling model by applying the fuzzy controlling algorithm to modern greenhouse environment parameters testing.

**Key words:** fuzzy control algorithm; modern greenhouse; grade value; fuzzy language value