

温室环境现场层监控系统控制策略研究

张虹

(潍坊学院计算机与通信工程学院 潍坊 261061)

摘要 根据温室环境非线性、大延时、强耦合等特点,选用模糊控制方法作为系统的控制策略。通过对模糊控制理论的分析以及温室环境系统特点的研究,选择系统的温湿度偏差以及偏差变化率作为系统的输入输出量并进行模糊化,设计了温室环境监控系统的模糊控制器。得出温室动态模型,并进行了仿真实验,与实测数据进行比较,验证了模型的准确性和控制方法的可行性。最后对PID控制和模糊控制进行了比较,表明模糊控制方法超调量小,调整时间短,控制效果优于PID。

关键词 温室监控,控制策略,模糊控制,PID控制

中图分类号 TP273.4 **文献标识码** A

Research on Control Tactic of Field Level Monitoring System for Greenhouse Environment

ZHANG Hong

(School of Computer and Communication Engineering, Weifang University, Weifang 261061, China)

Abstract Based on the nonlinear, more lingering and strong coupling characteristics, fuzzy control method was selected as the control strategy for the system. According to the analysis and research about fuzzy control theory and greenhouse environment, temperature-humidity warp and warp change rate were selected as I/O variables which were fuzzed for the system, and a fuzzy controller was designed for the greenhouse environment monitoring system. After that, a dynamic greenhouse environment model was constructed and simulations were carried out. The results got a good agreement with the experiment data, which proved the accuracy of the model and the validity of the control strategy. In the end, the outcome of fuzzy control was compared with that of PID control. It was confirmed that the fuzzy control with a smaller overshoot and adjusting time constant is superior to the PID control.

Keywords Monitoring of greenhouse, Control strategy, Fuzzy control, PID control

1 引言

温室环境控制是在充分利用自然资源的基础上,通过改变环境因子如温度、湿度、光照度等来获得作物生长的最佳条件,从而达到增加作物产量、改善品质、调节生长周期、提高经济效益的目的。近年来,我国在温室结构和温室控制两方面开展了不少研究。其中,温室控制技术在设施环境中是相当重要的。温室控制涉及到硬件结构和控制策略(控制算法)等问题^[1],本文主要针对控制策略进行了研究。采用模糊控制方法作为系统的控制策略,设计出温室环境监控系统的模糊控制器,得出温室动态模型^[2]。采用 Matlab/Simulink 软件对系统进行了仿真实验,验证了模型的准确性和控制方法的可行性,并与 PID 控制进行了比较。

2 系统控制器设计

温室系统是一个大系统。温室系统具有非线性、时变、滞后、不确定性、多目标、控制参数之间的相互耦合性较强,时变性较强等特点。因此,温室环境监控系统很难建立精确的数学模型,采用传统的控制方法不能有效地控制温室环境。

模糊控制不需要被控对象具有精确的数学模型,具有较好的响应速度、系统稳定性和鲁棒性,非常适合于温室控制系统中。因此本文着重研究模糊控制方法对环境状态的控制作用。

2.1 模糊控制器的简化

模糊控制理论是以模糊集合论、模糊语言变量及模糊推理为基础的非线性控制^[3]。目前,模糊控制理论在单输入单输出(SISO)的系统中应用已经非常广泛,但是对于复杂的控制系统,常常遇到强耦合的多输入多输出(MIMO)变量系统。对于模糊控制器来说,输入量的增加使控制规则成指数倍地提高,过多的控制规则会使模糊控制器变得太过复杂,难以控制。在多变量的情况下需对模糊控制器进行结构上的简化,以减少模糊控制规则。

对于 MIMO 的模糊控制器,其规则具有如下的形式:

$$R = \{R_{MIMO}^1, R_{MIMO}^2, \dots, R_{MIMO}^n\} \quad (1)$$

其中, R_{MIMO}^i : 如果 x 是 A_i , and...and y 是 B_i , 则 z_1 是 C_{i1} , ..., z_q 是 C_{iq} 。

R_{MIMO}^i 的前件(输入和前提条件)是直积空间 $X \times \dots \times Y$ 上的模糊集合,后件(结论)是 q 个控件作用的并,它们之间是

互相独立的。因此,第 i 条规则 R_{MIMO}^i 可以表示为如下的模糊蕴涵关系,即

$$R_{MIMO}^i: (A_i \times \cdots \times B_i) \rightarrow (C_{i1} + \cdots + C_{iq}) \quad (2)$$

于是规则 R_{MIMO}^i 可以表示为

$$\begin{aligned} R_{MIMO}^i &= \{ (A_i \times \cdots \times B_i) \rightarrow (C_{i1} + \cdots + C_{iq}) \} \\ &= \{ [(A_i \times \cdots \times B_i) \rightarrow C_{i1}], \dots, [(A_i \times \cdots \times B_i) \rightarrow C_{iq}] \} \\ &= \{ R_{MIMO}^{i1}, R_{MIMO}^{i2}, \dots, R_{MIMO}^{iq} \} \end{aligned} \quad (3)$$

规则库 R 可以表示为

$$\begin{aligned} R_{MIMO} &= \{ \bigcup_{i=1}^n R_{MIMO}^i \} = \{ \bigcup_{i=1}^n [(A_i \times \cdots \times B_i) \rightarrow (C_{i1} + \cdots + C_{iq})] \} \\ &= \{ \bigcup_{i=1}^n [(A_i \times \cdots \times B_i) \rightarrow C_{i1}], \dots, \bigcup_{i=1}^n [(A_i \times \cdots \times B_i) \rightarrow C_{iq}] \} \\ &= \{ R_{MIMO}^1, R_{MIMO}^2, \dots, R_{MIMO}^q \} \end{aligned} \quad (4)$$

可见,规则库 R 可看成由 q 个子规则库组成,而每一个子规则库由 n 个多输入单输出的规则组成。由于各个子规则是互相独立的,因此在 MIMO 中只需考虑 MIMO 子系统的模糊推理问题。其中第 i 条规则 R_{MIMO}^i 是由 q 个独立的 MIMO 规则组成的,即

$$R_{MIMO}^i = \{ R_{MIMO}^{i1}, R_{MIMO}^{i2}, \dots, R_{MIMO}^{iq} \} \quad (5)$$

其中, R_{MIMO}^{ij} : 如果 x 是 A_i , and $\cdots$ and y 是 B_i , 则 z_j 是 C_{ij} 。

2.2 模糊控制器设计

模糊控制器是模糊控制系统的核心。设计模糊控制器通常包括如下几项内容:(1)确定模糊控制器的输入输出变量(即确定控制量);(2)制定模糊控制规则;(3)对控制变量进行模糊量化处理;(4)论域的选择及量化因子、比例因子等参数的确定。

影响温室环境的主要因素有温度、湿度、光照度、 CO_2 浓度等,其中温度和湿度对温室的影响最为明显,因此系统对温湿度作了具体的研究。温室环境中的温湿度控制系统是一个多输入多输出(MIMO)的模糊控制系统,需要考虑 4 个输入变量和 7 个输出量。根据 MIMO 系统可简化成多个多输入单输出(MISO)系统的原理,可以采用多个 MISO 的模糊控制器来代替 MIMO 的模糊控制器,以减少模糊控制规则,简化控制器设计。

温室内温度和湿度的控制具有相对独立性,因此系统采用温度和湿度两个模糊控制器来解决多输入所引起的控制规则过于庞大的问题。下面以温度控制为例分析温室系统的模糊控制器的建立过程。

2.2.1 输入输出量的模糊化

在温度控制中,系统选用温度偏差 $e(t)$ 和温差变化率 $ec(t)$ 作为输入变量,对应的模糊集为 E_T 和 EC_T 。温度偏差在设定值的 $\pm 1^\circ C$ 以内为模糊控制区,即它的基本论域为 $[-1, 1]$,超过该论域的作为边界值处理,量化论域为 $[-6, 6]$,因此其量化因子为 $K_{et}=6$;温差变化率为 $EC_T = dE_T/dt$,反映了现场状态下温度偏差的变化趋势,它的基本论域为 $[-1, 1]$,量化论域为 $[-6, 6]$,故其量化因子为 $K_{ect}=6$ 。

温度偏差、温差变化率模糊集 E_T 和 EC_T 均用 7 个模糊状态表示,即 PB(正大)、PM(正中)、PS(正小)、ZO(零)、NS(负小)、NM(负中)、NB(负大)。模糊规则前件隶属函数的形状对控制性能影响不是很大,但其幅宽的大小对性能的影响

较大,后件部分隶属函数的幅宽对控制性能影响并不大,因此系统选用三角形隶属函数减少系统的计算量。

温度输出控制包括加热和降温,把输出量模糊集 U_T 用 6 个模糊状态表示为 PB, PS, ZO(适中)、NS(小降温)、NM(适度降温)、NB(大降温)。加热采用两种模糊状态表示, PB 是指热风炉的快速升温, PS 表示缓慢升温。温室系统的降温由 3 种状态组成:大幅度降温、适度降温和小幅度降温,输出量隶属函数采用三角形分布。

2.2.2 控制规则制定

建立模糊控制规则的基本思想是当误差大或较大时,选择控制量以尽快消除误差为主;而当误差较小时,选择控制量要注意防止超调,以系统的稳定性为主要出发点。根据以上原则,在对温度进行调整时通过判断偏差 E_T 以及偏差变化率 EC_T ,结合相应的控制规则消除偏差。冬季的控制规则可用模糊条件语句描述如下:

IF $E=NB$ AND $EC=PB$	THEN $U=PB$;
IF $E=NB$ AND $EC=PM$	THEN $U=PB$;
IF $E=NB$ AND $EC=PS$	THEN $U=PB$;
IF $E=NB$ AND $EC=ZO$	THEN $U=PB$;
IF $E=NB$ AND $EC=NS$	THEN $U=PB$;
IF $E=NB$ AND $EC=NM$	THEN $U=PB$;
IF $E=NB$ AND $EC=NB$	THEN $U=PB$;
.....	

依次类推,分别可得出 49 条冬季模糊控制规则,同理也可得出夏季模糊控制规则。

2.2.3 模糊变量的清晰化

模糊变量的清晰化方法有很多种,最常用的有最大隶属度法、中位数判决法和加权平均法^[4]。本系统采用加权平均法对变量进行清晰化处理。一般来讲,权系数的决定与系统的响应有关,因此可根据系统的设计要求或经验来选择适当的加权系数,当权系数 k_i ($i=1, 2, \dots, m$) 已确定时,模糊量的输出可由下式给出:

$$u' = \frac{\sum_{i=1}^m k_i u_i}{\sum_{i=1}^m k_i} \quad (6)$$

为简单起见,通常选取隶属函数作为加权系统,则清晰化结果可表述为:

$$u' = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_{U_i}(u_i) * u_i}{\sum_{i=1}^m \mu_{U_i}(u_i)} \quad (7)$$

这种计算方式类似重心的计算,所以在很多情况下称其为重心法。

3 系统仿真

温室环境现场监控系统的仿真建立在环境动态模型的基础上,是对设计的模糊控制器的控制效果和控制规则可行性的验证。

3.1 温室动态模型

温室系统一般分为 5 个组成部分:土壤层、作物、加热、室内空气和温室覆盖层。借鉴国内外环境气候建模的理论成果,同时考虑执行机构的控制作用,得到具体的温室环境气候温度动态模型^[5],如下所示:

$$v\rho C_P \frac{dT}{dt} = Q_s + Q_{heater} + Q_{sun} + Q_c + Q_l + Q_{soil} + Q_{leaf} - Q_{cool} - Q_{tran} - Q_P \quad (8)$$

其中, v 表示温室的体积(m^3), ρ 为空气密度(kg/m^3), C_P 为空气中的热含量($Jkg^{-1}K^{-1}$), Q 表示能量。

本文针对冬季气候条件下的温室环境对上述模型进行了研究以及系统仿真。冬季室外温度低, 室内天窗基本处于关闭状态, 不考虑通风热交换, 同时忽略叶面热传导、光合作用、作为蒸腾等对温室产生的微小影响, 式(8)可简化为:

$$v\rho C_P \frac{dT}{dt} = Q_s + Q_{heater} + Q_c + Q_l \quad (9)$$

其中: Q_s 为太阳光辐射能, Q_{heater} 为加热能, Q_c 为与外界热传导的能量, Q_l 为长波辐射能量。

表 1 为模型中的温室环境参数表。

表 1 参数表

参数	符号	数值
温室体积	v	1048.32 m^3
温室覆盖材料表面积	A_s	305.68 m^2
玻璃的透光率	τ	0.89
覆盖材料的传热系数	K_g	$2.97\Delta T^{0.33} Wm^{-2}K^{-1}$
空气的发射率	ϵ_1	0.90
玻璃的发射率	ϵ_2	0.90
空气密度	ρ	1.2 kgm^{-3}
空气中的热含量	C_P	1006 $Jkg^{-1}K^{-1}$
Stefan-Boltzman 常数	σ	$5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$

3.2 系统仿真

系统采用 Matlab/Simulink 软件对建立的模型进行仿真实验, 验证模糊控制策略的控制效果和规则的可性。根据温室环境动态模型, 建立室内温度控制系统 Simulink 仿真框图如图 1 所示。系统的输入量由室内温度偏差 E 和温度偏差变化率 EC 组成; 仿真中加入系统设定温度, 用于模糊控制规则的选择; E 和 EC 经过模糊控制后输出控制量调节温室加热系统, 并输出到 Matlab 工作区中。

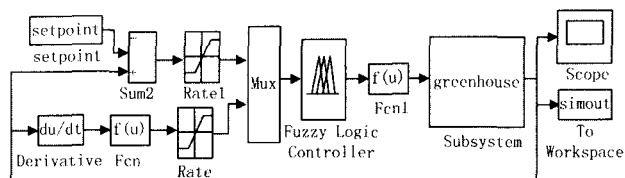


图 1 冬季 Simulink 仿真框图

冬季由于室外温度较低, 一般不开启湿帘风机进行降温。根据作物生长要求, 控制系统温度设定值为白天 $22^\circ C$, 夜晚 $10^\circ C$ 。仿真实验选取 2007 年 12 月 23 日的实际气候数据, 以 Excel 表的形式引入到温室模型中, 作为温室环境计算机模拟的依据。图 2 所示为当天室外气候条件, 包括室外温度、湿度和光照度。模型中的等式采用定时间步长的龙格-库塔算法积分。图 3 为计算机仿真温度与实际温度的对比图。由图可见, 温度仿真曲线控制室内最低温度在 $10^\circ C$ 左右, 最高温度没有超过 $26^\circ C$, 而一般作物生长的适宜温度为 $20^\circ C \sim 30^\circ C$ 之间, 因此采用上述模糊控制方法对室内温度的控制能满足作物生长的需要。从仿真曲线与实际曲线的对比来看, 实际曲线与仿真曲线比较吻合, 验证了温室动态模型建立的准确性以及模糊控制策略的可行性。

最后对采用模糊控制的控制效果和采用 PID 控制的控制效果进行比较。温室环境控制中的温度参数的数学模型可

近似看成一阶纯滞后加干扰模型。假设一阶纯滞后系统的传递函数为 $G(s) = \frac{e^{-2s}}{5s+1}$, 采用单位阶跃输入, 使用 Matlab/Simulink 软件进行仿真。图 4 所示为两者的控制效果比较图。从图中可以看出, 采用模糊控制方法得到的仿真曲线比采用 PID 控制方法得到的仿真曲线超调量小, 调节时间短, 控制效果明显优于常规 PID 控制, 验证了采用模糊控制作为系统控制策略的合理性。

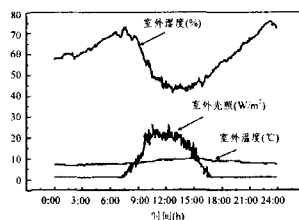


图 2 室外气候条件

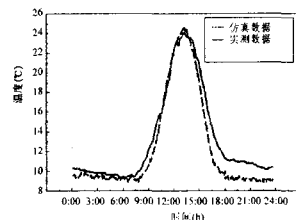


图 3 模糊控制对比图

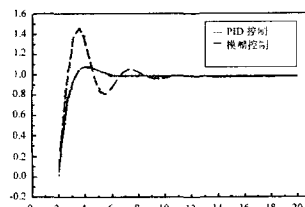


图 4 PID 控制与模糊控制的比较

结束语 本文对温室环境监控系统的控制策略进行了研究。根据温室环境非线性、大延时、强耦合等特点, 选用模糊控制方法作为系统的控制策略。通过对模糊控制理论的分析以及温室环境系统特点的研究, 选择系统的温湿度偏差以及偏差变化率作为系统的输入输出量并进行模糊化, 针对冬季和夏季的气候特点制定模糊控制规则, 采用加权平均法作为模糊变量的清晰化方式, 设计了温室环境控制系统的模糊控制器。得出温室动态模型, 并进行了仿真实验, 验证了控制方法的可行性和模型的准确性。通过与 PID 控制方法的比较, 证实模糊控制方法的控制效果优于 PID 控制。今后, 随着模糊控制技术的不断发展, 可利用改进后的模糊控制技术对温室控制系统的控制策略做进一步的优化研究, 以达到更好的控制目的。

参考文献

- [1] Yusof R, Omatu S. Application of Generalized Predictive Control To Temperature Control Process[C]// IECON'91. 1991; 1935-1940
- [2] van Straten G. Acceptance of optimal operation and control methods for green house cultivation[J]. Annual Reviews in Control, 1999, 23: 83-90
- [3] 闫德勤, 张丽平. 关于模糊集的粗糙度[J]. 计算机科学, 2006, 33(9): 184-185
- [4] Eker I, Torun Y. Fuzzy logic control to be conventional method [J]. Energy Conversion and Monagement, 2006, 47(4): 377-394
- [5] Castafieda - Miranda R, Ventura - Ramos E Jr, del Rocfo Peniche - Vera R, et al. Fuzzy Greenhouse Climate Control System based on a Field Programmable Gate Array[J]. Biosystems Engineering, 2006, 94(2): 165-177