

数据融合及模糊控制在温室大棚的应用研究

陈 慧¹, 欧阳兵¹, 孙丽娟¹, 朱 伟², 张震宇¹

(1. 浙江科技学院 自动化与电气工程学院, 杭州 310023; 2. 杭州浙达精益机电技术股份有限公司, 杭州 311121)

摘 要: 针对当前温室大棚控制系统的不足, 研究数据融合及模糊控制方法在温室大棚中的应用。利用狄克逊准则(Dixon Criterion)将传感器采集的温度、湿度、光照度3个环境因子数据进行较大误差处理, 并采用改进型自适应加权融合算法进行数据融合; 使用MATLAB软件的模糊逻辑工具箱设计模糊控制器, 以融合后的3个环境因子偏差值作为模糊控制器的输入, 以加热器、通风机及补光灯等多个环境控制器信号作为输出, 建立多输入、多输出的模糊控制系统。试验结果表明: 该方法能使环境因子快速达到环境设置值, 稳定状态时数据波动范围较小。该方法能有效改善作物的生长条件, 满足温室的控制要求。

关键词: 数据融合; 模糊控制; 温室大棚; MATLAB

中图分类号: TP273.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-8798(2020)03-0197-06

Application research on data fusion and fuzzy control method in greenhouse

CHEN Hui¹, OUYANG Bing¹, SUN Lijuan¹, ZHU Wei², ZHANG Zhenyu¹

(1. School of Automation and Electrical Engineering, Zhejiang university of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 2. Hangzhou Zheda Jingyi Electromechanical Technology Corporation Limited, Hangzhou 311121, Zhejiang, China)

Abstract: In response to shortcomings of the current greenhouse control system, the data fusion and fuzzy control method was studied and applied to the greenhouse. The Dixon Criterion was used to deal with large errors in three environmental factors, consisting of temperature, humidity and illumination collected by the sensors, and the improved adaptive weighted fusion algorithm was used for data fusion. The fuzzy controller was designed by using the fuzzy logic toolbox in MATLAB software. Fused deviation values of those environmental factors were used as inputs of the fuzzy controller, while multiple environmental controller signals, such as heaters, ventilators, and fill lamps were used as outputs to establish a multi-input and multi-output fuzzy control system. The test results show that this method can facilitate the environmental factors to quickly reach the required environmental setting

收稿日期: 2019-10-29

通信作者: 张震宇(1976—), 男, 浙江省兰溪人, 副教授, 硕士, 主要从事测量与控制方面的研究。E-mail: zhangzhenyu@zust.edu.cn。

values with small fluctuation range of data when the state being stable. This method can effectively improve the growing conditions of crops and meet the control requirements of the greenhouse.

Keywords: data fusion; fuzzy control; greenhouse; MATLAB

传统的农业栽培需要遵循季节性及周期性的栽培规律,受外界环境的影响较大,相应的栽培技术无法得到良好的栽培结果^[1]。而温室大棚通过环境控制器调节温室环境,为作物提供了合适的生长环境。因此,它在农业领域的应用越来越广泛,温室环境控制系统的研究成为人们关注的热点^[2-5]。韩毅^[6]提出了一种温湿度变结构模糊控制方法,将控制过程分为“快速控制”和“精细调节”两个过程,以改善控制系统稳态性能;左志宇等^[7]提出了一种基于光照的温室加热系统模糊 PID 控制(proportional-integral-derivative control, 比例-积分-微分控制)方法,利用自然光对温度进行调节,以提高控制系统的动静态性能。但温室各环境因子相互影响,以上两种对单一对象的控制方法均无法达到最优的控制效果。王宪磊等^[8]提出了一种基于模糊控制专家系统的智能温室控制方法,结合多信息融合的原理,提高温室环境参数测控的决策准确性;邢希君等^[9]提出了一种基于双模糊控制器的智能控制方法,加入分段控制以实现温室内全天候自适应智能控制。但这两种方法中的传感器在采集数据时存在故障及数据失真等问题,而系统并未对采集数据进行处理,易影响控制的效果。在上述研究的基础上,本文采用狄克逊准则(Dixon Criterion)及改进型自适应加权融合算法对采集的环境因子数据进行预处理,利用模糊控制方法,以室内环境因子偏差值作为输入,温室环境控制器信号作为输出,研究数据融合及模糊控制方法在温室大棚中的应用,以提高数据的可靠性、稳定性及系统的响应速度。

1 系统整体设计

温室大棚控制系统主要由数据采集、数据传输及数据决策 3 个部分组成,其整体结构如图 1 所示。系统由终端传感器采集温室内温度、湿度、光照强度 3 个环境因子的数据,并无线发送至 ZigBee 协调器;ZigBee 协调器通过 WiFi 将采集到的数据上传到控制中心;控制中心采用数据融合及模糊控制方法对 3 个环境因子数据进行融合判断,若 3 个环境因子数据不在设定值范围内,则向环境控制器发送控制命令,以达到调节温室环境的目的。

2 数据融合

温室环境受多种因素影响,单一传感器测量数据存在监测不全面、准确度低等问题^[10],多传感器数据融合对待测的多源信息进行融合,与单一传感器的测量结果相比,能获得更高的检测精度^[11]。因此,本研究采用 2 级数据融合方案:第 1 级采用狄克逊准则,克服粗大误差(即出现明显超出规定条件下预期的误差),提高数据的可靠性;第 2 级采用改进型自适应加权的融合算法,提高数据的准确度。

2.1 狄克逊准则

在测量过程中,疏忽误差的存在将使得数据可靠性降低,导致控制出现偏差。格拉布斯准则(Grubbs Criterion)适合测量次数偏小的情况,一次只能剔除一个误差,拉伊达准则(Pauta Criterion)适合测量次数趋于无穷大的情况,而狄克逊准则通过极差比判定、剔除异常数据,不用计算均值与方差,可一次性剔除多个异常值,方法更为简便^[12],具体过程如下。

将采样数据 $v(n)$ 按值的大小排成顺序统计量, $n(3 \leq n \leq 7)$ 为采样点个数。当 $v(n)$ 服从正态分布时,统计量

$$\gamma_{10} = \frac{v(n) - v(n-1)}{v(n) - v(1)};$$

$$\gamma'_{10} = \frac{v(2) - v(1)}{v(n) - v(1)}。$$

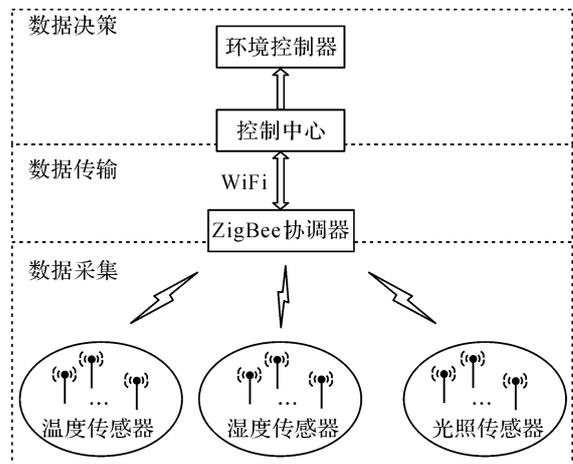


图 1 温室大棚控制系统整体结构

Fig. 1 Architecture of greenhouse control system

设 $D(\alpha, n)$ 为狄克逊检验的临界值,取显著水平 α 为 0.01,当 $\gamma_{10} > \gamma'_{10}$ 、 $\gamma_{10} > D(\alpha, n)$ 时, $v(n)$ 为异常值;当 $\gamma_{10} < \gamma'_{10}$ 、 $\gamma'_{10} > D(\alpha, n)$ 时,则 $v(1)$ 为异常值;否则没有异常值。重复以上过程,直到没有异常值。剔除异常值后对余下数据进行算术平均法融合,融合后的数据作为此次采集的最终结果。

2.2 改进型自适应加权融合算法

将某时刻的采样数据平均分为 6 组,一共有 n 个数据,其中第 k 组为 $X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{kn_k}$ ($k = 1, 2, \dots, 6$,

$\sum_{k=1}^6 n_k = n$),分为以下 2 个步骤:

1) 计算每组的算术平均值 X_k 和标准误差 σ_k ,得

$$X_k = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} X_{ki};$$

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{n_k - 1} \sum_{i=1}^{n_k} (X_{ki} - X_k)^2}.$$

根据统计学中分批估计理论^[13-14],将 6 组数据平均分为 3 组,其中第 j 组的融合值方差 D_j 、数据融合值 T_j 分别为

$$D_j = \frac{\sigma_{2j}^2 \sigma_{2j-1}^2}{\sigma_{2j-1}^2 + \sigma_{2j}^2} \quad (j = 1, 2, 3); \tag{1}$$

$$T_j = \frac{\sigma_{2j}^2 X_{2j-1} + \sigma_{2j-1}^2 X_{2j}}{\sigma_{2j}^2 + \sigma_{2j-1}^2}. \tag{2}$$

2) 因不同分批数据融合值对应不同的权值,以权值最优分配原则对式(1)~(2)所得出的方差 D_j 、融合值 T_j 进行自适应加权,得到最小总均方差,以提高数据融合精度。

引入加权因子 w_k ($\sum_{k=1}^3 w_k = 1, k = 1, 2, 3$),计算数据融合值

$$X = \sum_{k=1}^3 w_k T_k.$$

计算总均方误差

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^3 w_k^2 \sigma_k^2.$$

由多元函数求极值理论,计算得

$$w'_k = \frac{1}{\delta_k^2 \sum_{k=1}^n \frac{1}{\delta_k^2}},$$

取得最小值,此时最优的融合结果

$$X = w'_k T_k.$$

2.3 数据采集及分析

记录温室大棚内某次由温度传感器采集并上传的温度值,采用狄克逊准则进行第 1 级数据处理并分成 6 组,每组 4 个数据,结果见表 1。

表 1 温室大棚 6 组温度采集数据

Table 1 Six sets of temperature data collected in greenhouse

组别	温度/°C			
第 1 组	26.8	26.5	25.8	26.2
第 2 组	26.4	26.8	26.0	25.7
第 3 组	25.4	25.7	26.3	25.9
第 4 组	26.2	25.8	25.5	25.6
第 5 组	25.7	26.5	26.8	26.1
第 6 组	26.5	26.0	26.3	25.9

对表 1 中的数据进行第 2 级融合,此时对应的融合值 $X=26.23$, 方差 $\sigma^2=0.001$ 。分别用算术平均法、自适应加权算法及本文算法对表 1 数据进行处理,得到的融合值及方差见表 2。

由表 2 可知,本文所使用的数据融合算法方差最小,因此准确度最高。

表 2 3 种算法融合结果对比

Table 2 Comparison of fusion results of three algorithms

方法	融合值	方差
算术平均法	26.10	0.173
自适应加权	26.04	0.002
本文算法	26.03	0.001

3 模糊控制

利用 MATLAB 软件的模糊逻辑工具箱设计模糊控制器,将传感器采集的环境因子值与设定的目标值进行比较,得出差值后经过模糊化转换成模糊量,通过模糊规则将模糊输入量进行模糊推理后,得出模糊输出控制量,最后对模糊输出控制量进行反模糊化处理得到精确量并发送至环境控制器,以达到控制温室环境的目的。温室环境控制模型如图 2 所示,系统以温室内的温度、湿度、光照度 3 个环境因子作为输入量,以对输入量影响程度较大的遮光帘、加热器、天窗、加湿器、LED 补光灯及通风机作为输出量,建立 3 输入、6 输出的模糊控制系统。

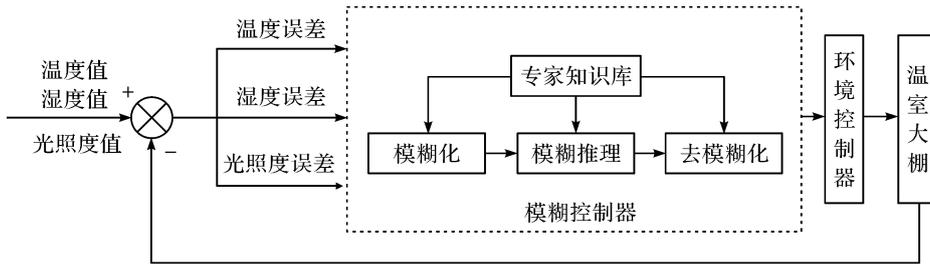


图 2 温室环境控制模型

Fig. 2 Model of greenhouse environmental control

3.1 模糊化

记温度、湿度、光照度的设定值与检测值的相对误差分别为 e_T, e_H, e_L , 定义 e_T, e_L 的论域为 $[-5, 5]$, e_H 的论域为 $[-10, 10]$, e_T, e_H 的语言变量选择为 NB(极小)、NS(偏小)、ZO(适中)、PS(偏大)、PB(极大), 选择三角形隶属函数, e_L 的语言变量选择为 N(暗)、ZO(适中)、P(亮), 选择三角形和梯形相结合的隶属函数。

温室环境控制器的输出通过控制相应设备的运行时间来实现开度的控制。定义遮光帘(U_1)、加热器(U_2)、天窗(U_3)、加湿器(U_4)、LED 补光灯(U_5)及通风机(U_6)的论域为 $[0, 3]$, 语言变量为 A(全开)、B(半开)、C(关闭), 选择三角形隶属函数。以温度和遮光帘为例, 隶属函数图像如图 3 所示。

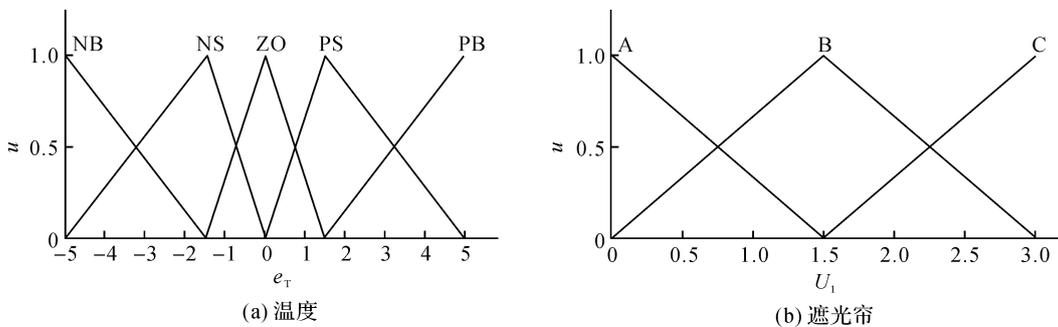


图 3 隶属度函数

Fig. 3 Membership function

3.2 模糊规则

模糊规则一般为专家及工作人员经过长时间总结的实践经验形成的模糊条件语句, 结合本文系统控制的要求, 我们将环境控制器对环境因子的影响程度进行合理度划分, 制定模糊控制规则。模糊语句共有 $5 \times 5 \times 3 = 75$ 条, 其中部分模糊规则控制见表 3。

表3 部分模糊规则控制表

Table 3 Partial fuzzy rule control table

温度	湿度	光照度	遮光帘	加热器	天窗	加湿器	LED补光灯	通风机
极小	极小	暗	全开	全开	关闭	全开	全开	关闭
极小	偏小	适中	半开	全开	半开	半开	关闭	关闭
极小	偏大	亮	关闭	全开	半开	关闭	关闭	半开
适中	极小	暗	全开	半开	关闭	全开	全开	全开
适中	适中	适中	关闭	关闭	全开	关闭	关闭	关闭
适中	极大	亮	关闭	关闭	全开	关闭	关闭	全开
偏大	偏小	暗	全开	关闭	半开	半开	全开	半开
偏大	适中	适中	关闭	关闭	半开	关闭	关闭	半开
偏大	偏大	亮	关闭	关闭	全开	关闭	关闭	半开

3.3 模糊推理

模糊推理根据模糊控制器的输入和模糊控制规则,得到输出变量加热器、通风机及补光灯等多个环境控制器模糊控制的结果,由于环境控制设备可调节,因此本文使用 Mamdani 型推理方法^[15-16]。对多输入、多输出系统的模糊推理转化为多输入、单输出系统的模糊推理,即对每个环境设备控制器的输出单独进行分析^[17]。

通过模糊推理得到的结果为一个模糊向量,不能直接使用,需要进行解模糊,转化为实际值。本文采用加权平均法以得到实际输出值

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n u(U_i)U_i}{\sum_{i=1}^n u(U_i)}$$

4 试验及分析

根据实际温室大棚的特点,我们设计了温室试验模型。首先对无线通信模块供电,传感器采集节点合理布置,然后对室内的温度、湿度和光照强度等参数值进行采集。为了验证本文方法的有效性,设定温室目标温度为 25℃、湿度为 60 RH%、光照度为 1 500 lx,每隔 1 min 采集 1 次数据,采用 2 级数据融合对数据进行预处理后,利用模糊控制算法进行决策控制,控制过程中,将 3 个环境参数的变化值用 MATLAB 软件绘制成相应曲线,如图 4 所示。

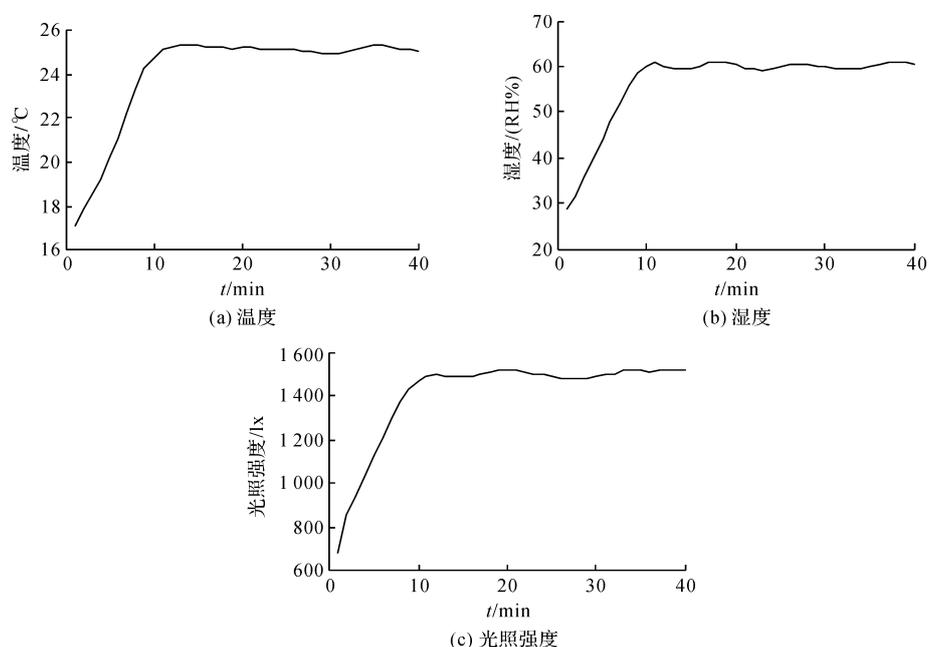


图4 温室环境因子变化曲线

Fig. 4 Curve of changes in environmental factors in greenhouse

由图 4 可知,3 个环境因子均在 10 min 内接近设定值,其中,温度的相对最大波动值为 2.1%,湿度的相对最大波动值为 2.54%,光照强度的相对最大波动值为 2.36%,数据处于稳定时波动范围较小。由此可见,相比较于文献[9]中使用的方法,本文采用的 2 级数据融合处理方法测量数据的准确度更高,因此更能反映温室内的真实环境状况,更有利于提高控制精度。

5 结 语

温室环境具有参数多、滞后性强、外界干扰大等特点,难以对其建立精确的数学模型进行控制^[18]。本文针对当前温室大棚控制系统存在的不足提出了数据融合及模糊控制方法,试验结果表明,采用 2 级数据融合算法对数据进行预处理提高了数据的可靠性及数据融合的精度;采用模糊控制方法能使温室环境快速接近设定值并维持在稳定状态,可满足温室环境的控制要求。

参考文献:

- [1] 官春云. 现代作物栽培学[M]. 北京:高等教育出版社,2011.
- [2] 张雪花,张武,杨旭,等. 农业温室环境控制方法研究综述[J]. 控制工程,2017,24(1):8.
- [3] 毛罕平,晋春,陈勇. 温室环境控制方法研究进展分析与展望[J]. 农业机械学报,2018,49(2):1.
- [4] PARK D, PARK J. Wireless sensor network-based greenhouse environment monitoring and automatic control system for dew condensation prevention[J]. Sensors,2011,11(4):3640.
- [5] PRARFOROS D S, GRIEPENTROG H W. Multivariable greenhouse climate control using dynamic decoupling controllers[C]//IFAC Proceedings Volumes. Amsterdam: Elsevier Ltd.,2013:305.
- [6] 韩毅. 基于物联网的设施农业温室大棚智能控制系统研究[D]. 太原:太原理工大学,2016.
- [7] 左志宇,秦丽娟,毛罕平,等. 基于光照的温室加热系统模糊 PID 控制[J]. 农机化研究,2017,39(6):218.
- [8] 王宪磊,裴玖玲,刘润泽,等. 南疆地区智能温室控制系统研究:基于多传感器融合机理[J]. 农机化研究,2017,39(7):42.
- [9] 邢希君,宋建成,吝伶俐. 基于双模糊控制器的温室智能控制系统设计[J]. 北方园艺,2018(18):62.
- [10] 刘静,李富忠,荆瑞俊. 环境监测中多传感器数据融合研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2017,37(5):340.
- [11] 黄健,徐永刚,孙中廷. 多传感器数据融合技术在煤矿井下的应用[J]. 煤矿机械,2015,36(7):242.
- [12] 王小凯,朱小文. 计量检定中 3 种判别和剔除异常值的统计方法[J]. 中国测试,2018,44(增刊 1):41.
- [13] 何友,王国宏,彭应宁,等. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2000.
- [14] 许可,冯丹,王枫,等. 基于数据融合的日光温室传感器布设[J]. 沈阳工业大学学报,2019,41(1):91.
- [15] 崔宪伟. 一种基于物联网的智能大棚监控系统的研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2018.
- [16] 徐兵,程旭德,王宏利,等. 基于 Matlab 的 Mamdani 与 Sugeno 型模糊推理研究[J]. 计算机应用,2006(增刊 1):223.
- [17] 王万良. 人工智能及其应用[M]. 北京:高等教育出版社,2016.
- [18] 张妮妮,袁路路. 基于遗传优化模糊 PID 算法的温室智能控制系统研究[J]. 农机化研究,2017,39(7):212.