

基于改进遗传算法的温湿度模糊神经网络控制器

李秀梅^{1,2}, 赵春江¹, 乔晓军¹, 刘华毅²

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089; 2 大连理工大学, 大连 116024)

摘要: 为了创造适合作物生长的环境, 针对温室系统的特点, 该文提出了一种基于改进遗传算法的模糊神经网络控制器, 利用改进遗传算法训练模糊神经网络模型, 采用此模糊神经网络控制器控制温室系统, 由数值实验可以看到采用此控制器的温室系统具有响应速度快、过程平稳、编程简单的特点。

关键词: 模糊神经网络控制器; 改进遗传算法; 温室

中图分类号: S625.5⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0259-04

0 引言

温室系统是个非线性、慢时变、滞后的复杂大系统, 由于其内部各环境因子之间存在强耦合关系, 要想对温室环境因子进行控制, 必须先建立温室系统的数学模型, 而传统的建模方法很难为温室系统建立一个精确的数学模型, 这为温室系统控制器的设计提出了挑战。

模糊神经网络是一种集模糊逻辑推理的结构化知识表达能力与神经网络的自学习能力于一体的新技术^[4], 它是模糊逻辑推理和神经网络有机结合的产物, 不需要对控制对象建立精确的数学模型。于是很多人提出用模糊神经网络控制器控制温室系统, 如宫赤坤等^[5]提出用模糊神经网络控制器控制温室环境因子, 该系统要求模糊神经网络的权值调整是在预先确定好模糊子集的情况下进行的, 且随着模糊子集的增加, 模糊规则将以指数形式增加, 这使得网络结构十分庞大, 降低了模型的可行性。钟应善、杨家强等^[3]介绍了一种基于 MCS-51 单片处理机的模糊控制温室温度和湿度技术, 但该系统需要确定每个变量的模糊集、隶属度、建立模糊规则库, 占用大量的内存, 这样就降低了系统的自适应性, 故系统的实时性不是很理想。近年来国外关于模糊神经网络模型的研究报道也不少, 他们在模糊神经网络控制器的结构参数、训练算法、规则获取等方面提出了许多观点, 如 P. P. Angelov 等人^[7]针对那些高维的、难以建立数学模型的系统提出用遗传算法自动获取模糊规则, 在提取模糊规则的同时可以确定模型结构和参数。J. Chen 和 D. C. Rine^[8]用综合的自适应算法训练模糊逻辑控制器的软件部分, 通过测试和自调整两个阶段完成模糊推理, 但它是一种离线学习、训练的推理机。Sukumar Chakraborty^[9]提出一种神经模糊推理器, 是对单结论模糊规则推理的一种推广, 是一个前提条件下有多个结论的模糊神经网络推理机。Meng Joo Er 等

人^[10]提出基于 RBF 的动态学习训练算法, A. Blanco 等人^[11]用十进制编码的遗传算法训练环形神经网络模型结构, 这些都是在训练算法方面的研究。Arnold F. Shapiro 等人^[12]分析研究模糊逻辑、神经网络、遗传算法的优缺点, 阐述了三者结合的必然性, 从理论上为遗传算法训练模糊神经网络模型的可行性奠定了基础。结合国内外的研究状况, 本文针对温室系统的特点设计的模糊神经网络控制器, 可以较好地解决文献[3, 5]中存在的问题, 而且编程简单。

1 模糊神经网络控制器设计

1.1 设计思路——等效原理

模糊神经网络控制器主要是指利用神经网络结构来实现模糊逻辑推理, 从而使传统神经网络没有明确物理含义的权值被赋予了模糊逻辑中推理参数的物理含义^[4]。设计模糊神经网络控制器时, 主要包括以下几部分: 确定模型的输入/输出个数、模糊神经网络的层数、神经元的激励函数、去模糊化的方法等。需要控制的温室环境因子很多, 如温度、湿度、光照度、CO₂ 浓度、EC 值等。本文首先考虑对温室环境的温度、湿度进行控制, 此时模糊神经网络的控制器的输入个数为 2, 采用 4 个输入量, 即温度误差、湿度误差、温度误差变化率、湿度误差变化率。温室环境控制系统的输入量有: 天窗、侧窗、风扇、湿帘、喷雾、内和外遮阳幕、加热设备等。由此可见温室是个多输入多输出的系统, 如果按常规思路设计模糊神经网络控制器, 那么就会出现以下问题: 模型结构的神经元节点太多, 计算耗时, 占用大量内存, 实时性差, 模型的可靠性小等。

针对上述问题, 本文提出一种新的设计模糊神经网络控制器的思路: 由于温室环境控制系统的输入量(模糊控制器的输出量)主要有两个功能, 改变温室环境的温度, 改变温室环境的湿度, 但是不同的执行机构对温度、湿度的影响程度是不同的, 根据其影响程度的大小, 给不同的执行机构分配不同的权值、阈值, 如表 1 所示, 这样就把温室系统的多个执行机构从功能上等效能 1 个执行机构, 由此得到的等效温室就是单输入/多输出系统, 根据等效温室设计模糊神经网络控制器, 大大简化模糊神经网络控制器的结构。工程上易于实现,

收稿日期: 2003-06-06 修订日期: 2003-09-05

基金项目: 国家 863 计划(2001AA 247022); 北京市工厂化高效农业项目(H020720030530); 北京市农业技术试验示范项目(20012014)

作者简介: 李秀梅, 硕士生, 主要从事温室智能控制方面研究, 北京国家农业信息化工程技术研究中心, 100089

具体控制过程如下: 用模糊神经网络控制器的输出量 C 乘以各自的权值, 如果所得结果大于对应执行机构的阈值, 那么执行机构就发生动作, 否则, 不发生动作, 当然执行机构之间也存在一定约束关系。

表 1 执行机构的权值、阈值(实验数值)

Table 1 Weight values and valve values of executing machines (experiment values)

执行机构名称	权值	阈值
侧窗	0.15	0.10
天窗	0.15	0.10
风机	0.40	0.30
湿帘	0.15	0.30
喷雾	0.25	0.30
加热设备	0.50	0.20
内遮阳	0.05	0.50
外遮阳	0.05	0.50

1.2 模糊神经网络控制器模型结构

采用文献[2, 6]中确定模糊神经网络模型结构及隶属度函数的方法, 设计模糊神经网络控制器结构如图 1 所示, 由输入层、两个隐含层和输出层构成四层神经网络, 从第二层到第四层的神经元都有明确的模糊逻辑含义。第二层是将输入变量模糊化, 即求输入变量的隶属度, 选择类高斯函数作为隶属度函数, 第三层实现模糊推理功能, 选高斯函数为模糊推理函数, 第四层实现去模糊化功能, 这里采用重心法去模糊化。如果不采用等效处理直接根据控制对象设计的模糊神经网络控制器的结构如图 2 所示。比较图 1、图 2 可以发现等效处理前的模糊神经网络控制器结构复杂、庞大, 其主要缺点就是获取模糊神经网络控制器过程中, 由于神经元数目的增加, 权值个数随之增加, 个体的长度也随之变大, 导致模型训练耗时、不易实现。

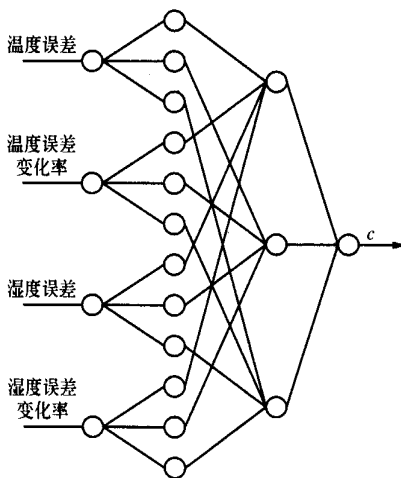


图 1 模糊神经网络控制器模型

Fig 1 FNN controller model

类高斯函数:

$$f(x) = 1 / \{1 + \exp[1 - 0.5(\frac{x-c}{\sigma})^2]\} \quad (1)$$

高斯函数:

$$f(x) = \exp[-0.5(\frac{x-c}{\sigma})^2] \quad (2)$$

其中公式中的中心 c 和半径 σ 都是可调整的参数。

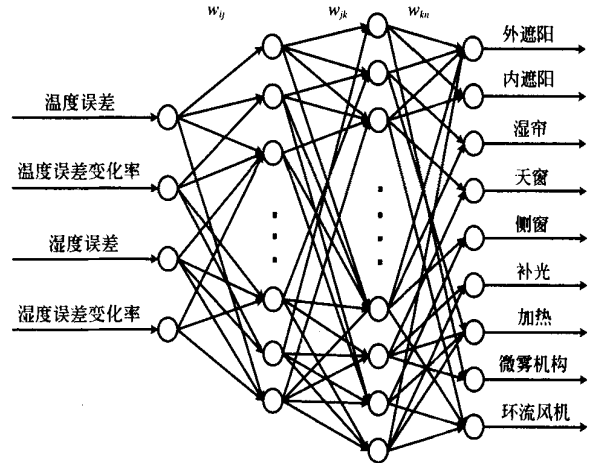


图 2 等效处理前的模糊神经网络控制器模型

Fig 2 FNN controller model before equivalent p proceed

2 温室系统辨识模型

由于训练模糊神经网络控制器模型需要控制对象的输入输出数据, 故需要对温室系统进行建模, 该模型由三层神经网络构成, 输入层有 1 个神经元节点, 输入量为 I , I 是根据执行机构对温度、湿度影响程度大小的一个等效输入量, 隐含层有 6 个神经元节点, 输出层有 2 个神经元节点, 分别是温度、湿度, 隐含层的激励函数选 S 型函数, 输出层采用线性激活函数。将辨识模型与温室系统并联, 选择系统的实测输出和辨识模型输出的误差平方和为目标函数, 利用改进遗传算法对辨识模型调整, 训练后得温室系统的等效输出/输入关系模型。

3 采用改进遗传算法训练模糊神经网络控制器

与以往所采用的模型训练算法如 BP 算法、梯度法、牛顿法等相比, 改进遗传算法在搜索过程中不易陷入局部极值点, 能在全局范围内较快的找到最优解, 且不要求目标函数具有可微、非凹等特性, 还具有编程简单的优点。

3.1 算法步骤

1) 输入输出变量归一化

设输入变量的变化范围是 $[a, b]$, 输出变量的变化范围为 $[c, d]$, 设归一化后的输入为 I , 输出为 O ; 则

$$I = \frac{i-a}{b-a}, \quad i: \text{系统实测输入量}$$

$$O = \frac{o-c}{d-c}, \quad o: \text{系统实测输出量}$$

2) 个体编码

个体是由神经网络模型结构的权值 w_{ij} , 隶属度函数的参数及激励函数的参数: 中心 c_i 、半径 σ_i 构成, 本算法中隶属度函数一般取高斯函数或钟形函数等对称函数, 激励函数选择高斯函数或类高斯函数, 神经元的阈值统一选取“1”。

例如: 如果神经网络模型结构中共有 k 个权值, 且

不算第一层神经元个数, 从第二层神经元算起共有 m 个神经元, 那么种群中的任一个体的组成见图 3。其中 w_k, c_k, σ_i 都是十进制编码的浮点数。



图 3 个体编码

Fig 3 Individual coding

3) 计算个体适配值、排序

由于改进的遗传算法中个体的进化是根据个体的适配值的大小来决定, 所以要根据适配值对个体进行排序。然后对排好序的种群标出上、下界, 一般下界标在排序号是种群的中间那个个体或中间偏下的个体, 而上界标在排序号是种群总数的百分之十的个体上, 例如一个种群规模是 120, 那么上界点一般标在排序号为第 12 的个体上, 下界点标在第 70 或第 60 个个体上。

4) 智能变异

由于排在前面个体的适应值比排在后面的个体的适应值高, 所以排在前面的个体变异步长相对小一些, 而排在后面的个体的变异步长相对大一点, 以上界点为界, 在上界点处的个体变异步长 a 是 1, 排在此个体后的个体变异的步长 a 将按公式(3) 线性增加

$$a = (ind - ucb)(a_{max} - 1)/(pop - ucb) + c \quad (3)$$

式中 ind —— 个体的排序号; ucb —— 上界点处的排序号; pop —— 种群规模的大小; c —— 常数; a_{max} —— 某一代种群中个体的最大变异步长, 可由公式(4) 求得:

$$a_{max} = a_0(1 - gen/maxgen) + 1 \quad (4)$$

式中 a_0 —— a_{max} 初始给定值; gen —— 当前运行代数; $maxgen$ —— 设定的最大运行代数。

4) 随机变异

上界点以下的所有个体都要按概率 pm 进行随机变异, 对于 pm 值的选取必须要慎重考虑, 只对种群中一小部分个体, pm 取大一点的值(一般取 0.5); 而对大多数个体来说, pm 取较小的值(一般取 0.01)^[1]。

算法流程图见图 4, 其中 m : 表示个体的维数, N : 表示种群的大小, e : 表示计算误差, e_0 : 表示给定误差限, c : 记录迭代次数, gen : 表示设定最大计算代数。

4 数值实验及其结果分析

实验在国家农业信息技术研究中心环境控制部温室中进行, 为了观测不同的执行机构对温室环境因子的影响程度, 我们对温室的输入量—— 执行机构进行相应操作, 具体试验步骤如下: 每个执行机构动作后, 每隔 2 min 对温室内的空气温度、相对湿度进行测量记录; 为了尽量减少执行机构之间的相互影响, 在对下一个执行机构动作前, 先让当前状态保持 10~ 15 min, 然后再进行下一个执行机构的操作, 保持 2 min 后记录数据, 重

复此过程, 记录不同执行机构对温室环境因子的影响程度。

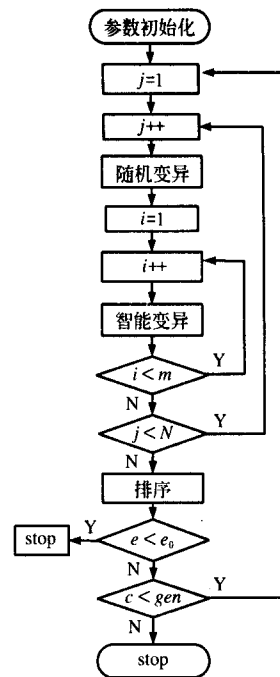


图 4 主程序流程图

Fig 4 Flow chart of the main program

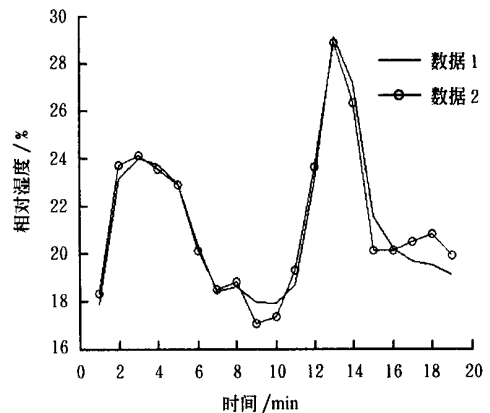


图 5 辨识模型图

Fig 5 Output of the identify model

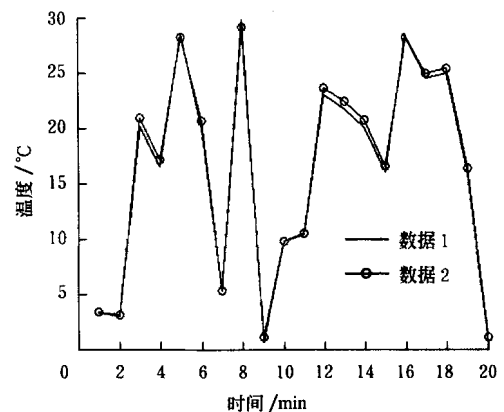


图 6 模糊神经网络控制器输出

Fig 6 Output of the FNN controller

根据上述方法得实验结果如图 5、6 所示, 图 5 是温室辨识模型图, 图 6 是温室模糊控制器控制温室的温度图。图 5 是温室内相对湿度的实测 (data1) 与计算值

(data2)比较图,两曲线相当吻合,说明辨识模型辨识能力强。由数据分析可知:在辨识过程中辨识模型的最大相对误差是7.8%,最小误差是0.2%。图6是温室内设定温度(data1)和模糊神经网络控制器下温室系统实际的输出温度(data2),控制最大相对误差是2.8%。由图可知两曲线相当吻合,说明模糊神经网络控制器有效。模型输出值和实测值之间存在误差的原因有如下几点:

测量过程带来的误差, 计算过程中传递积累误差,

辨识模型结构可能不是最优的拓扑结构,存在逼近误差, 由于每一次执行机构动作后,温室的温度、湿度需要一段均衡时间,均衡时间长短的选取对温度、湿度的测量值影响不同带来的误差。

本实验采用的样本量是2000个,其中1800个用来模型训练,200个样本点用来进行数值检验。样本点是对温室系统每10min采一次样,共采样2000次所得。通过实验(图5、6)可见此模糊神经网络控制器的控制性能良好。

4 结 论

针对温室的特点,本文提出基于改进遗传算法的模糊神经网络控制器,通过采用等效执行机构,把多输入多输出的温室系统转变成单输入多输出的系统,此外利用改进遗传算法训练温室系统的辨识模型、模糊神经网络控制器模型,不仅使得算法编程简单,计算量小,而且此系统控制性能好、鲁棒性强、实时性好。

[参 考 文 献]

[1] 李秀梅,刘华毅,徐景德.一种新的遗传算法求解约束优化

问题[J].计算机技术与自动化,2003,3:17~20

- [2] 刘增良.模糊技术与应用选编(3)[M].北京:北京航空航天大学出版社,1998
- [3] 钟应善,杨家强,邓劲莲.温室温度和湿度的多变量模糊控制技术[J].农业机械学报,2001,5:75~78
- [4] 王耀难.智能控制系统[M].湖南:湖南大学出版社,1996
- [5] 宫赤坤,毛罕平.温室温湿度遗传模糊神经网络控制仿真研究[J].江苏理工大学学报(自然科学版),2000,6(21):35~37.
- [6] 窦振中.模糊逻辑控制技术及其应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,1995
- [7] Angelov P P, Buswell R A. Automatic generation of fuzzy rule-based models from data by genetic algorithms[J]. Information Sciences, 2003, 150: 17~31.
- [8] Chen J, Rine D C. Training fuzzy logic controller software components by combining adaptation algorithms[J]. Advances in Engineering Software 2003, 34: 125~137.
- [9] Sukumar Chakraborty, Kuhu Pal, Nikhil R. Pal. A neuro-fuzzy framework for inferencing[J]. Neural Networks 2002, 15: 247~261.
- [10] Meng Joo Er, Wu Shiqian. A fast learning algorithm for parsimonious fuzzy neural systems[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2002, 126: 337~351.
- [11] Blanco A, Delgado M, Pegalajar M C. A real-coded genetic algorithm for training recurrent neural networks[J]. Neural Networks 2001, 14: 93~105.
- [12] Arnold F Shapiro. The merging of neural networks, fuzzy logic and genetic algorithms[Z]. Insurance: Mathematics and Economics 2002, 31: 115~131.

New temperature and humidity fuzzy neural network controller based on improved genetic algorithm

Li Xiumei^{1,2}, Zhao Chunjiang¹, Qiao Xiaojun¹, Liu Huayun²
(1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China; 2. Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The greenhouse is a complex system. There is strong coupling relationship among its environmental factors in side greenhouse. So it's difficult to get satisfying effect by using conventional control methods. Based on the characteristics of the greenhouse, a new fuzzy neural network controller (FNNC) was proposed to create a proper condition for crop growth. The improved genetic algorithm was used to train the architecture of the fuzzy neural network controller, which was adopted in the greenhouse. Numerical experiment results showed that the greenhouse equipped with this fuzzy neural network controller had such features as responding quickly, smooth transition and programming simply.

Key words: fuzzy neural network controller; improved genetic algorithm; Greenhouse