

# 一种粒子群模糊 PID 控制算法在温室中的应用

周艳平, 庄岩

(青岛科技大学 信息科学技术学院, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 为了提高温室监测的控制水平, 针对于温室环境具有多变量、大惯性、强耦合的特点, 提出一种基于粒子群优化的模糊 PID 控制算法; 根据对温室监测系统常用控制方法的研究结果, 该算法在模糊 PID 控制的基础上, 采用改进的粒子群算法对模糊控制参数进行优化, 有效解决了模糊 PID 控制过度依赖专家经验、缺少动态性能的缺点; 通过温室监测中环境温度的仿真对比实验, 验证了所提出的粒子群优化模糊 PID 算法的有效性; 在实验中, 对比监测过程中常用的控制方法可以发现, 该方法具有更快的响应速度, 并且在效果上明显地降低了最大偏差量, 在温室监测控制中取得了良好的效果。

**关键词:** 温室监测; 温度控制; 粒子群算法; 模糊 PID 控制算法

## A Fuzzy-PID Control Algorithm with Particle Swarm Optimization and Its Application in Greenhouse

Zhou Yanping, Zhuang Yan

(School of Computer Science, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** In order to improve the control level of greenhouse monitoring, a fuzzy PID control algorithm based on particle swarm optimization is proposed in view of the characteristics of greenhouse environment with multi variables, large inertia and strong coupling. According to the research results of the common control methods of the greenhouse monitoring system, based on the fuzzy PID control, the improved particle swarm optimization algorithm is used to optimize the fuzzy control parameters, which effectively solves the shortcomings of the fuzzy PID control over dependence on expert experience and lack of dynamic performance. The effectiveness of the proposed algorithm is verified by the simulation experiment of the environmental temperature in the greenhouse monitoring. In the experiment, compared with the common control methods in the monitoring process, it can be found that this method has faster response speed and significantly reduces the maximum deviation in the effect, and has achieved good results in the greenhouse monitoring and control.

**Keywords:** greenhouse monitoring; temperature control; particle swarm optimization; fuzzy PID control algorithm

## 0 引言

温室监控系统的应用能提高农作物产量, 减少劳动成本, 为我国社会的发展带来经济、社会、生态等方面的利润和效益<sup>[1]</sup>。相对于西方发达国家, 我国的温室监控技术的研究和应用还不够先进。近年来, 伴随着对温室监控方面的研究和应用的不断深入, 我国温室监控领域的技术水平得到了很大的提升<sup>[2]</sup>, 但还存在待提高的空间。

我国温室大棚监控设备在发展中主要存在以下问题: 1) 管理方式固定化, 过度依赖以往经验进行管理, 农业生产过程不够智能; 2) 控制因素局限化, 温室环境控制的研究多只考虑个别环境因素, 未考虑温室多种变量优化控制问题<sup>[3]</sup>; 3) 控制方式较单一, 目前监控设备普遍使用传统 PID 控制算法和模糊 PID 控制算法对室内参数进行调控<sup>[4]</sup>。然而单纯 PID 控制不能适应环境的动态变化, 模糊 PID 又过度依赖专家经验。针对于以上问题, 本文提出在模糊 PID

控制的过程中运用粒子群算法动态优化, 实现模糊 PID 的自适应控制过程, 使控制器具有优越的动态响应, 提高设备的整体运行性能。

## 1 粒子群模糊 PID 控制算法

### 1.1 模糊 PID 控制

模糊 PID 控制算法原理为: 通过实际生活经验, 总结出输入量与 PID 控制的 3 个参数的规律, 按照模糊规则方式写入控制器的规则库。在 PID 算法对环境控制过程中, 首先将误差值经量化因子计算, 得到误差值的一个模糊量; 再将其与规则库中的模糊规则匹配进行推理计算并且将计算结果经过比例因子  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  计算后传递给 PID 控制器<sup>[5]</sup>。根据输入量的变化改变控制参数, 以满足 PID 控制的动态性<sup>[6]</sup>。

### 1.2 模糊控制算法的优化

模糊控制的设定过程存在过于依赖专家经验的问题, 其中的参数值设定完成后, 无法随着输入误差的变化而动态改变。然而在温室多变量、大惯性、强耦合的环境特点下, 固定的参数变量会影响控制器的控制效果。

模糊控制器的待优化点主要为模糊化、反模糊化过程

收稿日期: 2020-01-13; 修回日期: 2020-02-19。

作者简介: 周艳平(1976-), 男, 山东临沂人, 工学博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事智能优化算法和科研管理方向的研究。

的优化和模糊规则的优化, 而影响模糊化、反模糊化的主要因素为量化比例因子。输入值经过量化因子计算后传递给模糊控制器, 输出值经过比例因子计算后传递给 PID 控制器<sup>[7]</sup>。量化、比例因子值的设定可以改变控制器的输出特性, 针对于不同误差值, 对量化、比例因子进行动态改变才能提高控制准确度。

### 1.3 粒子群优化模糊 PID 算法设计思想

本文采用粒子群算法对控制参数进行寻优, 根据温室控制特点, 优化控制过程中的模糊化、反模糊化过程。算法设计思想为: 在输入量的模糊化和输出量的反模糊化的过程中, 采用粒子群算法, 通过在设定的搜寻范围内搜寻量化因子和比例因子的最佳适应值, 解决设定参数过度依赖经验规律的问题。其结构如图 1 所示。

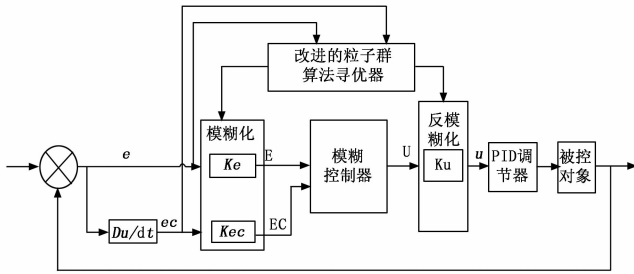


图 1 模糊 PID 控制优化结构图

### 1.4 算法设计

#### 1.4.1 标准粒子群算法

粒子群优化算法是 Kennedy 和 Eberhart 在 1995 年提出, 由鸟类的捕食行为带来启发所提出的智能优化算法<sup>[8]</sup>。算法主要思想为每个粒子相当于一只鸟, 在  $d$  维空间中搜寻最优解, 粒子飞行过程即为该个体搜索过程。粒子具有两个属性: 速度和位置。速度代表了粒子在  $d$  维空间中向最优解移动的速度快慢, 位置代表了粒子在寻优过程中向什么方向移动。每个粒子在搜寻途中遇到的最佳值作为个体最优解, 整体种群对比所有个体最优解, 选取最佳值作为群体最优解<sup>[9]</sup>。在  $d$  维空间中, 第  $i$  个粒子的属性如下:

速度  $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, \dots, v_{id})$

位置  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{id})$

粒子的最优解

$p_{best_i} = (p_{best_{i1}}, p_{best_{i2}}, \dots, p_{best_{id}})$  整个种群的全局最优值

$g_{best} = (g_{best_1}, g_{best_2}, \dots, g_{best_d})$

第  $i$  个粒子在  $t$  时间点的速度和位置属性计算公式为:

$$v_i(t+1) = \omega v_i(t) + c_1(p_{best_i}(t) - x_i(t)) + c_2(g_{best}(t) - x_i(t)) \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (2)$$

式 (1) 由粒子对上一时间点速度值的继承部分, 对自我的认知部分, 对社会的认知部分 3 个部分组成<sup>[10]</sup>。 $\omega$  称为惯性权重, 决定了当前时刻移动的快慢受前一时刻速度值的影响<sup>[11]</sup>。 $c_1$  和  $c_2$  称为学习因子,  $c_1$  值设置较大时, 粒子受个体最优解影响大, 对自身认知强, 但是容易陷入局部最优解;  $c_2$  值设置较大时, 粒子对社会认知强, 会向全局

快速移动, 但是会过早收敛到全局极值, 容易陷入早熟。

#### 1.4.2 惯性权重优化

基本粒子群算法中, 对惯性权重值的大小采用线性递减的策略, 然而在迭代后期, 此策略容易造成粒子在局部区域对最优解的搜索能力减弱。因此, 本文采用了非线性变化的策略, 惯性因子的值为

$$\omega_i = \omega_{start} - (\omega_{start} - \omega_{end}) \sqrt{\frac{i}{i_{max}}} \quad (3)$$

$\omega_i$  为第  $i$  次迭代时的惯性因子值。 $\omega_{start}$  是惯性因子的初始值, 一般设定较大提高初期的全局搜索能力;  $\omega_{end}$  为惯性因子最终值, 一般设定较小保证后期的局部搜索能力。 $i_{max}$  是迭代次数上限。

#### 1.4.3 学习因子优化

学习因子  $c_1$  和  $c_2$  分别代表了粒子对个体自我和整体种群社会的认知情况<sup>[12]</sup>。在整体优化过程初期, 整个种群应该尽可能地在整体搜索空间进行分布, 粒子应散落在整个解空间, 因此在迭代初期更多关注自身的经验的作用; 而在搜索过程的后期, 粒子应该集中在种群中最优的区域进行搜寻活动, 即粒子在后期应以群体的经验为重。根据以上分析, 在迭代初期, 为防止粒子早熟, 过快收敛到全局最优解, 应该提高粒子的自我认知, 设定  $c_1$  的值比较大而  $c_2$  值比较小; 随迭代次数增加, 应该逐渐提高粒子的社会认知并且减小粒子的自我认知, 防止陷入局部最优解, 逐渐减小  $c_1$ , 加大  $c_2$ , 即异步改变  $c_1$  和  $c_2$  的值。本文选择学习因子的优化公式为:

$$c_1 = c_{1max} - (c_{1max} - c_{1min}) \sin\left[\frac{\pi}{2}\left(1 - \frac{i}{i_{max}}\right)\right] \quad (4)$$

$$c_2 = c_{2min} + (c_{2max} - c_{2min}) \sin\left[\frac{\pi}{2}\left(1 - \frac{i}{i_{max}}\right)\right] \quad (5)$$

式中,  $c_{1max}$ ,  $c_{1min}$ ,  $c_{2max}$ ,  $c_{2min}$  分别为学习因子  $c_1$ ,  $c_2$  的上限和下限;  $i$  为当前迭代次数;  $i_{max}$  为迭代次数上限。

#### 1.4.4 具体寻优过程

针对于温室环境控制过程中模糊 PID 控制所存在的弊端, 本文对控制过程中的模糊化、去模糊化进行动态优化, 优化模糊控制的参数主要为  $K_e$ ,  $K_{ce}$ ,  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  这 5 个参数, 具体的寻优过程为:

1) 初始化种群, 设定粒子群参数。首先设定寻优种群的基本参数, 包括迭代次数上限, 搜索种群总数, 因为是 5 个参数, 本文设定搜索维度是 5。依据上文对算法的改进, 设定学习因子的上限和下限, 惯性因子初始值、最终值。在搜索范围内初始化粒子, 设定  $p_{best_i}$  和  $g_{best}$  的最初值。

2) 进行适应度计算。在算法优化过程中采用适应度函数评判粒子在解决目标函数时的优劣性, 其评判规则由目标函数转化而来, 本文的适应度函数的评判标准采用能够综合性评价系统的动、静态性能的 ITAE 积分准则<sup>[13]</sup>。将每个粒子的位置作为模糊 PID 控制器参数, 代入到仿真模型中计算其适应值, 求解每个粒子对于控制系统的 ITAE 积分性能指标<sup>[14]</sup>。对比适应值后更新  $p_{best_i}$  和  $g_{best}$ 。

3) 更新粒子的速度和位置。依据式 (3) 计算粒子的  $\omega$  值; 再根据当前迭代次数和式 (4) 和式 (5), 分别计算粒子的  $c_1$  和  $c_2$  值; 最后将计算得到的惯性权重值、学习因子值, 代入式 (1)、(2) 更新每一个粒子的速度和位置。

4) 判断终止。根据是否满足终止条件 (迭代次数上限和最佳适应值) 来终止程序并且输出最佳值, 如果没有满足终止条件, 则转到步骤 2) 继续进行寻优。

## 2 实验仿真与分析

### 2.1 温室模糊 PID 控制器

针对温室温度进行仿真实验, 将设定最佳室温 and 实际室温的差值  $e$  和此差值的变化率  $ec$  作为输入变量, 将 PID 控制的  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$  作为输出结果变量。输入变量  $e$ 、 $ec$  和输出变量  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$  的基本论域均为为  $\{-3 -2 -1 0 1 2 3\}$ 。同时, 采用七段式模糊语言值, 模糊子集为  $\{NB$  (负大)  $NM$  (负中)  $NS$  (负小)  $ZO$  (零)  $PS$  (正小)  $PM$  (正中)  $PB$  (正大) $\}$ , 在隶属度函数的选择上, 选取了对称三角形隶属度函数<sup>[15]</sup>。根据温室温度环境, 模糊控制规则制定如下:

1) 当输入偏差较大时, 不仅需要系统快速响应, 还需要调控设备防止超调, 同时避免出现饱和现象导致控制结果超出限定范围的情况发生, 应该设定  $k_p$  取值比较大,  $k_i$  取值为零,  $k_d$  取值较小。

2) 当输入偏差在模糊论域的负中范围内时, 控制器控制量较小, 应避免系统出现超调或超调量过大的现象, 同时防止系统的响应速度较低,  $k_p$ 、 $k_i$  取较小值,  $k_d$  取适中值。

3) 当输入偏差较小或者趋近于 0 时, 控制器控制量很小, 因此应重点关注系统的稳态性能和抗干扰能力,  $k_p$ 、 $k_i$  应取值较大, 同时为防止控制结果震荡,  $k_d$  应取值适中。

根据以上规律, 模糊控制规则如表 1、2、3 所示。

表 1  $k_p$  控制规则表

$e$	$ec$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表 2  $k_i$  控制规则表

$e$	$ec$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 3  $k_d$  控制规则表

$e$	$ec$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

### 2.2 温室温度仿真模型

仿真由基于温室温度数学传递函数所建立的 Simulink 模型、改进粒子群程序以及对于两者的连接程序三部分组成。粒子群优化程序传递粒子给仿真模型, 通过仿真模型计算出粒子的适应值再回传到优化程序中, 从而寻找量化比例因子的最优解。

#### 2.2.1 模型的建立

根据参考文献 [16], 我们得知大棚环境是非线性的大滞后复杂控制对象。其温度环境可以近似为有扰动情况下的一阶惯性系统滞后环节<sup>[16]</sup>, 其传递函数为:

$$G(s) = \frac{1}{15.8s + 0.062} \exp(-118s) \quad (6)$$

因此, 根据温度传递函数建立的粒子群算法优化模糊 PID 控制的 Simulink 仿真图如图 2 所示。

在图 2 中, 分为 3 个部分: 1) Out1 中的输出为根据 ITAE 积分准则计算的目标温度传递函数; 2) Fuzzy Logic 模块为的模糊控制部分, 其中包含了根据温室特点设计的模糊规则; 3) 通过模糊控制器得出的结果解模糊后用来对 PID 控制部分进行修正, 修正后的 PID 控制器对目标函数进行控制操作。

#### 2.2.2 传递函数

在整体的仿真过程中, 传递函数被改进的粒子群算法主程序调用, 从而控制整体模型的运作, 同时作为桥梁来传递数值。具体的作用是通过控制温室仿真模型的运作, 同时将运行过程中经 ITAE 积分准则评价的目标函数值传递给主程序。

#### 2.2.3 主程序设计

改进粒子群主程序的设计依照粒子群优化过程进行编写, 具体分为 4 个部分: 1) 为数据的初始化。初始化种群, 即对优化过程所需要的参数进行设定, 包括种群数、迭代次数上限、学习因子的上下限、惯性因子的初始最终值; 2) 计算适应值。将每一个粒子通过传递函数代入到仿真图中的  $e$ 、 $ec$ 、 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$  中, 通过仿真得到每一个粒子的适应值, 并根据适应值更新  $p_{best}$  和  $g_{best}$ ; 3) 更新参数。通过公式更新粒子的惯性因子和学习因子, 并且将其和最优极值代入到公式计算更新粒子的速度和位置; 4) 循环判断。判断是否达到最终停止条件, 来对结果进行输出或者继续进行优化迭代操作。

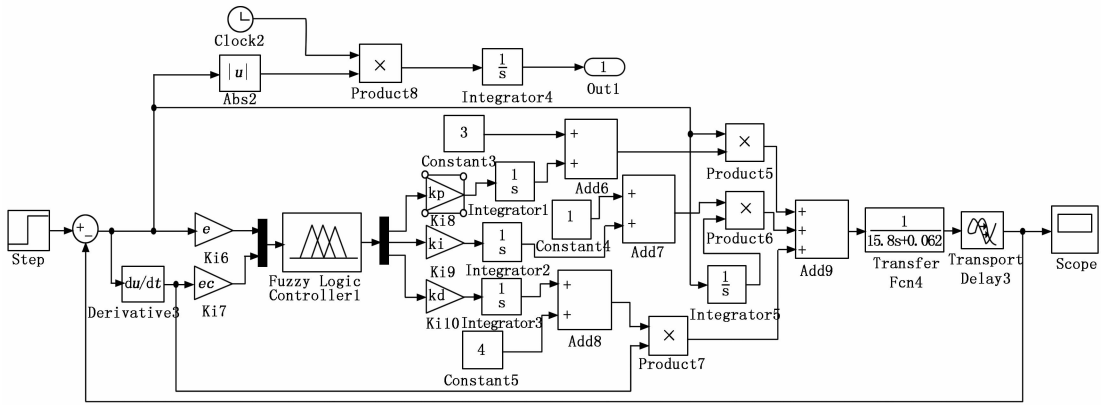


图 2 粒子群优化模糊 PID Simulink 模型图

### 2.3 仿真结果与比较

在 Matlab 中对经典 PID、模糊 PID 和粒子群优化模糊 PID 控制算法依据温室室温进行控制实验<sup>[17]</sup>, 设置植物最佳生长室温为 30 °C, 初始室温为 0 °C, 结果曲线如图 3 所示。图 3 对比结果表明, 传统的 PID 进行温室控制, 存在最大偏差现象明显, 最大偏差量超过 10%; 模糊 PID 优化了控制效果, 但依然存在最大偏差; 采用粒子群算法优化后, 基本消除控制过程中存在的最大偏差量的现象, 综合对比其他两种方法, 具有最佳控制效果。

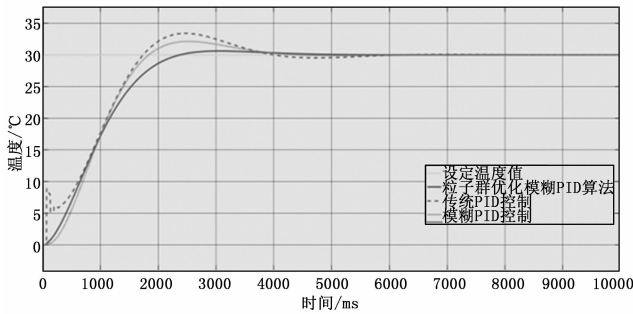


图 3 PID 算法、模糊 PID 算法、粒子群优化模糊 PID 算法仿真对比图

### 3 结束语

本文对国内温室监控系统的发展进行了研究, 针对目前存在的问题和不足, 提出了基于粒子群优化的模糊 PID 控制算法对大棚环境进行控制。通过仿真实验对比, 基于粒子群优化的模糊 PID 控制算法在温度环境的控制方面取得了良好的效果, 该方法可以在相关领域推广应用。

#### 参考文献:

[1] 王丽平, 张维轩, 王叶融, 等. 数字化温室大棚环境参数信息采集控制方法研究 [J]. 电脑知识与技术, 2017, 13 (7): 213-214.  
 [2] 史志明, 孙 聪, 曹 亮, 等. 智能温室环境控制的研究概况 [J]. 现代农业研究, 2018 (12): 37-38.

[3] 王 君. 基于模糊控制策略的温室远程智能控制系统的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2015.  
 [4] 刘亚伟. 基于物联网技术的智能温室大棚控制系统研究 [D]. 长春: 长春工业大学, 2018.  
 [5] 胡晓进, 李江涛, 郭显显. 基于物联网的温室环境监控系统设计 [J]. 电脑迷, 2018 (1): 75, 77.  
 [6] 战 美, 刘春红, 位耀光, 等. 基于模糊控制的温室温湿度无线智能监控系统 [J]. 农业工程, 2013, 3 (3): 47-50.  
 [7] 刘亚伟, 薛 鹏. 基于模糊自适应 PID 控制的温室大棚控制策略研究 [J]. 科技与创新, 2018 (4): 41-43.  
 [8] 杨 洋, 张秋菊. 粒子群算法自寻优模糊 PID 控制器设计 [J]. 机械制造与自动化, 2018, 47 (3): 201-204.  
 [9] 赵乃刚, 邓景顺. 粒子群优化算法综述 [J]. 科技创新导报, 2015, 12 (26): 216-217.  
 [10] 孟庆宽, 仇瑞承, 张 漫, 等. 基于改进粒子群优化模糊控制的农业车辆导航系统 [J]. 农业机械学报, 2015, 46 (3): 29-36, 58.  
 [11] Berenji H R, Khedkar P S. Using fuzzy logic for performance evaluation in reinforcement learning [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 1998, 18 (1): 131-144.  
 [12] Tan Y, Tan G, Deng S. Hybrid particle swarm optimization with chaotic search for solving integer and mixed integer programming problems [J]. Journal of Central South University, 2014, 21 (7): 2731-2742.  
 [13] 高振海, 吴 涛, 尤 洋. 基于粒子群算法的汽车自适应巡航控制器设计 [J]. 农业机械学报, 2013, 44 (12): 11-16.  
 [14] 程毕芸, 鲁海燕, 徐向平, 等. 求解旅行商问题的改进局部搜索混沌离散粒子群优化算法 [J]. 计算机应用, 2016, 36 (1): 138-142, 149.  
 [15] 宋 伟, 李武君. 模糊 PID 控制系统设计及 Matlab 仿真 [J]. 云南化工, 2019, 46 (9): 156-157.  
 [16] 雷 勇, 李泽滔. 温室温度系统的自适应模糊 PID 控制 [J]. 控制工程, 2014, 21 (s1): 23-27.  
 [17] 殷云华, 陈闽鄂, 郑 宾. 基于 Matlab 的模糊模糊控制器设计及仿真 [J]. 控制工程, 2007, 14 (5): 487-490.