

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.01.029

# 分数阶 PID 控制器在蔬菜大棚 温度控制中的应用研究<sup>①</sup>

秦君琴, 李兴财, 杨有贞

1. 宁夏大学 物理电气信息学院, 银川 750021; 2. 宁夏沙漠信息智能感知重点实验室, 银川 750021

**摘要:** 利用分数阶 PID 控制方法, 通过基本假设进行模型建立, 进行了大棚室内的温度调节的控制研究. 数值仿真方法分析并比较了传统 PID 控制器、模糊 PID 控制器以及分数阶 PID 控制器的控制效果. 研究表明, 分数阶 PID 控制器相对另外两种控制器具有更快的提高控制系统的自适应性和鲁棒性的优点.

**关键词:** 蔬菜大棚; 温度控制; 分数阶 PID 控制

**中图分类号:** TK233.1<sup>+</sup>3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2016)01-0179-04

蔬菜的生长, 尤其反季节蔬菜的生长, 需要特定的、适宜的温度. 当温度条件达不到农作物生长的需求时, 这些植物便生长不良, 影响产量甚至枯萎. 因此, 适时地调节蔬菜大棚的温度, 使农作物的生长始终处于最佳温度环境就显得尤为重要了. 由于温室的温度变化是一个非线性的、滞后的复杂过程, 所以借助智能控制器来实现温室温度的控制显得尤为重要. 近几年, 有学者对此问题进行了研究. 贾芳云等人<sup>[1]</sup>、李珂等人<sup>[2]</sup>均采用了模糊 PID 控制方法, 实现了温度环境的有效控制; 张素等人<sup>[3]</sup>利用基于遗传算法的模糊神经网络控制器来控制温室的温度; 李倩等人<sup>[4]</sup>建立了 BP 神经网络(又称误差反向传播神经网络)预测模型对大棚温度进行控制. 可见, 对于温度环境的控制方面基于模糊 PID 控制以及神经网络的 PID 控制研究较多. 而与传统的模糊 PID 控制方法以及 BP 神经网络预测模型相比, 分数阶 PID 控制器具有更加灵活、更加简单和好的鲁棒性等优点, 因此, 现在越来越多的控制系统使用分数阶 PID 控制器. 于莲芝等人<sup>[5]</sup>将分数阶 PID 控制器应用于励磁控制系统中. 刘顺安等人<sup>[6]</sup>利用分数阶 PID 控制器对配流盘的位置进行了精确控制. 但关于大棚温度的控制研究比较缺乏. 为此, 鉴于分数阶 PID 控制器在复杂系统的精确控制方面的显著优点, 本文探索性地将分数阶 PID 控制器用于对蔬菜大棚的温度进行控制, 并通过计算机仿真技术分析讨论了其有效性.

## 1 基本假设与模型建立

### 1.1 左分数阶积分与左分数阶导数

先给出最常用的与 R-L 分数阶微积分定义相应的左 R-L 分数阶积分与导数的定义<sup>[7]</sup>.

**定义 1**(左 R-L 分数阶积分) 设函数  $f(t)$  定义在开区间  $(c, d)$  上, 次数  $\mu > 0$ , 则  $\mu$  的左 R-L 分数阶积分定义为

① 收稿日期: 2014-10-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(11202112).

作者简介: 秦君琴(1977-), 女, 宁夏中卫人, 副教授, 主要从事复分析及在力学中的应用研究.

$${}_c D_t^{-\nu} f(t) := \frac{1}{\Gamma(\nu)} \int_c^t (t-\xi)^{\nu-1} f(\xi) d\xi \quad (1)$$

其中  $\Gamma(x)$  为伽马函数.

**定义 2**(左 R-L 分数阶导数) 设函数  $f(t)$  定义在开区间  $(c, d)$  上, 次数  $\nu > 0$ ,  $n$  是大于  $\nu$  的最小整数, 且  $\sigma = n - \nu$ , 则  $\nu$  的左 R-L 分数阶导数定义为

$${}_a D_t^{\nu} f(t) := \frac{1}{\Gamma(\sigma)} \frac{d^{\sigma}}{dt^{\sigma}} \int_a^t (t-\xi)^{\sigma-1} f(\xi) d\xi \quad (2)$$

## 1.2 分数阶 PID 控制器

分数阶 PID 控制器的一般形式为  $PI^{\lambda}D^{\mu}$ , 其中, 任意实数  $\lambda$  和  $\mu$  分别是积分阶次与微分阶次. 当  $\lambda = \mu = 1$  就是整数阶 PID 控制器. 当  $\lambda = 0, \mu = 1$  为 PD 控制器,  $\lambda = 1, \mu = 0$  时为 PI 控制器. 显然, 这两种控制器都是分数阶  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  控制器的特殊情况.

分数阶 PID 控制器的传递函数为<sup>[5]</sup>

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s^{\lambda}} + K_D s^{\mu} \quad \lambda, \mu > 0$$

## 1.3 分数阶积分、微分算子的有理函数逼近

1)  $K_I(s) = \frac{l_0}{s^{\lambda}}$  的有理逼近函数<sup>[8]</sup> 为

$$g_{nm}(s) = \frac{l_1}{\omega_1^{\lambda}} \cdot \frac{\left(\frac{s}{a_1} + 1\right) \left(\frac{s}{a_2} + 1\right) \cdots \left(\frac{s}{a_m} + 1\right)}{\left(\frac{s}{\omega_1} + 1\right) \left(\frac{s}{\omega_2} + 1\right) \cdots \left(\frac{s}{\omega_n} + 1\right)} \quad n=1,2,3,\dots, m=1,2,3,\dots \quad (3)$$

其中:  $a_1 = \frac{1}{T}, l_1 = l_0 \times 10^{\frac{\epsilon}{20}}, l_2 = \frac{l_0}{10^{\frac{\epsilon}{20}}}, \omega_i = \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{\frac{1}{\lambda(1-\lambda)}} \omega_{i-1}, a_i = \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{\frac{1}{1-\lambda}} \omega_i, l_0 = \omega_c^{\lambda}, \omega_c$  为  $K_I(s)$  对数幅频特性的穿越频率,  $\epsilon$  为允许的最大误差.

2)  $K_D(s) = b_0 s^{\mu}$  的有理逼近函数<sup>[8]</sup> 为

$$r_{nm}(s) = \frac{\omega_1^{\mu}}{k_1} \cdot \frac{\left(\frac{s}{b_1} + 1\right) \left(\frac{s}{b_2} + 1\right) \cdots \left(\frac{s}{b_m} + 1\right)}{\left(\frac{s}{\omega_1} + 1\right) \left(\frac{s}{\omega_2} + 1\right) \cdots \left(\frac{s}{\omega_n} + 1\right)} \quad n=1,2,3,\dots, m=1,2,3,\dots \quad (4)$$

其中:  $l_1 = \frac{b_0}{10^{\frac{\epsilon}{20}}}, l_2 = b_0 \times 10^{\frac{\epsilon}{20}}, \omega_i = \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{\frac{1}{\mu(1-\mu)}} \omega_{i-1}, b_i = \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{\frac{1}{1-\mu}} \omega_i, b_0 = \omega_c^{\mu}, \omega_c$  为  $K_D(s)$  对数幅频特性的穿越频率.  $\epsilon$  为允许的最大误差.

在实际应用中, 利用 MATLAB 语言进行编程, 通过调节参数  $\lambda, \mu, \epsilon, k_0, d_0, T$ , 可得到最佳的有理函数.

## 1.4 蔬菜大棚温度控制

大棚内种植的蔬菜不同, 对温度的要求也不同. 以种植番茄的大棚为例, 设定大棚温度控制系统的控制温度  $30^{\circ}\text{C}$ , 大棚采用热水管道进行加热, 控制对象为<sup>[2]</sup>

$$G(s) = \frac{e^{-150s}}{10.3s + 0.0263}$$

## 2 MATLAB 仿真与结果分析

经调试程序可知, 积分次幂为 0.64 且微分次幂为 0.75 时, 由方程(3)和(4)得到的有理函数是此温度控制系统的最佳逼近函数.

MATLAB 仿真原理见图 1, 仿真结果见图 2. 从图 2 中可以看出, 温室大棚系统动态性能参数的上升时间、峰值时间、调节时间、超调量, 从小到大的顺序均是: 分数阶 PID, 模糊 PID, 传统 PID; 而稳态性能参数稳态误差, 从小到大的顺序也均是: 分数阶 PID, 模糊 PID, 传统 PID. 由此可知在 PID 控制、模糊 PID 控制和分数阶 PID 控制当中, 不管是动态性能还是稳态性能, 分数阶 PID 控制最优, 模糊 PID 控制次之, PID 控制最弱. 可见, 在温室温度的控制方面, 分数阶 PID 控制方法是可行的.

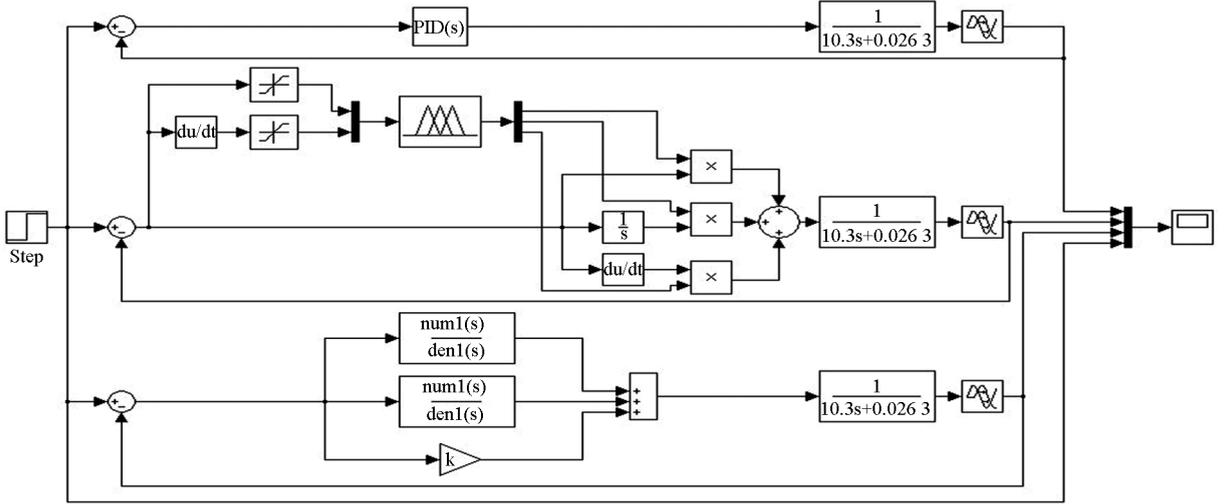


图 1 番茄大棚温度控制系统仿真原理图

### 3 分数阶 PID 在生产应用中的实现

鉴于当前市场并无分数阶 PID 控制器的成型产品, 如若要对分数阶 PID 控制器加以利用可借助计算机控制实现, 基本思路见图 3. 计算机只接收现场温度的数字量值, 设定温度在计算机中给出, 通过分数阶 PID 控制策略算出控制量输出控制阀门开度. 这样的控制系统的可做人机界面, 实现对批量大棚进行智能温度监控管理.

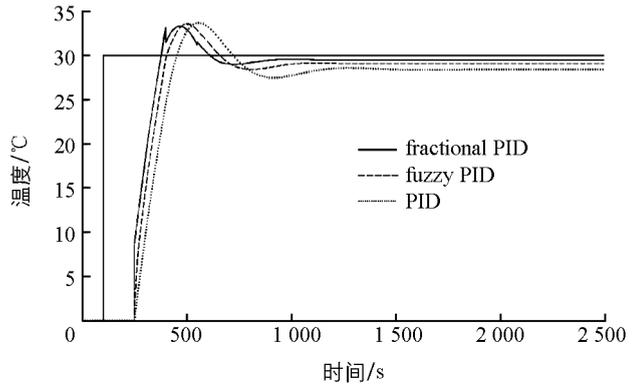


图 2 番茄大棚温度控制系统仿真结果图

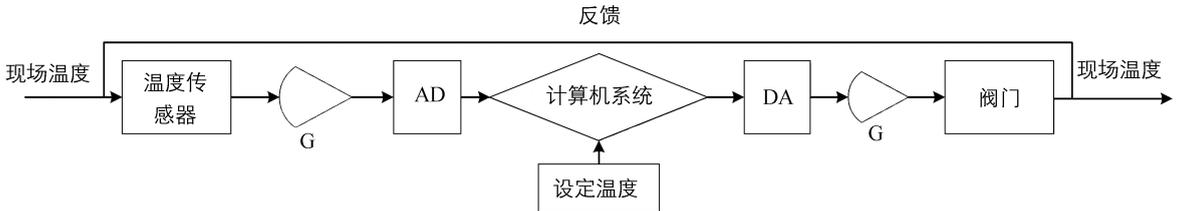


图 3 分数阶 PID 控制的实现

### 4 结 论

基于分数阶微积分理论, 提出用分数阶 PID 控制器控制传递函数的方法, 并将其应用于蔬菜大棚温度的自动控制. 数值仿真结果表明, 该方法可以有效实现对蔬菜大棚温度的控制, 使棚内的温度控制在蔬菜适宜生长的范围之内.

**参考文献:**

- [1] 贾芳云, 王大为, 屈毅. 蔬菜大棚模糊 PID 温度控制系统的设计 [J]. 湖北农业科学, 2011, 50(13): 2746—2749.
- [2] 李珂, 王向东. 温室大棚温度模糊 PID 控制 [J]. 自动化技术与应用, 2013, 32(4): 14—17.
- [3] 张素, 刘宇, 谢云芳. 基于遗传算法的模糊神经网络温室温度控制器 [J]. 农机化研究, 2009, 31(10): 165—168.
- [4] 李倩, 申双和, 曹雯, 等. 南方塑料大棚冬春季温湿度的神经网络模拟 [J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 190—196.
- [5] 于莲芝, 成羚羚. 分数阶 PID 控制运用于励磁控制系统 [J]. 上海理工大学学报, 2013, 35(4): 404—408.
- [6] 刘顺安, 谢丹彤, 尚涛, 等. 基于分数阶 PID 的液压变压器配流盘控制性能 [J]. 北京工业大学学报, 2013, 39(10): 1452—1458.
- [7] 邓伟华. 分数阶微分方程的理论分析与数值计算 [D]. 上海: 上海大学, 2007.
- [8] 李文, 赵慧敏. 一种分数阶微积分算子的有理函数逼近方法 [J]. 自动化学报, 2011, 37(8): 999—1005.

## Application of a Fractional Order PID Controller for Temperature Control in Vegetable Greenhouses

QIN Jun-qin, LI Xing-cai, YANG You-zhen

1. School of Physics and Electrical Information Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Ningxia Key Laboratory of Intelligent Sensing for the Desert Information, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

**Abstract:** A suitable temperature environment is imperative for crop growth in a greenhouse. The temperature controllers used widely at the present time are a rather complicated non-linear system. In a study reported in this paper, the fractional order PID control method was used to construct a model based on basic assumptions and to adjust the temperature in the greenhouse. Numerical simulation was made to compare the results of the traditional PID controller, the fuzzy PID controller and the fractional order PID controller. The results showed that the fractional order PID controller was able to enhance the auto-adaptation and robustness of the control system more rapidly than the other two kinds of PID controller.

**Key words:** vegetable greenhouse; temperature control; fractional order PID controller

责任编辑 潘春燕

