

大型电力系统的高准确度控制模型仿真分析

针对大型电力控制系统的非线性、时变性和规模大的特性，采用传统方法进行控制，控制的准确度与收敛速度较低。提出基于混沌理论和神经网络算法相融合的大型电力系统的高准确度控制方法。依据神经网络算法原理将二次型性能指标引入到加权系数的相关调整，获取输出误差及控制增量加权的约束条件，对神经元输出进行规范化处理，完成大型电力系统PID控制模型的构建。依据混沌优化理论，获得搜索的最优解及最优值，实现对大型电力系统的高准确度控制。实验结果表明，利用改进算法进行大型电力系统的高准确度控制，能够简化控制运算过程，提高控制的准确度，获取高品质的大型电力系统控制效果，满足了实际应用需求。

程海军 鲁宝春 姜丕杰/辽宁工业大学电气工程学院
石庆元/西安建筑科技大学建筑设计研究院重庆分院



程海军/讲师

关键词/Keywords

大型电力系统 ·
高准确度控制 ·
人工鱼群算法 ·
神经网络算法 ·

大型电力系统的有效控制是保证大型设备正常用电的关键因素，一旦大型电力控制系统出现异常，就会造成大面积停电，影响了设备的正常运行，产生重大的经济损失^[1-3]。因此，如何有效地对大型电力系统进行高准确度控制已经成为该领域专家重点研究的课题^[4, 5]。现阶段，主要的大型电力系统的高准确度控制方法包括基于支持向量机算法的电力系统控制方法^[6]、基于遗传算法的电力系统控制方法^[7]和基于粗糙集理论的电力系统控制方法^[8]。其中，最常用的是基于支持向量机算法的大型电力系统的高准确度控制方法。由于大型电力系统的高准确度控制优化方法对保障电力控制的有效性、提高控制的准确度和鲁棒性起着极为重要的作用，因此，具有十分广阔的发展前景^[9, 10]。

针对大型电力系统具有非线性、时变性以及规模大的特性，采用传统的控制算法，具有控制效果差、准确度过低

的缺陷，无法满足实际应用的需求。

为了避免上述方法的缺陷，提出基于混沌理论和神经网络算法相融合的大型电力系统的高准确度控制方法。依据神经网络算法原理将二次型性能指标引入到加权系数的相关调整，获取输出误差及控制增量加权的约束控制，对神经元输出进行规范化处理，完成大型电力系统PID控制模型的构建，依据混沌优化理论，获得搜索的最优解及最优值，实现对大型电力系统的高准确度控制。实验结果表明，利用改进算法进行大型电力系统的高准确度控制，能够简化控制运算过程，提高控制的准确度，获取高品质的大型电力系统控制效果。

大型电力系统控制原理

在大型电力系统控制过程中，控制系统需具有非线性和时变性，满足电力控制系统的实际需求。其具体原理描述如下。

大型电力系统的控制器结构主要由被控对象与模拟控制器组成，结构图如图1所示。

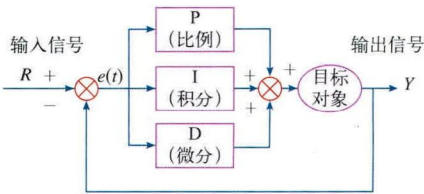


图1 大型电力系统控制器结构图

设定 K_p 表示比例常数， T_i 、 T_d 分别用来表示积分和微分时间常数，则大型电力系统的控制规律能够用式(1)描述

$$u(t) = K_p e(t) + T_i \int_0^1 (t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

依据相关理论对式(1)进行离散化转换,能够获取大型电力系统的数字控制率

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + \\ &K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \\ &= K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_d [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)] \end{aligned} \quad (2)$$

采用输出绝对误差积分理论对大型电力控制系统的性能指标进行评析,即

$$J = \int_0^1 |e(t)| dt \quad (3)$$

在式(3)电力系统控制对象目标函数中引入大型电力系统控制超调量理论,能够有效控制系统对象的超量异常,即为

$$J = \int_0^\infty [\omega_1 |e(t)| + \omega_2 u^2(t) dt + \omega_3 t_u] \quad (4)$$

式中, $e(t)$ 为系统误差; $u(t)$ 为系统控制器输出; t_u 为上升时间, ω_1 、 ω_2 和 ω_3 分别用来表示权值。

由上述可知,在确认参数 K_p 、 K_i 和 K_d 的情况下,采用最近三次测量得到的偏差值即可获取控制作用的输出式,即为

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (5)$$

因此,分别选取参数 K_p 、 K_i 和 K_d 的最优值,即可得到理想的电力系统控制效果。

大型电力系统的高准确度控制模型优化方法原理

针对大型电力控制系统的非线性、时变性和规模大的特性,采用传统的方法进行大型电力系统控制,控制的准确度与收敛速度往往较低。为此,提出基于混沌理论和神经网络算法相融合的大型电力系统的高准确度控制方法。

1. 构建基于神经网络的大型电力系统的PID控制模型

采用神经网络算法构建大型电力系统的PID控制模型,能够迅速适应环境变化,简化算法,具有较强的鲁棒性。其控制器结构图如图2所示。

设置系统输入值为 $r(k)$, 由转换器转换成神经元学习控制所需的输出状态量为 x_1 , x_2 , x_3 , 且

$$\begin{aligned} x_1(k) &= e(k) \\ x_2(k) &= e(k) - e(k-1) \end{aligned} \quad (6)$$

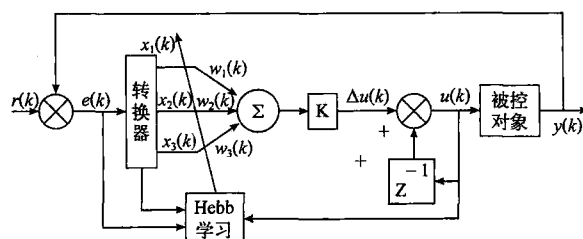


图2 基于神经网络的PID控制结构图

$$x_3(k) = \Delta^2 e(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \quad (7)$$

$z(k) = y_r(k) - y(k) = e(k)$ 用来描述递进信号, $w_i(k)$ 用来描述 $x_i(k)$ 对应的加权系数, k 表示神经元的比例系数, 且满足 $k > 0$ 。由上述可知, 神经元产生的控制信号通过关联搜索即可实现。

由最优控制理论可知, 将二次型性能指标引入加权系数的相关调整中, 通过对加权系数的调整, 间接地实现对输出误差及控制增量加权的约束控制, 实现过程能够用下式描述

$$E(k) = 0.5 \{ P[r(k+d) - y(k+d)]^2 + Q \Delta^2 u(k) \} \quad (8)$$

式中, P 为输出误差; Q 为控制增量的加权系数; $r(k)$ 为 k 时刻的输入; $y(k)$ 为 k 时刻的输出。则被控制对象可以用下述方程表示

$$y(k+d) = - \sum_{i=1}^{n_a} a_i y(k+d-i) + \sum_{i=0}^{n_b} b_i u(k-i) \quad (9)$$

依据神经网络相关理论对神经元的输出规范化处理, 能够得到如下结果

$$u(k) = u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 w'_i(k) x_i(k) \quad (10)$$

$$w'_i(k) = w_i(k) / \sum_{i=1}^3 |w_i(k)| \quad (i=1, 2, 3) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} w_1(k) &= w_1(k-1) + \eta_l K [P b_0 e(k+d)] x_1(k) - \\ &Q K \left[\sum_{i=1}^3 w_i(k) x_i(k) \right] x_1(k) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} w_2(k) &= w_2(k-1) + \eta_p K [P b_0 e(k+d)] x_2(k) - \\ &Q K \left[\sum_{i=1}^3 w_i(k) x_i(k) \right] x_2(k) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} w_3(k) &= w_3(k-1) + \eta_d K [P b_0 e(k+d)] x_3(k) - \\ &Q K \left[\sum_{i=1}^3 w_i(k) x_i(k) \right] x_3(k) \end{aligned} \quad (14)$$

根据上面阐述的方法可以有效构建大型电力系统的高准确度控制模型。

2. 引入混沌优化算法

混沌随机优化算法采用两类混沌映射、三步混沌搜索与随机变量搜索相结合的方法,增强了算法的便利性,提高了算法的收敛速度。具体步骤如下所述。

(1) 选取初值

给定多轨迹混沌变量的初值 x_i 范围为区间 $(0, 0.5)$ 的随机数,使 $i=1, 2, L, n$ 。对参数进行初始化设置,使 $k=0, j=0, x_i^k=x_i, x_i^*=x_i$,设定迭代标志用 k 表示,细搜索标志用 j 表示, x_i^k 则用来描述当前获取的最优混沌变量值。

(2) 一次搜索

映射混沌变量到设计变量取值范围 $[a_i, b_i]$,即

$$p_i = a_i + (b_i - a_i)x_i^k \quad (15)$$

执行第一次搜索,当 $f(p_i) < f^*$,则 $x_i^k = x_i^*, p_i^* = p_i, f^* = f(p_i)$;相反,当 $f(p_i) \geq f^*$,则需要继续进行迭代搜索,且令 $k=k+1, x_i^k = 4x_i^{k-1}(1-x_i^{k-1})$ 。

当迭代搜索次数达到 N_1 时,对当前的最优解 p_i^* 及搜索最优值 f^* 进行保存,并进入二次搜索过程。

(3) 二次搜索

将上述混沌变量取值范围转换为区间 $[-1, 1]$,即

$$y_i^k = -1 + 2x_i^k \quad (16)$$

依据上述方法进行二次映射得到

$$p_i = p_i^* + \theta_i^* y_i^k \text{ random} \quad (17)$$

式中, θ_i 为调节常系数,取值一般为设计变量区间上下限0.1%~1%。

更新变量 p_i 并进行搜索优化,当 $f(p_i) < f^*$,则 $x_i^k = y_i^k, p_i^* = p_i, f^* = f(p_i)$;相反,继续迭代搜索过程。

重复搜索次数达到 M_1 后,对当前最优值 f^* 及最优解 p_i^* 进行保存,并进入第三次搜索。

(4) 三次搜索

采用Ulam-von Neumann映射 $y_i^k = 1 - \mu(y_i^k)^2 (\mu=2)$,进行搜索优化,优化变量依据下式获取

$$p_i = p_i^* + \theta_i^* y_i^k \text{ random}^3 \quad (18)$$

式中, random^3 能够缩小搜索范围,提高搜索收敛

速度。

更新变量 mx_i ,进行新一次的搜索优化。当 $f(p_i) < f^*$,则 $x_i^k = y_i^k, p_i^* = p_i, f^* = f(p_i)$;相反,继续迭代 $k=k+1, y_i^k = 1 - \mu(y_i^k)^2$ 。

重复搜索 M_2 次,对当前最优值 f^* 和 p_i^* 进行保存。

(5) 输出结果

不断重复步骤(3)和步骤(4),直至搜索结果满足终止条件,输出最优值 f^* 与最优解 p_i^* ,算法结束。

依据上面阐述的方法,可以获取大型电力系统的高准确度控制模型的最优解,实现对大型电力系统的有效控制。

实验结果及分析

为了验证改进算法的优越性,需要进行一次实验。

在实验过程中分别设置仿真控制参数为 $w_1(0)=0.28, w_2(0)=0.30, w_3(0)=0.35$ 。为方便实验过程中对不同的权系数进行相应调整,分别对P、I、D采用不同的学习速率,即: $\eta_p=116, \eta_i=9, \eta_d=172$ 。当 K 的取值增大,快速性也越好,但当超调量超过一定限度,就会造成控制系统不稳。且 K 在被控对象增大时延时必须减小,才能保证电力控制系统的稳定性。当 K 的取值过小时,则电力控制系统的快速性变差。

在仿真过程中,为了验证改进算法的优越性,分别选择基于粗糙集算法的控制方法、基于遗传算法的控制方法和改进算法作为实验对比模型,在相同的实验环境下进行比较实验。给定 $K=0.03, P=5, Q=2$,则当 $T_a+T_b=7, e_n=0.6, T_w=1, T_y=0.3$ 时,受阶跃输入 x_c 的影响,得到的实验结果如图3~图5所示。

由图3~图5可知,采用传统方法进行大型电力系统的控制,其调节时间较长,且存在振荡,易出现超调现象;采用改进算法,控制稳定、基本无振荡、无超调且相应速度快耗时短,由此可见,采用改进算法进行大型电力系统的高准确度控制效果显著优于传统算法。

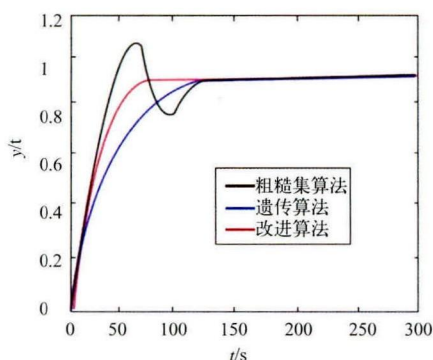


图3 受阶跃输入 x_c 影响的系统对比

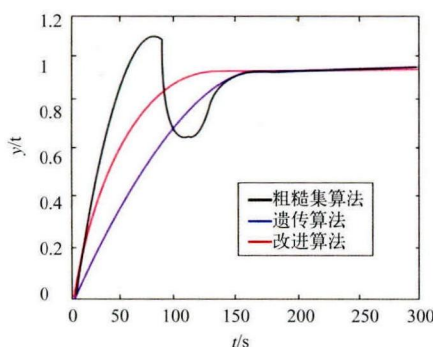


图4 T_w 变化后, 受阶跃输入 x_c 影响的系统对比

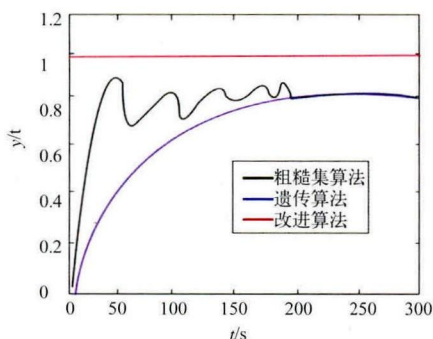


图5 机组特性改变后, 受阶跃输入 x_c 影响的系统对比

结束语

针对大型电力系统非线性、时变性以及规模大的特性, 依据传统的控制算法进行控制, 往往难以保证控制效果, 且易出现控制偏差过大的缺陷, 影响了大型设备的正常用电。为此, 提出基于混沌理论和神经网络算法相融合的大型电力系统的高准确度控制方法。根据神经网络算法理论引入二次型性能指标到加权系数的相关调整中, 输出误差及控制增量加权的约束条件, 并对神经元输出进行规范化处理, 构建大型电力系统PID控制模型, 依据混沌优化理论, 获得搜索的最优

解及最优值, 实现对大型电力系统的高准确度控制。实验结果表明, 利用改进算法进行大型电力系统的高准确度控制, 能够提高电力系统控制的准确度, 满足了实际的应用需求, 具有极大的优越性。

参考文献

- [1] 陈谦, 谷凡超, 金字清, 等. 含大型风电场的电力系统节能发电调度技术[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26 (6) : 14-19.
- [2] 纪乃华, 王颖洁, 姚惠萍. 高准确度传感器信息采集中的误差消除算法仿真[J]. 计算机仿真, 2013, 30 (4) : 291-294.
- [3] 郭丽. 面向PID电力系统信息安全自动控制研究[J]. 科技通报, 2013 (29) : 39-41.
- [4] 齐志华. 基于AFSA-SVM算法的电力系统控制方法研究[J]. 科学技术与工程, 2014 (14) : 235-238.
- [5] 贺庆, 郭剑波. 基于直流潮流模型的电力系统控制规则[J]. 电力系统自动化, 2010 (23) : 11-15.
- [6] 孙红梅. 浅析现代控制技术在电力系统控制中的应用[J]. 数字技术与应用, 2012 (11) : 34-34.
- [7] 陈霖, 李亚政, 田磊. 美国舰船综合电力系统控制要求的对比分析[J]. 船舶标准化工程师, 2012, 45 (6) : 26-29.
- [8] Zakaryukin, Vasilii, Panteleymonovich, et al. Electro energetic technological control in eastern Siberia railway [J]. Ournal of Enerhy and Power Engineering, 2012, 6 (2) : 293-298.
- [9] 张聪, 刘刚, 李光军. 基于单神经元PID算法的微小飞轮高准确度控制[J]. 宇航学报, 2013, 34 (1) : 54-60.
- [10] LINJiKeng, YANYiPeng, PUTianJiao, et al. A new method of frequency-dependent network equivalence for power system [J]. Science China Technological Sciences, 2012, 55 (7) : 1894-1907.

(收稿日期: 2014-01-25) EA