

# 竞争算法在 PID 整定中的应用<sup>①</sup>

单亚锋, 唐毅, 荆晓亮

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 葫芦岛 125105)

**摘要:** 针对传统 PID 的整定存在的不足, 引入 CCA(Colonial Competitive Algorithm), 该算法是一种属于社会启发的算法, 以被控对象的二次型性能指标优劣作为 PID 整定的衡量标准, 提出了一种新的 PID 整定方法, 该算法可以在搜索空间里迅速收敛到最优解。由仿真结果说明, 该整定算法节省内存, 寻优时间短且不需要设置初始的 PID 参数, 具有比采用遗传算法等优化算法整定的效果好等优点。

**关键词:** 优化算法; CCA 算法; PID 整定; 二次型性能指标; 电液比例阀控缸控制

## Colonial Competitive Algorithm in PID Tuning

SHAN Ya-Feng, TANG Yi, JING Xiao-Liang

(Faculty of Electrical and Engineering Control, Liaoning Technical University, Fuxin 125105, China)

**Abstract:** Contrary to the shortcomings of conventional PID tuning method, Colonial Competitive algorithm was introduced, which belongs to Community-inspired algorithms, quadratic performance index of controlled object is introduced as a criteria of performance of tuned PID controller, a new PID tuning method was proposed. This method can quality converge to the optimal solution in the search space. Simulation results showed that this method could save computer memory, less time consuming and PID initial parameters did not need to set, the optimal solution obtained by CCA was better than other optimal algorithms such as genetic algorithm.

**Key words:** optimal algorithm; CCA algorithm; PID tuning; quadratic performance index; electro-hydraulic proportional valve cylinder control

PID 控制由于算法简单、鲁棒性好及可靠性高, 被广泛用于过程控制和运动控制中, 但是在实际生产现场中, 由于受到参数整定繁杂的困扰, 常规 PID 控制参数往往参数整定不良, 性能欠佳, 对工况的适应性很差。计算机技术和智能控制理论的发展为此提供了新途径。采用智能控制技术, 可设计智能 PID 和进行 PID 的智能整定<sup>[1]</sup>。目前, 有专家 PID 控制和模糊 PID 控制、神经网络 PID 控制<sup>[2]</sup>, 这些控制方法需要对控制过程的规律进行全面的了解, 还有遗传算法、粒子群算法<sup>[3]</sup>、蚁群算法等优化算法整定 PID, 这些算法需要较多的进化代数, 且 PID 参数寻优的精度不是很高。帝国竞争算法, 又称为殖民地竞争算法(CCA), 是基于帝国主义殖民竞争机制的新优化算法<sup>[4]</sup>, 由

Esmaci 受帝国主义殖民竞争历史现实的启发而提出了一种新的优化算法, 属于社会启发的智能计算方法, 国外有人把本算法应用到模糊控制器优化上<sup>[5]</sup>, 利用本算法进行图像处理<sup>[6]</sup>, 均得到很好的效果。本文以二次型性能指标最优为衡量标准, 利用 CCA 算法整定 PID 参数。仿真结果显示, 该方法收敛所需代数少, 参数寻优结果好。最后利用本方法对电液比例阀控缸控制系统进行 PID 整定, 效果良好, 具有实用价值。

## 1 帝国竞争算法概述

目前为止, 优化算法已经提出了多种, 例如, Holland 教授提出的模拟自然界遗传机制和生物进化论而形成的一种并行随机搜索最优化方法, 即遗传算

① 收稿时间:2011-04-11;收到修改稿时间:2011-05-06

法, 由 Eberhart 和 Kennedy 博士源于对鸟群捕食的行为研究而提出的粒子群优化算法等, 其都属于自然启发的计算的一个分支, 即生物启发的计算, 而帝国主义竞争优化算法(CCA)是属于自然启发计算的另一分支, 即社会启发的计算<sup>[7]</sup>, 基于帝国主义殖民竞争的机制的新优化算法。它主要分为以下几个部分:

### 1.1 初始化帝国

在搜索空间内随机生成一些向量, 这些向量称为国家, 这些国家随机的分布在要搜索的空间里, 这些国家势力的大小通过一个代价函数来衡量, 与代价函数值成反比, 即代价函数值越小, 国家势力越大。一定数量的势力中较大的国家被选作帝国主义国家, 剩下的国家作为殖民地国家。根据帝国主义国家势力的大小, 把殖民地国家分配给帝国主义国家。一个帝国主义国家及其分到的殖民地国家组成一个帝国。

### 1.2 同化政策

在现实世界里, 帝国主义国家为了更好地控制其殖民地国家, 把自己的文化及规则推广到殖民地国家, 这个过程称为同化。在 CCA 算法中, 即殖民地国家代表的搜索空间中的位置向帝国主义国家所代表的位置靠近, 随机移动一定的距离, 沿两个位置连线所在的直线, 指向帝国主义国家所在的空间位置。殖民地国家所在空间位置移动后, 可能是一个更好的位置, 因此有可能取代它所属的帝国主义国家。

### 1.3 帝国主义国家间的竞争

正如社会历史事实, 帝国主义国家通过占有别的帝国主义国家所属的殖民地国家来增加自己的势力。在 CCA 算法中这样描述: 先计算每个帝国的总势力, 即帝国主义国家的势力加上其所有殖民地国家势力的平均值的一部分。竞争的结果是把总势力最弱的帝国中最弱的殖民地国家给最有可能占有它的帝国。

### 1.4 最弱的帝国灭亡

当一个帝国主义国家丧失了其所有的殖民地国家时, 其所在的帝国覆灭。经过一定的时间之后, 所有帝国中最强大的帝国保存下来, 而且保存下来的最强大的帝国中只有一个帝国主义国家和殖民地国家, 这个帝国主义国家就代表最优解。

## 2 CCA算法在PID参数整定中的应用

### 2.1 代价函数的确定

在最优控制理论中, 采用二次型性能指标来计算

控制率可以得到期望的优化效果。采用误差绝对值时间积分性能指标作为参数选择的最小目标函数, 可以获得满意的过渡过程动态特性。在目标函数里加入控制输入的平方项, 达到使用最小的控制能量得到最优的控制效果的目的。而在目标函数里加入一个惩罚函数, 一旦产生超调, 将超调量作为最有指标中的一项, 这样可以避免超调。因此, 可得到最优指标为:

$$J = \int_0^{\infty} (Q|e(t)| + Ru^2(t))dt + \eta \cdot t_u$$

当产生超调时, 即当  $ye(t) < 0$  时:

$$J = \int_0^{\infty} (Q|e(t)| + Ru^2(t) + U|ye(t)|)dt + \eta \cdot t_u$$

其中 Q 取 1, R 取 0.001, U 取 100,  $\eta$  取 2。e(t) 为系统误差, u(t) 为控制器输出, rin(t) 为系统的输入,  $t_u$  为上升时间。

$$e(t) = y(t) - rin(t)$$

$$ye(t) = y(t) - y(t-1)$$

设被控对象为

$$G(s) = \frac{400}{s^2 + 50s}$$

根据经验, 参数 P 的取值范围为 [0,20], I 的取值范围为 [0,1], D 的取值范围为 [0,1]。

### 2.2 CCA 算法整定 PID 流程

#### 2.2.1 产生初始帝国

##### (1) 初始化国家

PID 参数优化是关于多维函数优化的问题, CCA 算法采用实数编码, 对于 PID 参数寻优算法中国家的编码为 (P,D,I)。若生成 200 个国家, 则编码为一个 200 行 3 列的矩阵, 矩阵的每一行代表一个国家, 每一行的三个数对应 PID 三个参数, 即每一个国家对应一个 PID 参数。

##### (2) 挑选帝国主义国家

设挑选 8 个帝国主义国家。首先对每一个国家计算其对应的 J 值, 然后挑选 J 值最小的 8 个国家, 即这些国家的势力相对较大, 把他们作为帝国主义国家, 剩下的 192 个国家作为殖民地国家, 他们将按一定的规则分配给 8 个帝国主义国家。

##### (3) 分配殖民地国家给各帝国主义国家

第 n 个帝国主义国家的势力大小有下式表示:

$$P_n = \left| \frac{C_n}{\sum_{i=1}^8 C_i} \right|$$

其中

$$C_n = J_n - \max_i \{J_n\}$$

其中  $J_n$  为第  $n$  个帝国主义国家的代价函数值,  $i=1\sim 8$ 。

则可得到分配算式为:

$$N.C.n = \text{round}\{P_n \cdot 192\}$$

其中  $N.C.n$  为第  $n$  个帝国主义国家占有的殖民地国家数目。第  $n$  个帝国主义国家从 192 个殖民地国家中随机地选取  $N.C.n$  个国家一起组成一个帝国。

### 2.2.2 执行同化政策

殖民地国家向其所属的帝国主义国家靠近, 如图 1 所示

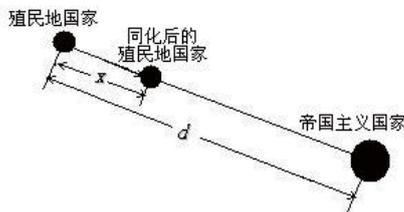


图 1 殖民地国家向所属帝国主义国家靠近

其中,  $x \in U(0, \beta \times d)$ , 取  $\beta=2$ ,  $d$  为殖民地国家与帝国主义国家之间的距离。执行同化政策之后, 若某一殖民地国家对应的代价函数值  $J$  比其所属的帝国主义国家的小, 则互换二者位置, 即这一殖民地国家作为新的帝国主义国家。

### 2.2.3 帝国主义竞争

定义整个帝国的代价函数:

$$T.C.n = J_n + \xi \text{mean}(J_m)$$

其中,  $T.C.n$  为第  $n$  个帝国的代价函数值,  $\xi=0.1$ ,  $J_m$  为第  $n$  个帝国中的第  $m$  个殖民地国家的代价函数值,  $m=1\sim N.C.n$ 。

竞争的结果是把总势力的最弱帝国中的最弱一个殖民地国家给最有可能占有它的帝国。因此, 定义可能占有的概率为  $PP$ 。

$$PP_n = \frac{N.T.C.n}{\sum_i N.T.C.i}$$

其中

$$N.T.C.n = T.C.n - \max_i \{T.C.i\}$$

其中  $i=1\sim NI$ 。NI 为帝国主义国家的总数量。

定义  $P = [PP_1, PP_2, \dots, PP_{NI}]$ ,  $R = [r_1, r_2, \dots, r_{NI}]$ ,  $r_i \in U(0, 1)$ ,  $D = P \cdot R$ ,  $D$  中值最小的元素对应的帝国将占有总势力最弱的帝国中最弱的一个殖民地国家。

### 2.3 仿真分析<sup>[8]</sup>

选择被控对象为

$$G(s) = \frac{400}{s^2 + 50s}$$

系统输入为单位阶跃响应。

利用 MATLAB2009a 仿真, 初始国家总数为 200, 初始帝国主义国家总数为 8,  $\xi=0.1$ ,  $\beta=2$ 。图 2 为初始化时帝国分布,  $\star$  为帝国主义国家,  $\star$  越大说明其代表的帝国主义国家势力越大。和  $\star$  颜色相同的  $\circ$  为帝国主义国家占有的殖民地国家, 从图 2 可以看出, 8 个帝国的所有国家随机地分布在搜索空间里, 几乎覆盖了整个搜索空间。

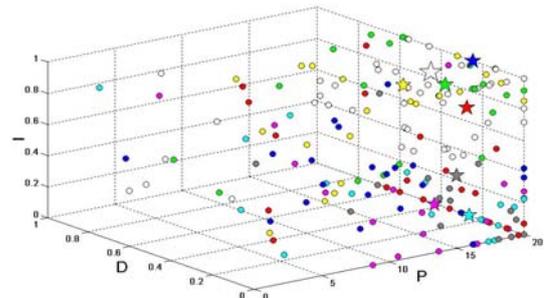


图 2 初始帝国在搜索空间中的分布图

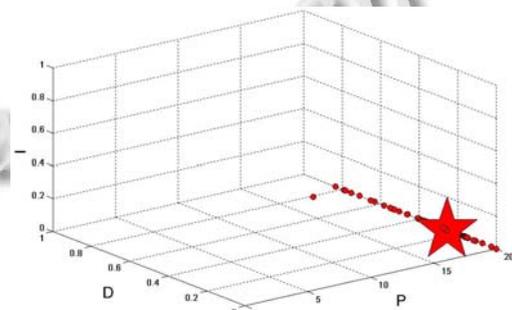


图 3 算法结束时的帝国分布

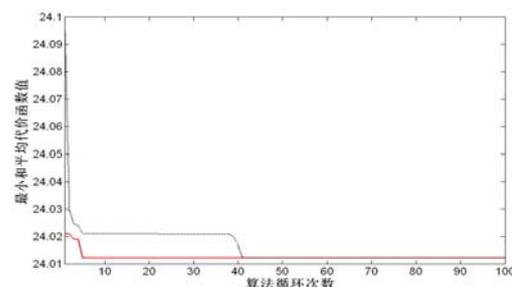


图 4 最小和平均代价函数值

随着算法的一次次运行，殖民地国家(图中的○)向其所属的帝国主义国家(图中的★)靠近或取代它，通过帝国间的竞争，较弱的帝国一个接一个覆灭，最后收敛到唯一帝国，此帝国中的唯一帝国主义国家即为最优解。如图 3 所示，很明显大部分的○与★在相同的位置(个别在不同位置，这是因为最后一次算法循环时执行同化政策的随机性所致)。

由图 4 可以看出(其中虚线为平均代价值曲线，实线为最小代价值曲线)，代价函数值，即二次型性能指标  $J=24.0122$ ，与文献[7]采用遗传算法得到的结果  $Best J=24.8259$  对比，其效果更好，并且耗费时间少。从图 5 可以看出，延迟时间  $t_d$  为  $0.02s$ ，上升时间  $t_r$  为  $0.025s$ ，调节时间  $t_s=0.05s$ ，与文献[7]单位阶跃响应速度更快，更平稳。

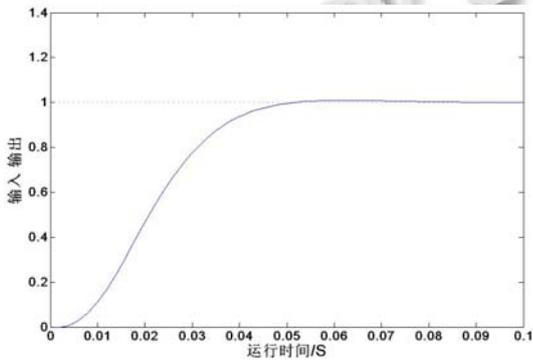


图 5 PID 参数寻优后的阶跃响应

### 3 CCA整定PID在电液阀控系统中的应用

电液阀控系统在建筑机械等行业应用很广，大多采用 PID 控制方式。图 6 为实际应用时电液比例阀控缸系统框图。

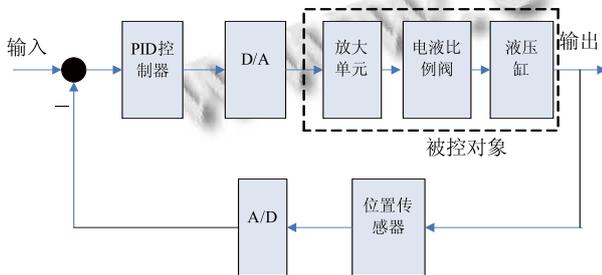


图 6 电液位置比例阀控缸系统框图

以某一电液比例阀控缸系统为例<sup>[9]</sup>，推导出被控对象的传递函数为：

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.678}{0.0008s^3 + 0.0063s^2 + s}$$

设系统的技术指标要求为：单位阶跃输入稳态误差  $ess=0.1$ ，超调量为 10%，过渡时间 2s。

采用 CCA 算法，设总国家数为 200，帝国数为 8，进行 PID 参数寻优后，得到  $P=6.6461$ ， $D=0.0517$ ， $I=0.0073$ ，单位阶跃响应如 7 所示。

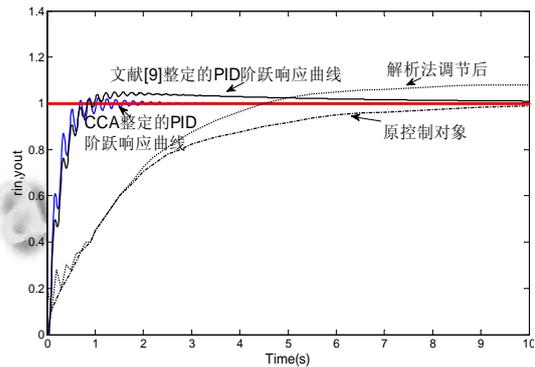


图 7 多种优化算法所得的阶跃响应曲线

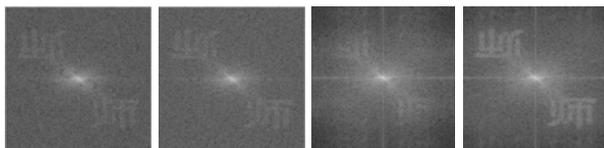
从图 7 中不难看出，采用优化算法的阶跃响应曲线都比原控制对象的收敛速度快，调节时间短，但是采用 CCA 整定方法的调节时间约为 1.1s，而文献[9]中的调节时间约为 7.2s，采用 CCA 整定的 PID 阶跃响应都比文献[9]PID 参数寻优法和解析法调节的阶跃响应收敛速度快，超调量小，调节时间短。采用 CCA 整定 PID 具有控制结果更好，系统响应速度更快、系统更稳定的优点，完全满足系统性能要求。

### 4 总结与展望

PID 参数整定是控制系统设计的核心内容，根据被控对象的特性来确定 PID 控制器的比例系数、积分时间、微分时间的大小，PID 参数的整定主要有两大类。一个是理论计算整定法，依据被控对象数学模型，通过理论计算得到 PID 控制器参数。一般在工程实际中还需要调整。另一个是工程整定方法，依赖工程经验，在控制系统中反复试验。基于帝国主义竞争算法整定 PID 参数时，利用一定的工程经验，给出参数的可能范围即可，然后通过算法循环得到最优解。仿真结果说明其有效性，且需要很少的算法循环次数。但是，对于帝国主义竞争算法本身，还需要从理论上进一步深入研究，从理论上严格证明其收敛性等。

(下转第 188 页)

过的视频中重构水印图像。通过实验发现,在对视频序列添加 5%的高斯噪声时,其水印仍可分辨。帧交换是将视频的一些帧相互交换,MPEG 压缩是对视频序列的最基本的攻击方式在 MPEG-1 的压缩处理过程中,对视频的压缩率均为 200kb/s。然后,对进行攻击后的测试视频序列选取关键帧;若对 YUV 视频进行 avi 转换,然后再转换重构 YUV 分量,仍然可以很好地提取水印信息。



(a)5%高斯噪声 (b)帧交换 (c)MPEG 压缩 (d)格式转换

图5 鲁棒性实验

## 5 结论

本文通过全息图的形成与再现数学模型,建立了一个有效的视频水印设计框架,在基于光流法的关键帧提取基础上,把水印的全息图嵌入到关键帧的离散余弦变换的中低频系数中,并充分利用边信息作密钥,使得提取时无须原始视频的参与,理论分析和实验结果表明,该方案对帧裁剪有很强的鲁棒性,即使在每帧剪切掉 87.5%的情况下仍能很好辨别水印,还对抵制添加噪声、帧交换,MPEG 压缩

和格式转换等攻击。

## 参考文献

- 1 吴建华,王铮.基于数字全息和块能量分析的水印算法.计算机工程与应用,2010,46(7):118-120.
- 2 杨涛,徐建锋,杨国光,白剑.基于数字全息和离散余弦变换的数字水印技术.光电工程,2009,12(36):91-96.
- 3 Takai N, Mifune Y. Digital watermarking by a holographic technique. Appl Opt, 2002,41(5):865-873.
- 4 李智,陈孝威.基于熵模型的高透明性自适应视频水印算法.软件学报,2010,21(7):1692-1703.
- 5 侯发忠,邹北骥,等.基于光流场的鲁棒性视频水印算法.计算机工程,2010,(17):234-236.
- 6 Wolf W. Key Frame Selection by Motion Analysis. Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. 1996. 1228-1231.
- 7 Horn BKP, Schunck BG. Determining optical flow. Artificial Intelligence,1981,17:185-203
- 8 吕丽,杨树堂,陆橙年,李建华.基于光流法的不良视频检测算法.计算机工程,2007,(12):220-221.
- 9 李超,熊璋.基于帧间差的区域光流分析及其应用.计算机工程与应用,2005,(31):195-197.
- 10 杨涛.数字全息再现像质量及应用的研究.杭州:浙江大学,2010.

(上接第 196 页)

## 参考文献

- 1 刘金焜.先进 PID 控制 MATLAB 仿真.第 2 版.北京:电子工业出版社.2005.
- 2 岳连德.基于神经网络控制的新型智能恒压供水系统.计算机系统应用,2006,15(6):61-63.
- 3 张家骏.基于粒子群算法的 PID 控制器参数优化研究.计算机仿真,2010,27(10):191-193
- 4 Gargari EA, Lucas C. Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. Proc. of the 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation. 4661-4667.
- 5 Jasour AM, Gargari EA, Lucas C. Vehicle Fuzzy Controller Design Using Imperialist Competitive Algorithm. Second First Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, Tehran, Iran, 2008.
- 6 Dun HB, Xu CF, Liu SQ, Shao S. Template matching using chaotic imperialist competitive algorithm. Pattern Recognition Letters, 2009,(6).
- 7 莫宏伟,左兴权.人工免疫系统.北京:科学出版社,2009.
- 8 Wilson HB. Advanced mathematics and mechanics applications using MatLab. CHAPMAN & HALL CRC. 2003.
- 9 陈伦军,罗艳蕾.一种优化 PID 整定方法在电液阀控系统中的应用.中国工程机械学报,2005,(10).