

一种新型参数非线性模糊PID控制方法

魏 华, 李 群, 陈得宝

(淮北煤炭师范学院 物理系, 安徽 淮北 235000)

摘 要:针对无先验知识的情况下, PID控制器结构和参数难以优化问题, 巧妙地将进化规划与PID控制方法相结合, 设计了一种直接优化模糊控制器结构和参数的方法。为使待优化的控制器参数较少, 以减小计算复杂度, 对传统的PID控制器的结构进行了修改, 且在控制中不使用量化因子。利用进化规划方法对控制器的结构和参数同时优化, 既克服了传统PID参数整定方法依赖于模型和易于陷入局部极小的缺点, 又避开传统GA方法中不同结构规划基的交叉难实现。实际控制中利用优化后的控制器对系统进行实时控制, 算法的运算时间仅为一组规则基的前向计算时间, 大大改善了系统的动静态性能, 仿真实验证明了文中方法的优点。

关键词: PID控制; 进化规划; 实时控制

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)02-0237-03

A New Designing Method of PID Control with Nonlinear Fuzzy Parameter

WEI Hua, LI Qun, CHEN De-bao

(Physical Department of Huaibei Coal Industry Teachers College, Huaibei 235000, China)

Abstract: A new method based on evolutionary programming is designed to optimize the structure and parameters of fuzzy PID controller without prior knowledge directly in the paper. In order to make the number of parameters of controller small, the structure of conventional PID controller is modified, and the quantitative factors in conventional is deserted, so computation cost of the method is smaller than conventional method. The difficulties of optimizing parameter and structure of fuzzy control without prior experience is avoided, and difficulty of crossover operator for different structure in genetic algorithm is also avoided. In real time control, only the optional fuzzy bases is used to control system, the calculation time is only equal to calculate a group rule bases. The effectiveness of the method is proved by simulation experiment.

Key words: PID control; evolutionary programming; real-time control

0 引言

PID控制器以其结构简单, 易于实现, 而被广泛应用于工业生产, 但就其三大参数(比例、积分、微分)的整定方法而言要么依赖于对象模型, 要么易于陷入局部极小, 因此, 对被控对象精确数学模型难以建立或不能建立的系统, 传统的PID控制方法应用受到一定限制。随着智能控制理论的发展, 模糊控制在解决无精确数学模型的控制中发挥了重要的作用, 其控制效果的好坏直接取决于控制器规则基选取的优劣及量化因子是否合适。传统的模糊控制都以专家经验知识作为获取控制器规则基的唯一手段, 量化因子的选取均以

试凑法或经验知识调整。近些年来, 模拟生物进化过程, GA在已知规则基结构的前提下优化规则基参数中发挥了重要的作用, 但对规则基结构未知的情况下, 不同规则基的交叉不可行, 这大大限制了GA在这方面的应用。文献[1]中利用模糊辨识方法建立系统的模糊规则基, 即分别对规则基的前件参数和后件参数分开来辨识, 算法复杂、收敛速度较慢。文献[2]采用聚类法, 即对某一给定的控制对象假设出一组与输入/输出数据成指数变化的规则基, 大大加大了计算量, 影响了算法的收敛速度, 在量化因子的选择中, 文献[3]利用试凑对量化因子进行调整, 这种试凑法在无先验知识的前提下变得十分艰难。

文中将进化规划与PID控制相结合, 对传统控制器的结构进行变换, 使得待优化的参数较少, 节省进化规划算法运算的时间, 除此之外, 在此控制器中, 去掉了量化因子, 使算法更进一步简化, 利用进化规划算法

收稿日期: 2007-05-09

基金项目: 安徽省自然科学基金资助项目(2006KJ090B)

作者简介: 魏 华(1974-), 女, 安徽淮北人, 助教, 研究方向为人工智能、计算机应用等。

直接对控制器的结构和参数同时优化,利用优化后的规则基对系统进行实时控制,仿真实验验证了文中方法优于传统 PID 方法。

1 结构修改的 PID 控制器工作原理

通常 PID 参数自调整控制以误差和误差的变化作为控制器的输入,且误差和误差的变化都必须经过量化。通常有三个输入变量,即 $e, \Delta e, \sum e$ 。假设将每个输入模糊空间划分为 10 个区间,可能的规则数为 1000 条,如果是两个输入,则可能的规则为 100 条,因此,较少的输入数量将大大减少计算的复杂度,考虑这一点,利用文献[4,5]中的改进 PID 控制器,彻底甩掉量化因子^[6],系统结构如图 1 所示。

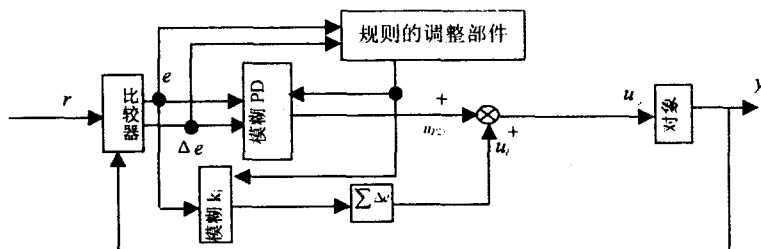


图 1 修改后的 PID 结构图

图中, r, y, e 分别为系统的输入、输出、误差及误差变化。

普通增量式 PID 形式如下:

$$\Delta u(k) = K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_d [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)] \quad (1)$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (2)$$

式(1)、(2)中 K_p, K_i, K_d 分别为比例、积分、微分系数, $u(k), u(k-1), \Delta u(k)$ 分别为 k 时刻和 $k-1$ 时刻的控制量。修改后,很容易得出控制量的计算方程为:

$$u = u_{PD} + k_I \sum e \quad (3)$$

$$u_{PD} = k_P e(k) + k_d \Delta e(k) \quad (4)$$

式(3)中, $\sum e$ 是 t 时刻之前系统的误差和, k_I, k_P, k_d 分别为积分因子、比例因子和微分因子,采用这种方式,规则的数量会减少很多。图 1 中规则的调整部件采用进化规划模糊参数进行优化。

2 模糊推理

文中将 PID 的三大参数做成模糊形式,对图 1 所示的结构,考虑如下规则:

R_i : If e is A_1^i and Δe is A_2^i then u_{PD} is O_i . and k_I is O_{ki}

O 采用模糊单点输出, A_i^j 为隶属度函数,其意义见式(5),采用非规则三角形形式,与实际语言更接近。

其中 u_j 在文中表示 $e(k)$ 和 $\Delta e(k)$, L_{ij}, C_{ij}, R_{ij} 分别为不规则三角形三个顶点的坐标,如图 2 所示。

$$A_i^j = \begin{cases} (u_j - L_{ij}) / (C_{ij} - L_{ij}), & \text{if } L_{ij} \leq u_j < C_{ij} \\ (-u_j + R_{ij}) / (R_{ij} - C_{ij}), & \text{if } C_{ij} \leq u_j < R_{ij} \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (5)$$

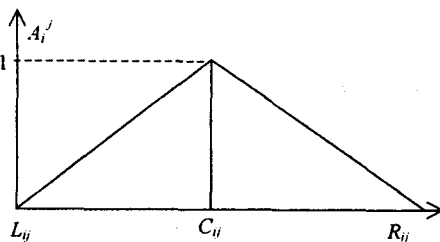


图 2 求隶属度函数

模糊推理分为两步:

① 计算各条规则的满意度 $w_i =$

$$A_1^i * A_2^i$$

② 采用加权平均法清晰化得 $O =$

$$\sum_{j=1}^R w_i * o_i^j, R \text{ 为本代个体的规则数。}$$

3 进化规划算法步骤

1) 群体规模选择。

群体规模采用经验选择法,同时兼顾收敛速度和算法的运行速度,通常选择群体规模为 50~100。

2) 群体初始化。

为避免计算过程中的译码运算,采用十进制编码随机初始化一组行数等规则数,列数等于 $(3 \times \text{输入个数} + \text{输出个数})$ 的二维数组作为染色体的基因,对文中问题即初始化行数等于初始规则数,列数等于 8 的数组。

3) 适应度函数的选择。

对系统进行控制的目的是要求系统在一定的时间内以一定的精确度运动到希望特性,文中即使系统在一定控制量作用下跟踪输入,因此定义误差函数为:

$$E = \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2 \quad (6)$$

其中 n 为周期数, y_i, y 分别为希望输出和模糊规则基控制下系统的输出,文中为防止出现 $L_{ij} > C_{ij}$ 或 $C_{ij} > R_{ij}$ 或 $L_{ij} > R_{ij}$ 的基因出现,造成算法的误收敛,采用惩罚函数 P 来限制此现象(P 为较大的整数),若出现上列现象,在误差函数上叠加一个较大的数,使适应度变得更小,在选择过程中自然淘汰,否则 $P = 0$,于是可选择适应库函数为:

$$F = \frac{1.0}{(E + P)} \quad (7)$$

4) 选择。

文中利用 q 竞争原理,首先计算每个个体适应度,再随机选择 q 个个体与已知个体比较,计算出每个个体的得分,经由高分到低得分排序后,选择得分高的 50% 个个体毫无保留遗传到下一代作为下一代的前一半个体,后一半个体则由前 50% 个个体按变异率进行复制和变异得到。

5) 变异。

① 结构的变异。

采用误差大的个体,结构变异较大,误差小的个体,结构变异较小的原则,形成如下的结构变异方案:

$$r_{k+1} = r_k + \text{int}(\exp(1 - \frac{f_k}{f_{\max}})) \quad (8)$$

r_k 、 r_{k+1} 分别为第 k 和第 $k+1$ 代的结构规则数, f_{\max} 、 f_k 分别为当代个体的最大适应度和第 k 个个体的适应度,当 f_k 较大时,式(6)中第二项变化较小,反之,则变化大。

② 参数的变异。

为增大基因包含信息,文中采用高斯变异:即在选择基因上附加高斯变异部分,对适应度大的个体施加较小的变异,有利于优良个体的保存,对适应度小的个体施加相应大的变异,让其两极分化,若适应度变得更好则保留,否则在选择中将其淘汰,具体形式为:

$$\text{gen}(k+1) = \text{gen}(k) + \Delta\text{gen}(k+1) \quad (9)$$

$$\Delta\text{gen}(k+1) = \text{alph} * \exp[(f_{\max} - f_i)/f_{\max}] * \gamma \quad (10)$$

其中 $\text{gen}(k)$ 、 $\text{gen}(k+1)$ 分别为第 k 代和第 $k+1$ 代个体的基因, $\Delta\text{gen}(k+1)$ 为高斯变异量, f_{\max} 、 f_k 分别为 k 代中群体的最大适应度和第 i 个个体适应度, alph 为进化参数,通常取为 0.01 ~ 0.1 之间, γ 为均值为零、方差为 1 的高斯随机数。

6) 算法的停止条件。

在规定的进化代数 n 的条件下,计算次数达到最大进化代数则结束计算,否则返回 3)。

4 仿真实验

已知非线性系统离散化方程为:

$$y(t) = \frac{y(t-1)e^{-y(t-1)} + u(t-1)}{1 + u(t-1)e^{-y(t-1)}}$$

已知群体大小为 100, $\text{alph} = 0.1$, 变异率为 0.15, 进化代数为 700, 所得规则基见表 1, 系统的阶跃响应如图 3 所示, 图中同时给出参考文献[4]所给的固定 PID 参数的响应曲线, 其 $k_p = 0.44$, $k_i = 0.314$, $k_d = 0.18$, 由图可知, 文中所述的方法明显优于传统的 PID 控制。当系统的输入端存在白噪声干扰时, FPID 的响应曲线如图 4 所示, 传统 PID 的响应曲线如图 5 所示,

其中白噪声方差为 0.0144。由图 4 和 5 可知文中方法的抗干扰性明显优于传统 PID 控制。

表 1 优化后的控制器参数

L_e	C_e	R_e	$L_{\Delta e}$	$C_{\Delta e}$	$R_{\Delta e}$	k_p	k_d	k_i
-23.85	-4.47	11.68	0.93	2.28	22.24	17.27	2.68	19.36
-3.41	3.29	21.21	-14.03	1.16	9.98	4.69	1.54	13.20
9.87	10.00	16.68	13.75	17.51	30.42	15.32	12.24	7.91
0.00	2.90	3.87	-1.26	7.90	27.37	1.78	3.03	18.25
3.09	16.35	33.25	-7.53	0.59	16.41	4.69	4.46	13.90

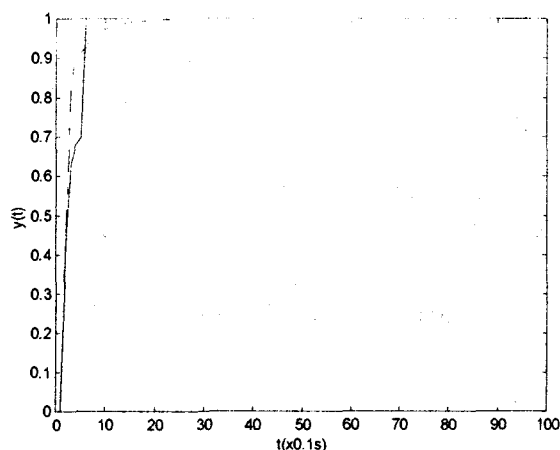


图 3 系统的响应曲线(实线:FPID,虚线:ID)

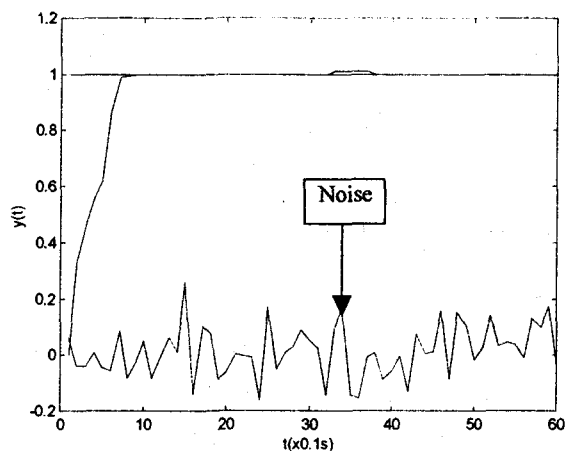


图 4 有干扰时 FPID 非线性系统的响应曲线

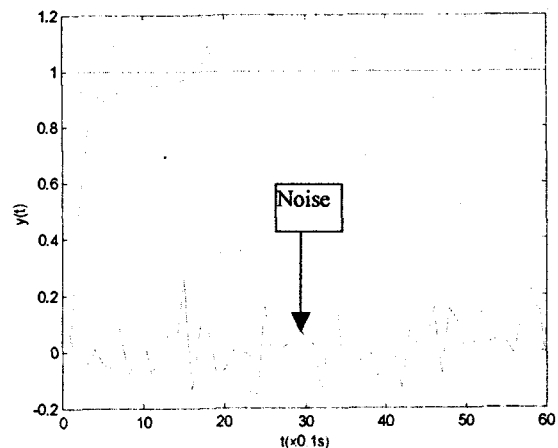


图 5 有干扰时固定参数 PID 非线性系统的响应曲线

(下转第 243 页)

可用于信息管理和工程规划与设计等实践应用之中,有助于进一步探索和研究航道水下地形的演变规律^[8]。

系统的功能模块如图4所示。

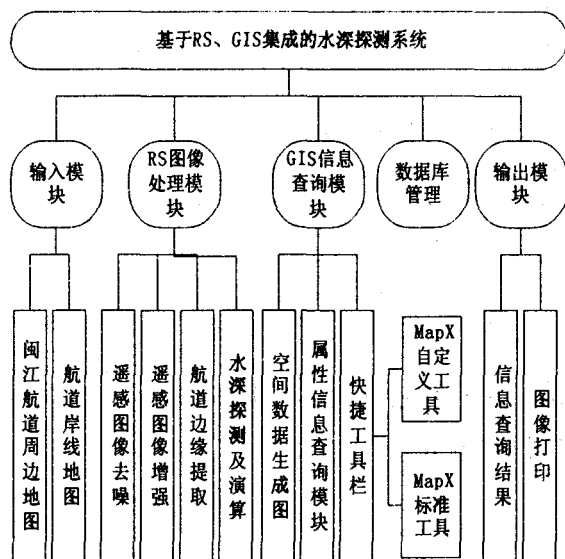


图4 系统总体框架图

4 结论

在研究了水深反演模型的基础上,提出了统计相

(上接第236页)

够提高工作效率,并提供了一个友好、高速和稳定的考试训练平台,是一种值得推广的新一代军队网上训练与考评系统。

参考文献:

- [1] Hollis B. 回到使用智能客户端的将来[DB/OL]. 2004. <http://www.microsoft.com/china/MSDN/library/enterprise-development/softwaredev/realworld03232004.mspx>.

(上接第239页)

5 结论

利用进化规划对模糊规则基在无先验知识的条件下的结构和参数同时优化,简化了计算。实际控制利用离线寻找的规则基实现直接逆控制,整个过程的控制时间仅为一组前向规则基的运算时间,大大加快了系统的响应速度,仿真结果表明文中方法在提高系统、动静态性能方面有良好的特性。

参考文献:

- [1] Takagi T. Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its

关模型的改进算法,平均相对误差和剩余标准差都有明显的下降,能够满足水深探测可视化应用的需求。文中给出了遥感图像处理的小波去噪方法。最后基于RS与GIS集成技术实现了水深探测系统,该系统提高了水深探测的精度,直观性强、更新速度快,而且成本低;具有实用价值,值得推广。

参考文献:

- [1] 陈一梅,张冬生,罗健. 内河水深遥感的应用[J]. 河海大学学报,2003,31(2):119-122.
- [2] Donoho D L. De-noising by soft-thresholding[J]. IEEE Trans IT, 1995,41(3):613-627.
- [3] 赵继印,郝志成,李建坡. 小波自适应比例改进算法在图像去噪的应用[J]. 光电工程,2006,33(1):81-84.
- [4] 李郁,同敬文. 一种基于小波分析的SAR图像去噪方法[J]. 计算机工程与设计,2004,25(2):309-310.
- [5] 柳薇,马争鸣. 基于边缘检测的图像小波阈值去噪方法[J]. 中国图像图形学报,2002,7(8):788-793.
- [6] 习景. 遥感图像边缘检测及其在航道GIS中的应用研究[D]. 南京:东南大学,2006.
- [7] 张鹰,张东. 水深遥感研究[J]. 河海大学学报,1998,26(6):68-72.
- [8] 习景,徐造林. 基于GIS的航道信息管理系统设计和实现[J]. 计算机技术与发展,2006,16(1):173-175.

- [2] 邹建峰,周山峰. C#企业级开发案例精解[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
- [3] 彭玉卓,杨开英,马俊. SmartClient 技术实现 MIS 系统中的离线应用[J]. 计算机技术与发展,2007,17(3):200-204.
- [4] 贾斌. 网络编程技巧与实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2001.
- [5] 柴晓路,梁宇奇. Web Services 技术、架构和应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.

applications to modeling and control[J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1985,15(2):116-132.

- [2] Hwang H S. Linguistic fuzzy model identification[J]. IEEE Pro-Control Theory APPL,1995,142(6):537-543.
- [3] Wang Li-Xing. Generating Fuzzy Rules by learning from Examples[J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1992,22(6):1414-1427.
- [4] 陈得宝,赵春霞. 复数自适应进化规划及模糊规则基的自动提取[J]. 电子学报,2007,35(2):341-344.
- [5] 王耀南. 智能控制系统[M]. 长沙:湖南大学出版社,1996.
- [6] 陈得宝,赵春霞. 一种改进的自适应免疫进化规划方法及其应用[J]. 系统仿真学报,2006,18(5):1146-1150.