

自适应 IIR滤波器的遗传算法

周上玖，罗胜钦
(同济大学 上海 200092)

摘 要: 基于梯度信息的计算来调节自适应 IIR滤波器的系数,需要进行复杂的矩阵运算,计算量大,容易陷入局部收敛。本文构造了稳定性检测十分方便的二阶自适应 IIR滤波器的并联结构,并将遗传算法应用到滤波器的系数寻优,可以快速地收敛到全局最优解。

关键词: 自适应 IIR滤波器; 二阶并联; 遗传算法; 收敛

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004- 373X (2004) 16- 003- 02

Genetic Algorithm of Adaptive IIR Filter

ZHO U Shangjiu, LUO Shengqin
(Tongji University, Shanghai, 200092, China)

Abstract Calculation based on grads communication to adjust coefficient of adaptive IIR filter is not only difficult to be detected stability but also easy to run into part convergence. The parallel connection of the two rank adaptive IIR filters is stability, with the help of genetic algorithm, it can search globally and find the optimization.

Keywords adaptive IIR filter; parallel connection; genetic algorithm; convergence

1 引 言

自适应 IIR滤波器由于输出反馈的存在,使有限数量的系数产生了无限冲击相应,因而能够更有效地逼近期望的响应信号。与 FIR滤波器相比,要达到相同的性能,IIR滤波器所需的系数个数一般要少得多,计算量有明显的优势。自适应 IIR滤波器通常由两部分组成,其一是滤波子系统,根据他所要处理的功能往往有不同的结构;另一是自适应算法部分,用来调整滤波子系统结构的滤波系数。直接形式实现的自适应 IIR滤波器精度有限、稳定性检测复杂。同时,自适应 IIR滤波器参数优化中常用的递归梯度下降法是在梯度矢量方向接地点校正滤波系数,容易收敛到局部最小点,且系数的屡次迭代中均要涉及到复杂的矩阵运算,又影响到收敛的速度。

遗传算法是一类近现代优化理论,主要特点是群体搜索策略和群体中个体之间进行信息交换,不依赖于梯度信息,使用简单,鲁棒性强,适用于解决传统优化方法难以解决的优化问题。在自适应控制、组合优化、模式识别、机器学习等领域已得到广泛应用。

本文用稳定性检测十分方便的二阶自适应 IIR滤波器构造了并联的结构,在稳定值区域内利用遗传算法进行滤波系数寻优,提高了收敛速度,避免了局部收敛的产生。

2 二阶 IIR滤波器的并联结构

二阶自适应 IIR滤波器的 z 域传递函数为:

$$H(z,\theta) = \frac{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}}{1 - b_1z^{-1} - b_2z^{-2}} \tag{1}$$

状态变量 $\theta = (a_0, a_1, a_2, b_1, b_2)$ 二阶自适应 IIR滤波器稳定的充要条件为:

$$\left. \begin{aligned} b_1 - b_2 &\geq -1 + X \\ b_1 + b_2 &\leq 1 + X \\ b_2 &\geq -1 + X \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

显然,式(2)所表示的是一个包括边界在内的闭域,如图1所示。

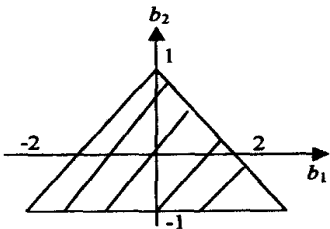


图 1 二阶 IIR滤波器的稳定区域

二阶自适应 IIR滤波器并联可以实现稳定的结构,如图2所示。

其中每一个二阶节均满足式(2)给出的稳定条件。该结构滤波器的传输函数为:

$$H(z) = \sum_{l=1}^{N/2} \frac{a_{l,0} + a_{l,1}z^{-1} + a_{l,2}z^{-2}}{1 - b_{l,1}z^{-1} - b_{l,2}z^{-2}} \tag{3}$$

收稿日期: 2004- 03- 21

其中: N 表示滤波器的阶数。系数计算的任务是调整状态变量 $\theta = (a_{10}, a_{11}, a_{12}, \dots, a_{L0}, a_{L1}, a_{L2}, \dots, b_{11}, b_{12}, \dots, b_{L1}, b_{L2})$, 使输出 $Y(k)$ 和期望输出 $Y_d(k)$ 之间的差值达到最小, 最终使得 $H(z) \triangleq H_d(z)$

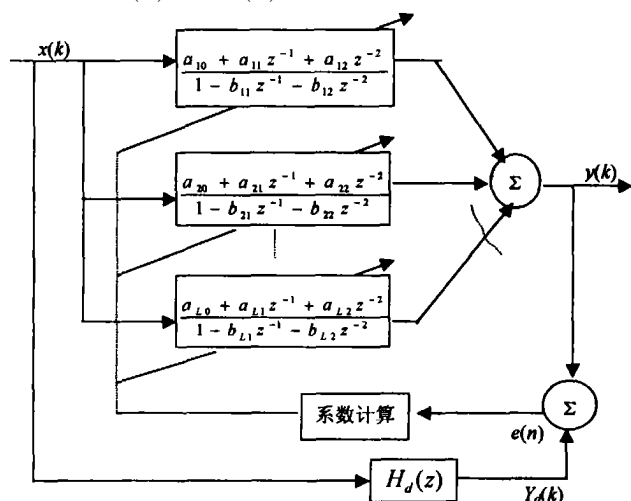


图 2 二阶并联 IIR滤波器结构

3 遗传算法简介

遗传算法是一类借鉴生物界生物进化机制的随机化搜索算法, 由美国 J. Holland 教授提出。其主要特点是群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换。他实际上是模拟由个体组成的群体的整体学习过程, 其中每个个体表示给定问题搜索空间中的一个解。遗传算法从任一初始化的群体出发, 通过随机选择 (使群体中优秀的个体有更多的机会传给下一代)、交叉 (体现了自然界中群体内个体之间的信息交换) 和变异 (在群体中引入新的变种确保群体中信息的多样性) 等遗传操作, 使群体一代代地进化到搜索空间中越来越好的区域, 直至抵达最优解。典型的遗传算法的核心过程, 可做如下描述:

```

{
    随机初始化种群  $P(0) = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $t = 0$ ; 计算种群  $P(0)$  中各个体的适应度, 对个体按适应度排序;
    While(不满足终止条件) do
    {
        根据个体的适应度及选择策略, 计算种群内个体的选择概率  $P_i$ ; 根据  $P_i$  从中选择  $N_1 (\leq N)$  个个体进行遗传操作 (复制、杂交及变异等), 用操作后的  $N_1$  个后代替换掉  $P(t)$  中  $N_1$  个较差的个体, 生成新的种群  $P(t+1)$ , 计算  $P(t+1)$  中各个体的适应度, 对个体按适应度排序,  $t = t + 1$ ;
    }
}
    
```

4 遗传算法的实现

在运用遗传算法解决实际问题的过程中, 首先需要完成的是对解的编码。由于文中的问题是一个非线性函数的优化问题, 故对参数在定义域上采用实数 (浮点) 编码技

术。图 2 中各状态参数的范围为: $-2 < b_{L1} < 2$, $-1 < b_{L2} < 1$, $0 < a_{L0} < 1$, $0 < a_{L1} < 1$, $0 < a_{L2} < 1$; 将各分量的定义域均映射到 $[0, 1]$ 上。方法如下:

假设 $[l_k, u_k]$ 是变量 x_k 的定义域, 则 $t_k = \frac{x_k - l_k}{u_k - l_k}$, t_k 即为各分量在 $[0, 1]$ 上的边界。

下面介绍遗传算子的选择。在实际操作中, 选择策略采用轮盘赌的方式, 按个体适应度函数占个体适应度函数总和的比例决定参与繁殖的几率, 然后均匀随机地对这些父体进行重组直至后代个数满足要求的规模; 杂交策略采用整体杂交, 即设 $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ 和 $y = (y_1, y_2, \dots, y_k)$ 为父体向量, 则后代 $z = (z_1, z_2, \dots, z_k)$ 由下式确定:

$$z_i = ax_i + (1 - a)y_i$$

其中: a 为 $[0, 1]$ 上的随机数; 变异策略采用均匀变异, 设对 x 进行变异操作, 则其后代为 $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_i, \dots, x'_k)$, 其中 x'_i 以等概率取 $(1 - r)x_i$ 或 $x_i + (1 - x_i)r$, r 为 $[0, 1]$ 上的随机数; 原始种群经过若干代的进化之后既可以得到所需要精度的解。

5 实例验证

自适应 IIR 滤波器转移函数 $H(z)$ 为:

$$H_d(z) = \frac{0.12z^4 + 0.49z^{-1} + 0.73z^{-2} + 0.49z^{-3} + 0.12z^{-4}}{1 - 1.4z^{-1} + 1.55z^{-2} - 0.9z^{-3} + 0.29z^{-4}}$$

这是一个四阶滤波系统, 对并联结构利用遗传算法进行参数寻优, 交叉概率 0.6, 变异概率 0.01, 种群规模为 120, 根据频域均方误差最小准则, 适应度函数选择为均方误差的倒数, 则误差小的函数有较大的适值, 被选中的可能性也更大。得学习曲线如图 3 所示。

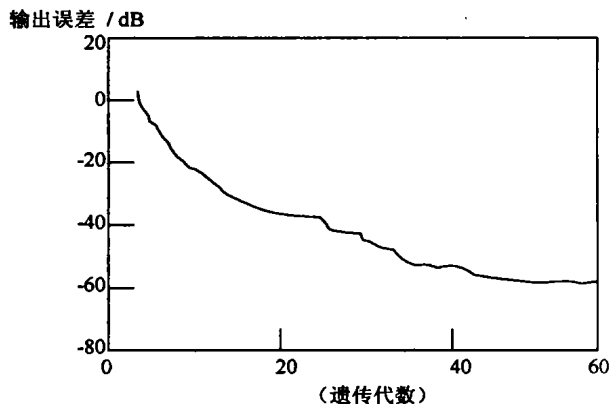


图 3 遗传算法的学习曲线

由图 3 可见, 利用遗传算法实现了全局收敛和快速寻优。

6 结 语

利用遗传算法实现了二阶并联自适应 IIR 滤波器的系数寻优, 保证了系统的稳定性, 达到了全局寻优和快速收敛的目的。计算简便, 易于实现, 不失为一种较好的方法。

(下转第 9 页)

3.4 标准 RS232 接口

利用 MAXIM 公司的芯片 MAX202将 P87LPC764的 RXD, TXD两个 TTL电平转为 RS232电平,构成标准三线的 RS232接口 (RXD, TXD, GND)。MAX202是 MAXIM 公司出品的接口芯片, 可以进行 TTL电平与 RS232电平的转换, 该芯片内带电源提升泵, 工作时只需单 5 V 电源而无需外接 12 V 电源,使用方便而且性能可靠 RS232接口的设置, 使该记录仪具有与 PC机通讯的功能

4 试验结果

影响测量精度的主要有 2个因素 第一个是降压变压器变压比的影响, T_h, T 的测量也会带来测量误差 对于前者, 可通过精密电位器来调整 对于 T_h 的影响, 做如下分析:

$$\Delta U = \frac{-K \times \pi \times (\Delta T_h / T) \times \sin(\pi \times T_h / T)}{\cos^2(\pi \times T_h / T)}$$
$$\Delta U / U = \frac{-\pi \times (\Delta T_h / T) \times \sin(\pi \times T_h / T)}{\cos(\pi \times T_h / T)}$$

作者简介 胥爱军 男, 1967年出生, 河南鄱陵人, 本科, 郑州大学物理工程学院实验师。从事计算机自动化方向研究工作。

(上接第 4页)

参 考 文 献

[1] Goldberg DE. Genetic algorithms in search optimization and machine learning [M]. New York: Addison- Wesley Publishing Company Inc, 1989.

[2] Larimore L G. SHARE An algorithm for adaptive IIR filtering. IEEE Trans, on ASSP, 28(8), 1980.

[3] Ng S C, Leung S H, Chung C Y, *et al.* The genetic search approach: A new learning algorithm for adaptive IIR filtering [J]. IEEE Signal Processing

作者简介 周上玖 同济大学职业技术教育学院, 硕士研究生。
罗胜钦 同济大学电子与信息工程学院, 教授, 博士生导师。

(上接第 6页)

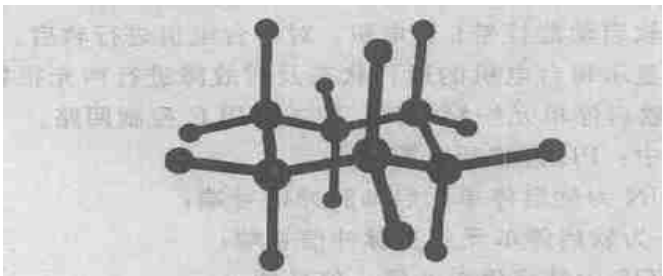


图 7 渲染后的环乙烷

作者简介 吕 晶 女, 1976年出生, 河北农业大学信息科学与技术学院助教。主要研究方向为图形学。
张冬暖 男, 1975年出生, 河北农业大学理学院化学系助教。主要研究方向为有机化学。

选 $K=110\text{ V}$, 测量范围为 110 V 以上在一定的测量范围内对应交流输入 $176\sim 264\text{ V}$ (20% 波动范围), $\cos(\pi \times T_h / T)$ 在 $0.625\sim 0.417$ 之间, $\pi \times \sin(\pi \times T_h / T) / \cos(\pi \times T_h / T)$ 的值小于 8 , 对于工频, $T=20\text{ ms}$, ΔT_h 的值可以控制在 $4\mu\text{ s}$ 以内, 测量脉宽带来的误差小于 0.1% , 综合 T 的测量、比较器、基准电源 (均集成在 P87LPC764中) 等因素, 测量误差会加大。

试验表明, 有效值的测量精度优于 0.5% , 频率的测量精度为 0.05% , 测量的响应时间小于 20 ms

参 考 文 献

[1] 王广柱, 王玉斌, 郭秀英. 一种高性能逆边变电流源的分析与设计 [J]. 电机与控制学报, 1998, 2 (3): 186- 189.

[2] 何立民. μC 总线应用系统设计 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.

Magazine, 13 (6), 1996.

[4] 罗盛钦, 陆明达. 稳定的准级联型和并联型自适应 IIR 滤波器 [J]. 电子学报, 1988, 16 (6) .

[5] 何振亚. 自适应信号处理 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[6] 王正志, 薄涛. 进化计算 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2000.

[7] 徐大纹, 吴涛. 利用遗传算法优化设计 IIR 滤波器 [J]. 桂林电子工业学院学报, 2000, 20 (1) .

3 结 语

3ds MAX 5在有机化学课件中的应用还有很多, 如可将静态的立体分子模型制成简单动画, 动态地从各个角度展示分子的结构; 可以模拟反应机理, 将抽象的语言描述变成生动的演示

经过笔者的教学实践, 效果很好, 其制作过程由于篇幅所限, 就不在这里介绍了。