

文章编号: 1000-5013(2010)03-0272-03

利用自适应遗传算法优化滤波电路参数

陈宇, 郑力新

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 利用自适应遗传算法,在典型滤波电路结构下跟踪进化进程的遗传参数并调整相应策略.从一种基本滤波电路结构出发,根据设计目标自动优化元件取值,最终获得符合预期功能的实用电路.研究表明,只要结构选择得当,通过引入常规设计方法的经验和规则,利用遗传参数自适应来提高进化效率和优化程度,经过一定世代的进化均可得出满足设计要求的进化结果.

关键词: 有源滤波器;自适应遗传算法;参数优化;最优解;解空间

中图分类号: TN 713⁺.802; TP 18

文献标识码: A

在滤波器设计中,传统的设计方法是在给定技术指标下,根据设计理论、公式和图表,简捷地获取电路及元件配置,以期实现符合要求的滤波器^[1].通常在确定设计目标(谐振频率、带宽、品质因数、过渡带衰减、通带起止频率、增益等)后,需选择合适的滤波电路类型,再利用已有的设计理论及图表分析求解电路参数.对于一些所含元器件数量较多的滤波电路,由于推导所得的方程组中存在众多变量,传统设计方法需要预先经验地给定某些变量的取值或比例关系方可求解.然而,这些为了求解方便而额外补充的约束却剔除了一部分实际上符合设计要求的解空间,使得传统方法很难得到真正的全局最优解^[2].遗传算法(GA)是一种随机搜索算法^[3],其搜索过程不依赖于梯度信息,虽然在计算速度上无优势,却能够在解空间中尽可能地收敛到最优解^[4].应用在滤波器电路参数求解时,可以有效地避开传统设计过程中需要通过解析方法求解一些复杂的非线性方程或超越方程的困难.本文采用动态自适应方法来调整遗传算法的控制参数,根据设计目标自动优化元件的参数取值.

1 自适应遗传算法

针对传统遗传算法存在的问题,可采用动态自适应方法来调整遗传算法的控制参数.其基本思想是使交叉概率和变异概率能够随适应度而自动改变.当种群各个体适应度趋于一致或趋于局部最优时,使交叉概率和变异概率增加;而当种群适应度比较分散时,使交叉概率和变异概率减少.同时,对于适应度高于种群平均适应度的个体,相对应于较低的交叉概率和变异概率,使该解有更大概率得以保护进入下一代;而低于平均适应度的个体,相对应于较高的交叉概率和变异概率,使该解有较大可能在竞争中被淘汰.因而,自适应的交叉概率和变异概率能够提供相对某个解的最佳交叉概率和变异概率,使得该算法在保持群体多样性的同时,保证了遗传算法的全局收敛性^[3].

2 电路参数优化过程

在参数优化设计过程中,应主要考虑适应度函数的设计和遗传参数的调整问题^[5].在应用于实例时,可在适应度函数的设计上沿用文[5]中的方法,并对其中的遗传参数调整策略进行改进.

2.1 适应度函数

对于滤波器设计问题,可将谐振频率、通带起止频率、带宽,以及幅频特性曲线等性能参数作为目标

收稿日期: 2009-05-23

通信作者: 郑力新(1967-),男,教授,主要从事光电传感器技术的研究. E-mail: zlxzkt@yahoo.com.cn.

基金项目: 教育部科技研究重点项目(207145);福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划项目(07FJRC01)

并将其加权求和,以衡量个体优化程度.

如以个体 X 的幅频曲线为对象,对 m 处频率采样点的增益进行采样,可取目标函数为

$$\max F(X) = 1 / \sum_{i=1}^m w_i (i).$$

式中: $(i) = [K_r(i) - K_{obj}(i)]^2$; i 为频率采样位置, $1 \leq i \leq m$; $K_{obj}(i)$ 为理想增益; $K_r(i)$ 为实际增益; w_i 为 (i) 对应的权值.

2.2 遗传算子概率

交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 等均为重要的遗传参数,取值过大会导致低效的纯随机搜索,取值过小则易造成早熟收敛. 其最佳取值应随个体适应度、种群个体分布情况和遗传进程而变,引入自适应机制是解决该问题的较好方法. 令 P_m 与 P_c 均随遗传进程做自适应调整,则有

$$P_m(t) = P_{m,0} \cdot \exp(-t/t_{\max}) \cdot \exp[f_d(t)] \cdot \exp[f_{\text{avg}}(t) - \overline{f_i(t)}], \quad 0 \leq t \leq t_{\max};$$
$$P_c(t) = P_{c,0} \cdot \exp(-t/t_{\max}) \cdot \exp[-f_d(t)] \cdot \exp[f_{\text{avg}}(t) - \overline{f_i(t)}], \quad 0 \leq t \leq t_{\max}.$$

式中: t_{\max} 为最大进化代数; t 为当前进化代数; $P_{m,0} \in [0, 1]$, $P_{c,0} \in [0, 1]$; $f_d(t)$ 是对当前种群中个体多样性的量度^[6], $f_d(t) = f_{\text{avg}}(t) / [f_{\max}(t) - f_{\min}(t)]$; $f_{\text{avg}}(t)$ 是当前(第 t 代)种群的平均适应度, $f_{\max}(t)$, $f_{\min}(t)$ 分别是当前(第 t 代)种群的最大、最小适应度; $\overline{f_i(t)}$ 为待变异个体的适应度; $\overline{f_i(t)}$ 为待交叉父代个体对的平均适应度.

该策略对于适应度高于种群平均适应度的个体,对应于较低的 P_c 和 P_m ; 而低于平均适应度的个体,则对应于较高的 P_c 和 P_m . 同时,在各阶段均依据当前种群的多样性,相应地调整各遗传参数. 当种群收敛至局部最优解附近, $f_d(t)$ 较大时,增加变异概率而减小交叉概率;当种群中个体较为分散, $f_d(t)$ 较小时,减小变异概率而增加交叉概率^[5];而在进化进程中,对交叉和变异概率都引入过程衰减因子,以保护最优解并加快进化后期的收敛速度.

3 应用实例

3.1 适应度函数定标

以上面得例子为设计要求,并以幅频曲线为子目标设计对象. 令 $\max F(X) = 1 / \sum_{i=1}^m w_i (i)$. 其中,起始采样点 $i_1 = 0$,步长 $\Delta i = 100$,采样点数 $m = 235$, $(i) = [K_r(i) - K_{obj}(i)]^2$, $K_r(i)$ 为实际增益,取 - 3 dB 为通带起止点,令理想增益

$$K_{obj}(i) = \begin{cases} 1, & i < 2 \text{ k 或 } i > 20 \text{ k}; \\ 0.707, & i = 2 \text{ k 或 } i = 20 \text{ k}; \\ 0, & \text{其他}, \end{cases}$$
$$w_i = \begin{cases} 500, & i = 2 \text{ k 或 } 20 \text{ k}; \\ 100, & i = 0; \\ 1, & \text{其他}. \end{cases}$$

3.2 算法优化结果

在 C 语言环境下编程,个体染色体采用十进制编码,由代表对应元件值的 7 个独立基因连接而成. 其参数:电阻为 0.2 ~ 2.0 k,电容为 100 ~ 1 000 pF,种群所含个体数为 600,繁殖世代数为 1 000;遗传算子初始概率 $P_c = 0.6$, $P_m = 0.2$. 运行算法,记录每代适应度(F)及算子平均概率(P_{av}),如图 1 所示.

从图 1 可知,平均适应度随着进化过程逐渐增加,表明种群向着最优解方向收敛;而遗传算子变化曲线也与预期过程一致. 即交叉与变异概率(当代种群平均值)在全局上均随着进化过程逐渐减小,在局部上则随着同时刻平均适应度的跃变,呈现出相反的变化.

种群繁殖达到最终世代后,可以得到一组当次运算的最佳优化值. 即 $R_1 = 3.757 \text{ k}$, $R_2 = 18.097 \text{ k}$, $R_3 = 16.525 \text{ k}$, $R_4 = 131.971 \text{ k}$, $R_5 = 48.049 \text{ k}$, $C_1 = 7.351 \text{ nF}$, $C_2 = 6.391 \text{ nF}$. 在 Multisim 10 中对该组结果进行仿真^[6](电路中运放为 TLC2262),其滤波器幅频(K)特性曲线如图 2 所示. 其中,通

带放大倍数 $K(f_0)$ 1.011, 通带上边界 f_1 1.050 kHz, f_2 9.965 kHz.

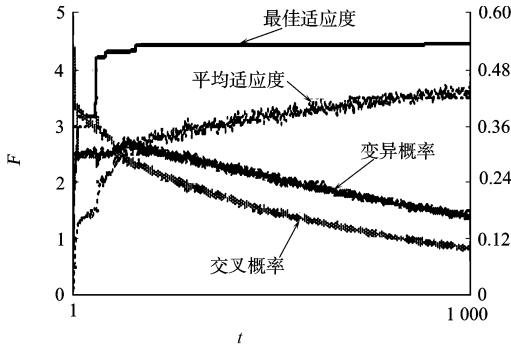


图1 适应度及遗传算子概率分析

Fig. 1 Analysis of fitness and genetic operators probability

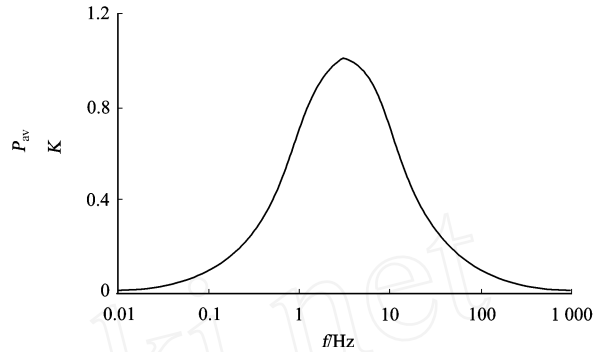


图2 电路参数仿真结果

Fig. 2 Simulation result of circuit

4 结束语

当添加额外约束后解空间包含有实际最优解时,传统算法所求得结果可能更优于用自适应遗传算法得到的优化结果.然而,后者在设计过程中表现出的通用性和高效性是值得关注的.如何更准确地标定符合设计要求的适应度函数,并使算法能够根据技术指标自动设计合适的电路,实现较大规模滤波电路及其他类型电路的进化设计,是今后仍需探讨的问题.

参考文献:

- [1] 丁士圻. 模拟滤波器[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:158-159.
- [2] BIIRMEN A, PU HAN J, BURMEN T T. Robust design and optimization of operating amplifiers[C]. Proceedings of International Conference on Industrial Tools. Bled: IEEE,2003:745-750.
- [3] 金力,刘桥. 基于自适应遗传算法的模拟电路的电路级综合[J]. 温州大学学报:社会科学版,2006,19(3):46-49.
- [4] 郑力新. 采用遗传算法的模拟集成电路参数最优设计[J]. 华侨大学学报:自然科学版,1998,19(2):128-132.
- [5] 赵曙光,刘贵喜,杨万海. 利用自适应遗传算法实现模拟电路自动设计[J]. 西安电子科技大学学报:自然科学版,2003,30(3):298-301.
- [6] 黄智伟,李传琦,邹其洪. 基于 NI Multisim 的电子电路计算机仿真设计与分析[M]. 北京:电子工业出版社,2008:44-45.

Parameter Optimization of Filter Circuit Based on Adaptive Genetic Algorithm

CHEN Yu, ZHEN G Li-xin

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Adaptive genetic algorithm was used to track genetic parameters of evolutionary process and adjust corresponding strategy based on typical filter circuit structure. Starting from a basic filter circuit structure, component values was optimized automatically on the basis of design goal, and became practical circuit according with intended function. The results showed that so long as selecting suitable structure, by introducing experiences and rules of conventional design method and using adaptive genetic algorithm to improve evolutionary efficiency and optimal extent, the evolutionary solution according design goal would be obtained by passing some evolutionary generations.

Keywords: active power filter; adaptive genetic algorithm; parameter optimization; optimal solution; solution space

(责任编辑:鲁斌 英文审校:吴逢铁)