

基于改进型遗传算法的数字电路优化

许 颖,张 瑛

(南京邮电大学 电子工程学院,江苏 南京 210003)

摘 要:遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是一种模拟生物界自然选择的智能优化算法,已经被广泛应用到各个领域。文中主要针对传统遗传算法在应用于数字电路优化设计时所出现的未成熟收敛和收敛速度慢的问题,提出一种新的个体选择方法。该方法将保留最优个体选择方式和改进轮盘赌选择方式相结合,能够在保持种群的多样性的同时有效地提高数字电路优化的精确度。将该算法应用到最小分类网络的设计中,实验结果验证了改进算法的合理性和有效性。

关键词:遗传算法;电路优化;最小分类网络

中图分类号:TP273

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)08-0168-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.08.0139

Optimization of Digital Circuits Based on Improved Genetic Algorithm

XU Ying, ZHANG Ying

(College of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and
Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Genetic Algorithm (GA) is an intelligent optimization algorithm by simulation of biological evolution, which has been widely used in lots of fields. In view of the problems of precocity and slow evolution speed in the digital circuits design where traditional GA applies, propose a new individual selection method. By combining the optimal individual and improving roulette, it is able to keep the diversity of population and effectively improve the accuracy of circuit optimization at the mean time. The algorithm is applied in minimum classification network design, the experimental results verify its rationality and effectiveness.

Key words: genetic algorithm; circuit optimization; minimum classification network

0 引 言

遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的高度并行自适应搜索算法^[1],它是根据达尔文提出的优胜劣汰法则所形成的多学科相互结合和渗透的产物。在 1975 年由美国 Michign 大学 J. Holland 教授首次提出后,现在已发展成一种自适应、自修复、自组织的优化技术^[2]。

因为生物的进化过程,本质上就是一种优化过程,所以这个过程为计算科学提供了一种有效的途径和通用框架^[3]。20 世纪 90 年代提出的进化硬件(Evolvable HardWare, EHW)是以遗传算法为基础的一种特殊硬件^[4-5],它将电路的结构、尺寸参数等内容作为基因对个体进行染色体编码,每一个染色体编码都表示为一种特定的电路结构。通过适应度函数对每

个个体的表现进行评估,最后经过交叉和变异操作实现对电路的优化。

在 EHW 提出的早期,由于其不依赖先验电路知识,描述简单,使用灵活,人工成本少,且具有高度的适合大规模并行运算、自组织和自修复等特性,在众多的工程领域得到了很大的发展。但是随着科技的进步,电路的结构开始变得越来越复杂,EHW 逐渐出现了可扩展性和早熟收敛方面的问题,使其后期的发展又受到了局限^[6-8]。

文中采用矩阵编码^[9]方式,将组合电路中的每个逻辑门之间的连接和功能作为基因进行染色体编码,对 EHW 中遗传算法的个体选择方式进行了研究和改进,并以最小分类网络为例验证了该方法的有效性。

收稿日期:2013-10-29

修回日期:2014-02-15

网络出版时间:2014-05-21

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(61106021);江苏省高校自然科学基金项目(11KJB510019)

作者简介:许 颖(1989-),女,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为集成电路与系统;张 瑛,博士,副教授,通讯作者,研究方向为模拟与射频集成电路设计。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140524.2151.064.html>

1 传统遗传算法

遗传算法是多点并行的迭代优化算法,它是模拟自然界生物进化过程中“适者生存,劣者淘汰”的规律,采用某种编码技术表达问题的可行解的优化算法^[10-11]。遗传算法的算法流程图如图 1 所示。

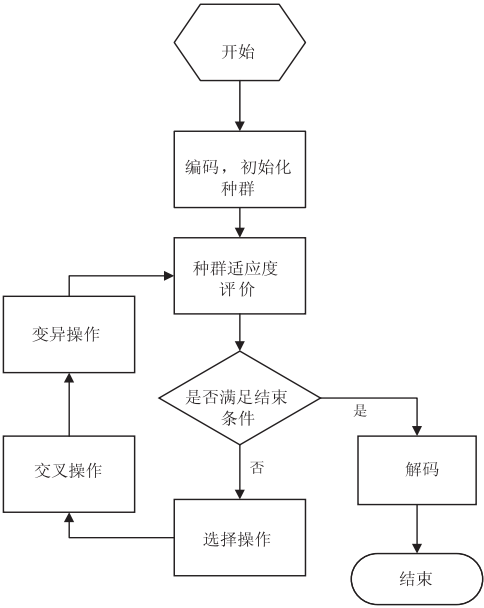


图 1 遗传算法流程图

遗传算法中的操作主要包括选择、交叉和变异：
1) 选择 (select)。

选择操作是在种群中选择优胜个体、淘汰劣质个体的操作过程,种群首先经过适应函数评估,然后进行选择操作。选择操作分为按比例适应度计算选择和基于排序的适应度计算选择。

进行次代个体的选择方式有:轮盘赌选择、随机遍历选择、局部选择、截断选择或者锦标赛选择等方法。

由于轮盘赌具有容易实现、易于操作的优点,后面将对轮盘赌法以及基于排序的适应度函数选择法进行详细介绍。

2) 交叉 (crossover)。

交叉操作是作用在两个父代之间,经过交叉操作会产生两个新的个体。依据上面的选择方法随机选择两个个体作为父代,对每一对个体以某种规则交换它们之间的部分遗传基因,使其产生两个新的个体。通过交叉,扩大了遗传算法的搜索空间,有利于算法找到最优解。

根据编码表示方法的不同,交叉算法有单点交叉、多点交叉、均匀交叉等。单点交叉不能充分挖掘种群的基因信息,而多点交叉又很容易破坏种群的固有模式,所以文中采用两点交叉法。在保留种群的固有模式的同时又可以充分挖掘种群的基因信息。

3) 变异 (mutation)。

变异操作是对群体中单个染色体的某些基因值做

变动。对染色体进行变异操作可以使染色体具有局部的随机搜索能力。当遗传算法通过交叉陷入局部最优解时,利用变异算子可以产生新的个体,保证种群的多样性,防止种群出现早熟收敛现象。但是变异率不宜过高,变异率过高会使算法搜索最优解的过程变成一种随机搜索过程,失去了算法的优越性。

遗传算法操作中,交叉操作作为主要算子,并辅以变异算子,通过交叉和变异这对相互配合又相互竞争的操作可以平衡并优化设计的搜索能力,使算法平稳地搜索到最优解。

2 遗传算法在组合电路优化中的应用

设计的优化目标是通过改进遗传算法,能够得到复杂度最低的正确电路。

2.1 基因编码

常见的编码方式有二进制编码、Delta 编码、树型编码^[12]、矩阵编码、量子比特编码^[13]、链表编码^[14]等。本次编码采用矩阵编码方式,对逻辑门每个输入端和逻辑功能模块进行编码,对于每一个逻辑单元只需要描述其功能,以及输入信号的来源。据此可以得到一个由电路输入和逻辑单元构成的数组矩阵。逻辑信号的输入只能从前级逻辑单元的输出获得。这样优化的染色体串就可以把逻辑门组合电路整体链接起来。

各逻辑门功能编号如表 1^[15]所示。

表 1 逻辑门基本信息

编号	逻辑门功能	评估复杂度
0	NAND	6
1	NOR	6
2	XNOR	2
3	NOT(in1)	8
4	NOT(in2)	8
5	Wire(in1)	10
6	Wire(in2)	10
7	AND	4
8	OR	4
9	XOR	2

比如,如图 2 所示的与非门逻辑单元可以表示为 (0,0,2),其中第 1 位表示逻辑单元的功能,第 2 位表示逻辑单元的第 1 个输入来源,第 3 位表示逻辑单元的第 2 个输入信号的来源。

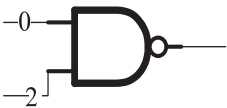


图 2 与非门逻辑单元

2.2 适应度函数评价

文中对电路的评价类似于文献[15]中的方法,即

把电路的输出值与真值表进行比较,在得到正确电路的基础上,将进化电路的复杂度作为另外一个评价指标。通过改进算法,能够进化出复杂度最低的正确电路。逻辑单元的复杂度参数如表 1 所示。

电路具体适应度函数评价规则如下:

$$F = \begin{cases} F_1 + F_2 & F_1 = 100 \\ F_1 & F_1 < 100 \end{cases} \quad (1)$$

其中, $F_1 = \frac{\text{num_out} * 100}{\text{num_testdata}}$, num_out 为混合电路正确的输出, num_testdata 为真值表所有的输出; $F_2 = \alpha_1(\sum_{i \in N} \text{ecv}_i)$, α_1 为权重系数(设置为 1), ecv_i 为评估组合逻辑门电路复杂度, N 为混合电路中元件数量。

如果电路输出结果与真值表完全匹配,则适应度 F_1 是 100,此时适应度 $F = F_1 + F_2$ 。

如果 F_1 结果不为 100,即电路进化不正确,此时适应度函数值为 F_1 。

最终电路优化的目标是用最低的复杂度使电路获得符合要求的正确的电路。

3 选择操作改进

3.1 传统的选择方法

按比例的选择度是利用比例于个体适应度的概率决定个体被选择到下一代的概率。其中轮盘赌法是最常见的一种按比例的选择度选择方法。

染色体被选择的概率 P_i 为:

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^N f_j} \quad (2)$$

其中, f_j 是群体中个体 j 的适应度; N 是种群规模。

在轮盘赌法中,个体的适应度按比例转化为被选中遗传到下一代的概率,种群按照适应度数值将轮盘分成若干个扇区。显然,个体适应度值越大,被选择的概率就越高,其遗传因子就会在种群中扩大。

为了选择交叉和变异个体,遗传算法需要进行多轮选择,个体被选择后,可随机地组成交叉和变异组,以供后面的交叉、变异操作。

简单的轮盘赌法在进化算法初期容易只保留适应度比较高的染色体个体,使适应度函数低的个体很快淘汰。适应度高的个体过度繁殖,在算法进化后期导致种群多样性变差,使得整个优化过程过早收敛。

在基于排序的适应度分配中,种群按照适应度值进行排序,适应度函数值仅仅起到决定个体在种群中序列的作用,而不是实际的适应度函数值。排序方法的实现克服了比例适应度计算的尺度问题,当选择压力太小时,以及选择导致搜索带迅速变窄而产生的过早收敛。因此排序方法的引入提供了控制选择压力的

简单有效的方法。

最优个体保留法即保留种群中最优的个体,将适应度较高的个体直接复制到下一代,能够快速地增加种群中适应度较好的个体的数量。但其缺点与轮盘赌一样,容易使种群多样性变差引起早熟收敛问题。

选择过程是一个“适者生存、劣者淘汰”的过程,经过此操作,群体的适应度会有一些的改进,但是群体的多样性会受到损失。

3.2 适应度选择方法的改进

为了克服上述问题,将按比例的选择度和基于排序的适应度选择相结合,即首先将种群中的个体按照从小到大的顺序排列,从中选择适应度较高的前 $0.04N$ 个个体直接进入下一代,然后按排序号将种群分为 M 组,则每组共有 N/M 个染色体。将 M 组个体按照设定的概率进行轮盘赌选择,并随机地选择遗传到下一代的个体。通过人为设定每组被选择的概率,提高适应度低的个体被选择的可能性。

利用改进轮盘赌的方法可以将适应度函数较低的个体被选择的概率增加,从而保证了种群个体的多样性,而增加保留最优个体的操作后能够有效地保证种群的优良性。

4 实验结果

以四输入最小分类网络为例验证改进算法的有效性。

算法运行的参数如表 2 所示。

表 2 算法运行参数	
参数	数值
种群大小	100
最大进化代数	500
交叉率	0.5
变异率	0.05

图 3 为改进遗传算法与传统遗传算法对比图。

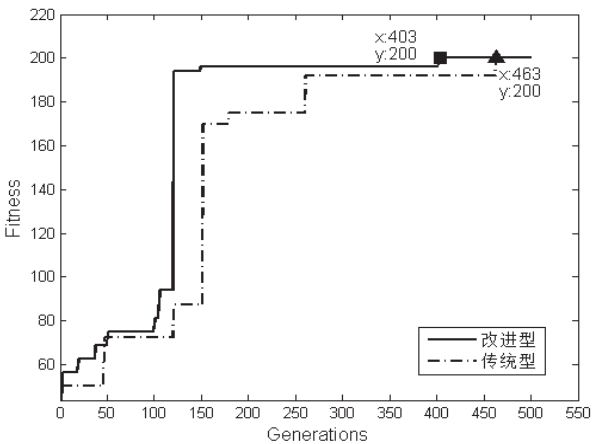


图 3 进化曲线对比图

由图 3 可见,改进后的遗传算法在 403 代就已经收敛到了最优,传统遗传算法在 463 代收敛到了最优值,适应度随着进化代数的增加在不断升高,算法能够很快收敛。

经过最终优化,混合电路得到了适应度为 200 的正确适应电路,其染色体如下:

(7,0,2)(1,3,1)(1,2,0)(7,3,1)(2,0,3)(0,1,2)(8,1,2)(1,0,3)(3,1,2)(1,3,2)(5,0,1)(5,2,0)(7,1,2)(5,1,2)(0,3,2)(3,0,1)

与此染色体相对应的逻辑单元组合电路,如图 4 所示。

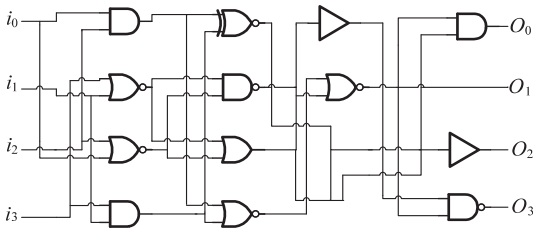


图 4 组合电路逻辑图

5 结束语

文中对优化算法选择方式进行了改进,种群的模式分布可以得到有效的保证,通过保留最优个体和人为提高低适应度函数被选择的概率,有效地保留了种群的基因信息,解决了种群后期优秀个体过于集中的问题,提高了算法的执行效率和收敛速度,使得算法不易陷入早熟收敛。

参考文献:

[1] Li J. Hilbert's 16th problem and bifurcations of planar polynomial vector fields[J]. International Journal of Bifurcation and Chaos,2003,13(1):47-106.

[2] Goldberg D E,Holland J H. Genetic algorithms and machine learning[J]. Machine Learning,1988,3(2):95-99.

[3] 李敏强,寇继松,林 丹,等. 遗传算法的基本理论与应用

[M]. 北京:科学出版社,2002.

[4] de Garis H. Evolvable hardware genetic programming of a Darwin machine [M]//Artificial neural nets and genetic algorithms. Herdelberg: Springer,1993:441-449.

[5] 王小平,曹立明. 遗传算法-理论应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2003.

[6] Yao Xin, Higuchi T. Promises and challenges of evolvable hardware[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 1999, 29(1): 87-97.

[7] Vassilev V K, Miller J E. Scalability problems of digital circuit evolution evolvability and efficient designs[C]//Proceedings the second NASA/DoD workshop on evolvable hardware. Palo Alto, CA: IEEE, 2000: 55-64.

[8] Benkhelifa E, Pipe A, Dragffy G, et al. Towards evolving fault tolerant biologically inspired hardware using evolutionary algorithms[C]//IEEE congress on evolutionary computation. Singapore: IEEE, 2007: 1548-1554.

[9] Su C T. Nonconvex power economic dispatch by improved genetic algorithm with multiplier updating method[J]. Electric Power Components and Systems, 2004, 32(3): 257-273.

[10] 周 明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,1999.

[11] 玄光男,程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

[12] 蔡美玲,高春鸣. 基于树型编码遗传算法在 Web 服务选择中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(31): 214-218.

[13] 杨淑媛,刘 芳,焦李成. 一种基于量子染色体的遗传算法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2004, 31(1): 76-81.

[14] 赵 振,严隽薇,刘 敏,等. 一种基于双线性链表结构编码的遗传算法[J]. 计算机应用, 2009, 29(2): 554-557.

[15] Bao Zhiguo, Watanabe T. A novel genetic algorithm with cell crossover for circuit design optimization [C]//Proc of IEEE international symposium on circuits and systems. Taipei: IEEE, 2009: 2982-2985.

(上接第 167 页)

[9] Gallagher N C, Wise G L. A theoretical analysis of the properties of the median filters[J]. IEEE Trans on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1981, 29(6): 1136-1141.

[10] 陈书海,傅录祥. 实用数字图像处理[M]. 北京:科学出版社,2005.

[11] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.

[12] 张旭明, 徐滨士, 董世运, 等. 去除脉冲噪声的自适应开关中值滤波[J]. 光电工程, 2006, 33(6): 78-83.


[13] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. Digital image processing using MATLAB[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.

[14] 孙 祥,徐流美. Matlab7.0 基础教程[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[15] 王家文,曹 宇. Matlab6.5 图形图像处理[M]. 北京:国防工业出版社,2004.

[16] 陈从平,王 健,秦 武. 高密度椒盐噪声图像开关自适应滤波算法[J]. 激光与红外, 2011, 41(7): 817-821.

基于改进型遗传算法的数字电路优化

作者: [许颖](#), [张瑛](#), [XU Ying](#), [ZHANG Ying](#)
作者单位: [南京邮电大学 电子科学工程学院, 江苏 南京, 210003](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2014(8)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201408039.aspx