第21卷 第3期 辽宁工程技术大学学报（自然科学版） 2002年6月
Vol.21, No.3 Journal of Liaoning Technical University (Natural Science) Jun., 2002

文章编号：1008-0562(2002)02-0326-03

非线性电路的ACNGA求解方法研究

黄友锐 张宏亮

(淮南工业学院 电气工程系，安徽 淮南 1232001)

摘 要： 在非线性电路的研究中，非线性电路的全解集的求解方法研究是非线性电路理论的重要研究领域之一。遗传算法是一种模拟生物进化的最优化搜索方法，因其稳定性好、不需要计算目标函数的导数和能处理多维数值问题，遗传算法在科学研究和工程技术中得到广泛运用。针对非线性电路的全解集的求解要求，本文提出了一种改进的具有自适应交叉算子的小生境遗传算法,成功地应用于非线性电路的全解集的求解，结果表明了具有自适应交叉算子的小生境遗传算法（ACNGA）对非线性电路求解的有效性和实用性。

关键词： 遗传算法；非线性电路；最优化

中图号： TM 132 **文献标识码：** A

0 引 言

在非线性电路的研究中，非线性电路的全解集的求解方法研究是非线性电路理论的重要研究领域之一。本文将利用非线性电路方程组的解与相应的最优问题解的等价性，用具有自适应交叉算子的小生境遗传算法，求解非线性电路的全解集，从而为非线性电路提供一种新的求解其全解集的方法。

1 遗传算法简介

遗传算法[1]（简称 GA）是一种基于生物进化原理并具有较强鲁棒性的优化方法。GA 是一种结合了 Darwin 的进化论和 Mendel 的群体遗传学的机理，而提出的一种全新的参数优化方法—遗传算法。

虽然该算法已经取得了广泛的应用[2]，但仍然存在着收敛速度慢，计算效率低等缺陷，为此在 SGA 的基础上，提出了一种改进的遗传算法，那就是具有自适应交叉算子的小生境遗传算法。

2 盛顿具有自适应交叉算子的 NGA

2.1 NGA 简介[2]

生物学上，小生境(niche)是指特定环境中一种组织的功能，而把有共同特性的组织称作物种。小生境遗传算法 NGA 借用生态学的概念，描述了系统或函数的局部集聚性质，是一种寻求系统或函数的局部条件下的全局或局部最优解的 GA 算法。NGA 算法总述如下[2]：

NGA=(Psize,Genmax,Length,Coding,Fitness,Selection,Crossover,Mutation,Termination,Sh(d), σ_{share}, d_{ij}, m_i)，其中，前 9 个变量构成了 SGA 的基本操作空间，后 4 个操作变量反映了 NGA 的核心思想，含义如下：

σ_{share}：小生境的半径，描述局部超立方体的大小。

$d_{ij}(x_i x_j)$： x_i 个体与 x_j 个体之间的距离。

$sh(d_{ij})$：分享函数，定义如下：

$$sh(d_{ij})=\begin{cases}1-\left[\dfrac{d_{ij}}{\sigma_{share}}\right]^{\alpha} & d_{ij}<\sigma_{share}\\ 0 & d_{ij}\ge\sigma_{share}\end{cases} \tag{1}$$

其中指数α值一般取 1。

m_i (Niche Count)是反映同一 Niche 中相似个体数的修正因子。

$$m_i=\sum_{f=1}^{Psize} sh(d_{ij})=\sum_{f=1}^{Psize} sh(d(x_i x_j)) \tag{2}$$

利用m_i可对适应值进行修正，具体关系见式(3)

$$fitness_i'=\frac{fitness_i}{m_i} \tag{3}$$

由于分享函数的作用，使解群自动形成了不同的 Niche，而保持解群的多样性。在自然界中，不同的 Niche，其生态环境不同，物种进化方式也会不同。在 NGA 所表达的优化问题中，不同 Niche 的中的参数结构必然不同，用同一的进化方式（主

收稿日期： 2001-05-12
基金项目： 安徽省高校优秀青年教师计划项目。项目号：2000jq123
作者简介： 黄友锐（1971-），男，安徽省长丰县人，副教授，博士。**本文编校：** 杨瑞华

要为交叉操作）来进行寻化进化显然是不恰当的。为此，本文提了具有自适应交叉算子的 NGA 算法。

2.2　具有自适应交叉算子的 NGA（ACNGA）

所谓 ACNGA 就是具有多个交叉算子并可随着演化自动选择不同交叉算子及其交叉概率的改进 NGA，在 ACNGA 中，为了能自适应地选择交叉算子并决定它们的操作机率，必须对所应用的交叉算子作出评价。为了评价算子的效率，并依次决定算子的操作机率，本文将常用交叉算子组成一交叉算子集，该算子集中每一算子由下述定义表示：

定义 1：COP^i 交叉算子编号，$1 \le i \le k$

定义 2：p_{cop^i} 第 i 类交叉算子的运算机率。

定义 3：$p^o_{cop^i}$ 第 i 类交叉算子的初始运算机率。

定义 4：$P_c = \sum_{i=1}^{k} P_{COP^i}$ 总的交叉率，可在运算开始前指定。

定义 5：$COP^i(P_{COP^i})$。$i = 1 \cdots k$ 简记为 $c_i(\cdot)$，它表示交叉算子和交叉算子间的交叉概率。

根据 SGA 的算法步骤[2]和 ACNGA 的基本原理，ACNGA 的算法步骤如下：

step1：随机确定初始编码群体并确定交叉算子集 $c_i(\cdot) \quad i = 1 \cdots k$。

step2：确定初始交叉算子操作机率 $p^o_{cop^i}$，并令 $\sum_{i=1}^{k} P_{COP^i} = P_c$；

step3：确定个体的适应值 $fitness_j = \dfrac{f_j}{\sum_{i=1}^{N} f_i}$；

step4：利用式(1)和式(2)确定修正系统数 m_i；

step5 确定 $fitness'_j = \dfrac{fitness_j}{m_i}$；

step6：根据 $fitness'_j$，作选择操作；

step7：在 σ_{share} 半径内对所选个体在所选定的交叉算子集中 $c_i(\cdot)$，按 $P_{cop}i$ 所规定的概率，作交叉运算；

step8：在 σ_{share} 半径内，对所选个体作突变操作；

step9：根据终止判据，满足则停止，否则转 step3。

3　非线性电路的 ACNGA 求解

3.1　求解步骤

利用 ACNGA 对非线性电路求解，可按下列步骤进行：

（1）方程列写完毕后，即进行等价变换。变换可按以下方式进行：

设有方程组：

$$(f_1(x), f_2(x) \cdots f_n(x))^T = 0 \qquad x \in R^n \tag{4}$$

利用 GA 类算法并不能直接处理方程类的求解问题，可将等式求解问题，转化为求函数的极小值问题。则有：

$$\mathrm{Min} \sum_{i=1}^{n} \left| f_i(x) \right| \qquad B_L \le x \le B_U \qquad x \in R^n \tag{5}$$

其中：$B_U = \left[B_{U1}, B_{U2} \cdots B_{Un} \right]^T$，

$B_L = \left[B_{L1}, B_{L2} \cdots B_{Ln} \right]^T$ 为变量上下界。

由于 GA 类算法一般处理极大值问题，故式（5）又可转化为如下形式：

$$\mathrm{Max} \quad C - \sum_{i=1}^{n} (f_i(x)) = F(x) \tag{6}$$

$$B_L \le x \le B_U \qquad C > 0$$

C 是一适当的正数，它要保证在演化过程中，适应值不出现负数，当 $F(X) = C\big|_{X = X^*}$ 时，可知此 x^* 即为原方程组(4)的解。

（2）编码

编码的方案可根据问题的性质而定。对于方程求解问题，若方程阶数不高，可采用二进制编码。若高阶方程，则可采用浮点数编码。采用浮点数编码，可获得较快的演化速度。

（3）交叉算子的选择

根据问题的性质与各类交叉算子的特点选定相应的交叉算子。选择的原则为：交叉算子的效率符合所求解方程的特点。各交叉算子的交叉方式的差异较大，这样的选择原则能保证在 ACNGA 的演化过程中有可能选择到适当地高效的交叉算子。

（4）求解

最后根据 ACNGA 的算法步骤求方程组的解

3.2　实例求解

电路方程为：

$$f(x)=\begin{bmatrix}-1.277\\-1.691\\-1.277\\-1.671\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}2.423&1.181&0&0\\1.476&2.629&0.288&0.198\\0&0&2.423&1.181\\0.288&0.199&1.476&2.629\end{bmatrix}\times x+\sum_{i=1}^{4}\tilde{C}_i\left|<\tilde{a}_i,x>-\beta_i\right|=0 \qquad (7)$$

其中 $x=\left[V_{d1},V_{d2},V_{d3},V_{d4}\right]^{\mathrm{T}}$

$\tilde{a}_1=\left[1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\right]^{\mathrm{T}}$ $\tilde{a}_2=\left[0\ \ 1\ \ 0\ \ 0\right]^{\mathrm{T}}$

$\tilde{a}_3=\left[0\ \ 0\ \ 1\ \ 0\right]^{\mathrm{T}}$ $\tilde{a}_4=\left[0\ \ 0\ \ 0\ \ 1\right]^{\mathrm{T}}$

$\tilde{C}_1=\left[2.423\ \ 1.422\ \ 0\ \ 0.278\right]^{\mathrm{T}}$

$\tilde{C}_2=\left[1.137\ \ 2.629\ \ 0\ \ 0.199\right]^{\mathrm{T}}$

$\tilde{C}_3=\left[0\ \ 0.278\ \ 2.423\ \ 1.422\right]^{\mathrm{T}}$

$\tilde{C}_4=\left[0\ \ 0.199\ \ 1.137\ \ 2.629\right]^{\mathrm{T}}$

$\beta_1=\beta_2=\beta_3=\beta_4=0.325$

将式（7）变换成式（6）形式，采用二进制编码随机产生初始编码群体 100 个，选择了三个交叉方式不同的交叉算子:两点交叉算子、段交叉算子和混合交叉算子构成了交叉算子集，并分别给予各个算子以相应的记号与对应的初始交叉概率：分别记为 C^1、C^2、C^3 和 $p^o_{cop^1}=0.4$，$p^o_{cop^2}=0.3$，$p^o_{cop^3}=0.3$ 总的交叉概率 $P_c=1$，应用 ACNGA 的算法步骤来求解，求解结果如表 1 所示

表 1 方程（7）的全集解

Tab.1 the collected answer of equation 7

V_{d1}	V_{d2}	V_{d3}	V_{d4}
0.333	0.356	0.334	0.351
0.331	0.359	-1.111	0.371
0.383	-3.792	0.375	-2.839
0.389	-4.310	0.337	0.345
-0.725	0.371	0.333	0.353
-1.604	0.371	0.385	-3.955
-0.525	0.371	-0.979	0.371
0.398	-4.898	-1.523	0.370
0.334	0.351	0.381	-3.514

经验算均为原方程解。

4 结 论

在完成用 ACNGA 求解上述非线性电路的解全集后，又用 SGA 和 NGA 两种算法对上述非线性电路进行了求解。在 SGA 中，采用二进制编码和两点交叉算子，只能得到表 1 中第一行的解。用 NGA 求解，采用二进制编码和两点交叉算子，可以找到 9 个解，但它和 ACNGA 算法的演化次数比为 1：(0.75~0.85)。由于 ACNGA 能及时地选择高效的交叉算子，从而得到较高的收敛速率，并能找到非线性电路的所有解，是一种求解进非线性电路的有效方法。

参考文献：

[1] 徐洪泽,徐漫涛,张福恩.一种改进的遗传算法用于二自由度 PID 调节器设计[J].系统仿真学报.1998,10(2):59-64.

[2] 陈国良,王煦法,庄镇泉,等.遗传算法及其应用[M].人民邮电出版社,1999.5.

Study on ACNGA Method for Solving Nonlinear Circuit

HUANG You-rui, ZHANG Hong-liang

(Dept. of Electrical Engineering Huainan Institute of Technology，Huainan 232001，China)

Abstract: The method, applied to solve the collected answer of nonlinear circuit, is one of the most important research fields during the study of nonlinear circuit. Genetic algorithm is an optimal method simulating the natural evolution mechanism. Genetic algorithm has been widely used in science and technology by virtue of its robustness, freedom of calculating the gradient of the objective function and the ability of solving multi-dimensional numerical problems. In allusion to the demand for the solution to nonlinear circuit with collected answer, in this paper, an improved niche genetic algorithm with adaptive crossover operator is presented, and it is successfully applied to solve the collected answer to nonlinear circuit. The results show the effectiveness and practicality of adaptive crossover niche genetic algorithm method for the solution to nonlinear circuit.

Key words: genetic algorithm; nonlinear circuit; optimization