

# 一种基于进化的电路网络建模方法

王苏云<sup>1</sup>, 石振国<sup>2</sup>, 程显毅<sup>2</sup>

(1 南通大学 电子信息学院, 江苏 南通 226019; 2 南通大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南通 226019)

**摘 要:** 针对电路设计繁冗、复杂及周期长等特点, 提出了一种基于进化的电路网络建模方法, 该方法把电路网络建模过程转变为电路元器件选择和元件值确定的搜索优化过程. 利用遗传程序设计进化电路网络的结构, 对元器件和元件值相互影响的复杂解空间进行全局寻优, 实现电路网络的进化.

**关键词:** 电路设计; 电路网络建模; 遗传程序; 进化

**中图分类号:** TP18

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2011)10-0161-03

## Modeling Approach Based on Evolutionary for Circuit Networks

WANG Su-yun<sup>1</sup>, SHI Zhen-guo<sup>2</sup>, CHENG Xian-yi<sup>2</sup>

(1 School of Electronic Information, Nantong University, Nantong 226019, China;

2 School of Computer Science and Technology, Nantong University, Nantong 226019, China)

**Abstract:** As far as we know, circuit design is a process of cumbersome, complex and long cycle. This paper provides a new modeling approach based on evolutionary for circuit networks, which converts the process of network modeling into the optimization process of the determination of circuit components and component values. The new method is proposed for hybrid identification of circuit components and component values by performing global optimal search in the complex solution space and achieving the evolution of circuit networks through the way of genetic programming.

**Key words:** circuit design; circuit networks modeling; genetic programming; evolution

### 1 引言

遗传程序(genetic programming, GP)<sup>[1]</sup>是美国斯坦福大学的学者 Koza<sup>[2]</sup>于 1989 年提出的. 它借鉴达尔文的适者生存、优胜劣汰的进化理论, 在遗传算法<sup>[3]</sup>的基础上采用树的结构来表达计算机程序<sup>[4]</sup>, 以自动设计方案来求解实际问题. 本文将遗传程序<sup>[1]</sup>与电路网络<sup>[5]</sup>有机结合起来, 即把电路网络看作是元器件和元器件值的优化搜索过程, 对由元器件组成的复杂解空间进行全局最优搜索, 实现了电路网络中元器件选择和参数设置的共同学习.

### 2 电路网络模型的基本概念

在科技高速发展的今天, 网络系统可谓无所不在, 其形式也越来越丰富, 电路网络就是其中最常见

的一个网络模型.

电路网络以基本电路元件为单位, 由电源、负载, 及具有各种功能的元器件(块)组成. 现对电路网络相关概念定义如下:

**定义 1** (电路结) 电路元件有电阻( $R$ )、电感( $L$ )、电容( $C$ )、电子管( $V$ )、晶体管( $T$ )、集成电路(IC)等. 在电路网络模型中, 一个电路元件就是一个电路结( $N$ ).

**定义 2** (电路根) 每一个电路网络有一个电路根, 即电源( $S$ ). 电源是一个集合,  $S = \{\text{电压源, 电流源}\}$ , 同时也可表示为  $S = \{\text{交流源, 直流源}\}$ . 常见电源是前面两种分类的组合: 交流电压源, 直流电压源, 交流电流源, 直流电流源. 不过在电路网络模型中常用到的是前两种.

**定义 3** (地) “地( $G$ )”是电路中零电位的参考

点,是电路信号回路的公共端.  $G$  也有直流地、交流地之分.

**定义 4** (电路模块)几个基本电路元件可组成一个电路模块,该电路模块具有特殊的固有功能. 电路模块可形式化表达为:  $CM = (cp1, cp2, \dots, cpi, \dots)$ . 如电阻  $R$ 、电容  $C$  可组成滤波器电路模块  $CM1 = (R, C)$ , 电感  $L$ 、电容  $C$  可组成振荡器电路模块  $CM2 = (L, C)$ . 每一类电路模块的功能相同,可内部组成并不同. 如  $R$ 、 $C$  组成的低通滤波器有二阶、三阶等. 即使是相同的电路元件,只要所处的位置不同,其组成的电路模块作用也不同. 例如,简单的一个  $R$  和一个  $C$  可分别组合成高通滤波器和低通滤波器.

**定义 5** (电路网络)一个电路网络是由电源,电路模块及负载通过相应的关系连接形成的图,可形式化表达为:  $CN = (Source, CM, LD)$ , 其中的  $LD$  是负载元件.

一个基本电路网络模型由电源、源内阻、电路模块、负载、地五部分组成,如图 1 所示. 在复杂的电路网络模型中还含有数个电路模块. 其中的电路模块是电路网络中的重要环节,它对输入信号进行处理从而得到所需求的输出信号.

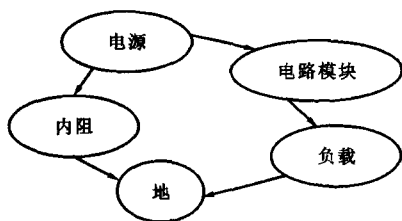


图 1 基本电路网络

### 3 基于进化机制的电路网络设计方法

#### 3.1 初始种群的产生

电路网络可视为由根、枝、叶组成的树,即把电路网络映射到程序树图. 这样就可以采用遗传程序的进化机制设计优化电路网络.

##### (1) 个体的描述

由定义 5 可知,  $CN$  含有电源, 电路模块及负载. 由定义 1 可把电路网络中的电路模块表示成  $CM_i (N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}, \dots)$ . 再由定义 2、3 可知, 电路网络又可表示为  $CN(S, CM_1, CM_2, \dots, CM_i, \dots, N_1, N_2, \dots, N_j, \dots, G)$ .

##### (2) 初始种群的生成

初始种群是随机生成的, 分别从电路根  $S$ 、电路结  $N$ 、电路模块  $CM$ 、地  $G$  中随机选取元器件组成各

种电路. 假设产生的初始群体有

个体 1:  $CN1(S1, CM1_1, CM1_2, \dots, CM1_i, \dots, N1_1, N1_2, \dots, N1_j, \dots, G1)$

个体 2:  $CN2(S2, CM2_1, CM2_2, \dots, CM2_i, \dots, N2_1, N2_2, \dots, N2_j, \dots, G2)$

... ..

个体  $m$ :  $CNm(Sm, CMm_1, CMm_2, \dots, CMm_i, \dots, Nm_1, Nm_2, \dots, Nm_j, \dots, Gm)$  (1)

在本问题中, 染色体是如上所示的函数, 不同于传统的二进制字符串<sup>[3-4]</sup>. 分析时, 枝即是定义 1 所给出的“电路结”, 叶是定义 3 给出的“地”.

#### 3.2 基于树图编码的遗传操作

##### 3.2.1 复制操作

复制操作是对父代染色体进行拷贝, 子代染色体和父代相同, 不会发生变化. 按轮盘法依概率将当前电路结及电路模块中适应值高的个体复制到子代群体中.

##### 3.2.2 交叉操作

交叉操作如图 2、图 3 所示, 也是按适应值高选择几率大的原则从当前群体中选择一对父代个体, 随机选取父代个体的两个节点进行模式交换(图中划线处), 将交叉点以下的电路结或电路模块作为交叉段, 对应交换这两个模式, 产生两棵新的树<sup>[2]</sup>.

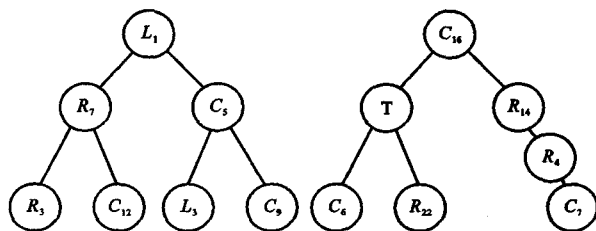


图 2 父代树状结构

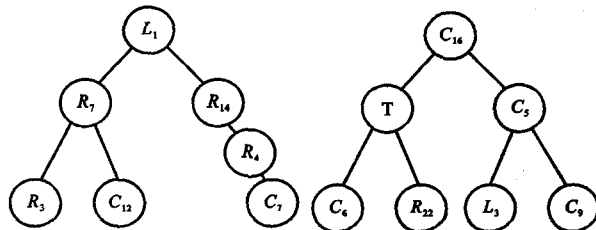


图 3 交叉生成的子代树状结构

##### 3.2.3 变异操作

变异操作指随机选择程序树中的节点, 以随机产生的模式取代该节点下的子树, 得到新的个体(如图 4 所示).

例如, 父代:  $f(C_1, C_2, R_1)$ ; 子代  $f(R_2, C_2, R_1)$

总之, 随机生成的初始种群进入遗传进化迭代过程, 依据遗传规则产生新群体.

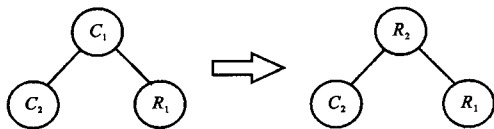


图4 节点变异图

### 3.3 电路网络结构优化算法

#### 3.3.1 算法思想

①随机生成一个种群,即按式(1)所示的一组个体作为初始群体进入遗传进化迭代过程。

②依据遗传操作产生新群体,即通过复制、交叉、变异进化当前种群中的个体,产生的子代电路网络替换上一代的父体继续进入迭代过程。

③评价每一代的电路网络,若当前电路网络的适应度满足设计要求,则结束迭代,否则进入②。

重复①~③,即可不断进化电路网络,最终可获得所需的最优电路网络模型。

#### 3.3.2 适应度评价

适应度是衡量电路网络性能的主要标尺,每完成一代群体进化,就对当前的电路网络结构进行性能评价。

电路网络的适应度取网络的实际输出与期望输出之间的绝对误差值<sup>[4]</sup>,如下式所示:

$$H(t) = \sum_{i=1}^N |X(t,i) - X'(i)|$$

式中, $H(t)$ 是适应度, $X(t,i)$ 是第 $t$ 代个体 $i$ 的实际输出, $X'(i)$ 是个体 $i$ 的期望输出。

适应度值越小说明电路网络的性能越好,依据这个原则确定电路网络的进化方向和搜索空间。

## 4 应用举例

设计一个由电感电容组成的典型低通滤波电路,该电路使低于1 000 Hz的频率通过而使高于2 500 Hz的频率截止。

设置参数,其中三种遗传操作所占比例分别为复制10%,交叉89%,变异1%,最大迭代次数100,群体规模50。

图5所示电路网络就是进化到29代时适应度为0.152的新群体,它由5个电感及5个电容组成,其频域范围如图6所示,可见其符合设计要求。

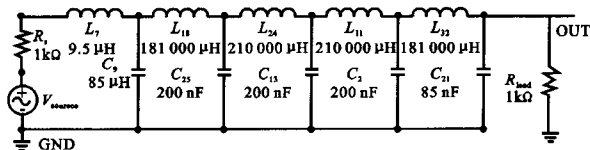


图5 进化的低通滤波器

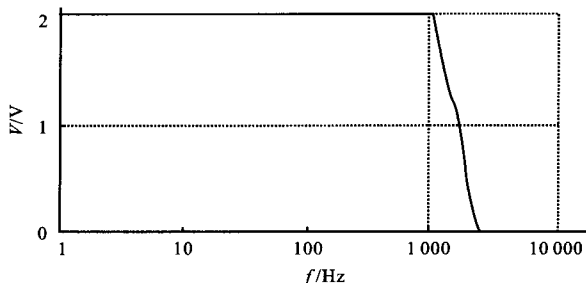


图6 低通滤波器的频域

## 5 结束语

在电路网络设计中,把元器件的选择和值的确定用遗传进化原理来优化,具有以下优势:缩短了电路设计的周期,使得电路网络设计简单易行,可靠有效提高了电路设计的效率。

### 参考文献:

- [1] 刘大有,卢奕南,王飞,等.遗传程序设计方法综述[J].计算机研究与发展,2001,38(2):213—220.
- [2] Koza J R, Bennett FH, Andre D, et al. Synthesis of topology and sizing of analogy electrical circuits by means of genetic programming[J]. Computer methods in applied mechanics and engineering, 1999, 186(2000):459—482.
- [3] 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,2002.
- [4] 罗洪方,周永权,谢竹诚.一种基于进化泛函网络的建模与函数逼近方法[J].计算机科学,2010,37(7):200—204.
- [5] 李小进,石艳玲,游淑珍,等.硅基RF无源低通滤波器设计与实现[J].电子器件,2006,29(1):86—89.

### 作者简介:

王苏云 女,(1987—),硕士研究生,研究方向为服务建模与测试。